

Praderas y Pasturas

Rolando Demanet Filippi
María de la Luz Mora Gil
Concepción Azcón-Aguilar
José Miguel Barea Navarro



Universidad de La Frontera

Praderas y Pasturas

Rolando Demanet Filippi
María de la Luz Mora Gil
Concepción Azcón-Aguilar
José Miguel Barea Navarro



Universidad de La Frontera

ISBN: 978-956-410-391-4

Universidad de La Frontera
Francisco Salazar 01145
Temuco, Región de La Araucanía, Chile

Editores:

Rolando Demanet Filippi
María de la Luz Mora Gil
Concepción Azcón-Aguilar
José Miguel Barea Navarro

Diseño y diagramación:
Cecilia Araneda Padilla

Impreso en Imprenta America Ltda.
Impreso en Chile/Printed in Chile

Primera edición 2022

Demanet, Rolando; Mora, María de la Luz, Azcón-Aguilar, Concepción & Barea, José Miguel, 2022. Praderas y Pasturas. Imprenta América, Valdivia, Chile. 2022.

Los autores agradecen a Watt's S.A., por el aporte de información técnica generada en su Plan Lechero y el financiamiento del diseño e impresión de la presente publicación. Además, se valora la disposición de esta compañía con este tipo de iniciativas, la cual deriva de una extensa vinculación con la Universidad de La Frontera y cuyo objetivo es aportar al conocimiento científico y productivo del país.

Los autores agradecen el aporte científico de los proyectos FONDECYT números 1181050, 1141247 y 1100625 cuyos resultados forman parte de la información que contiene esta publicación.

Derechos reservados, ninguna parte de esta obra de investigación puede ser reproducida, almacenada o transmitida a través de medios ópticos, eléctricos, electrónicos, fotográfico o fotocopia, sin la autorización previa del autor.

In memoriam
José Miguel Barea Navarro

Autores

Rolando Demanet Filippi

Ingeniero Agrónomo
Doctor en Recursos Naturales y Sostenibilidad
Investigador y Profesor
Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales
Universidad de La Frontera

María de la Luz Mora Gil

Doctora en Química
Investigadora y Profesora
Directora del Núcleo Científico Tecnológico en Biorecursos (BIOREN)
Universidad de La Frontera

José Miguel Barea Navarro

Doctor en Recursos Naturales
Past Investigador
CSIC, Granada, España

Concepción Azcón-Aguilar

Doctora en recurso Naturales
Investigadora
CSIC, Granada, España

Rosario Azcón

Doctor en Recursos Naturales
Past Investigadora
CSIC, Granada, España

Cornelia Rumpel

Directora de Investigación French National Centre for Scientific Research (CNRS)
Institute of Ecology and Environmental Sciences, France

Abad Chabbi

Director de Investigación French National Institute for Agriculture, Food, and Environment (INRAE). Poitou-Charentes, Lusignan, France

Miguel Ángel Herrera Machuca

Ingeniero Forestal
Doctor en Recursos Naturales
Investigador y Profesor
Departamento de Ingeniería Forestal
Universidad de Córdoba, España

Pedro Núñez Ramos

Ingeniero Agrónomo
Doctor en Ciencias de Recursos Naturales
Investigador
Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IDIAF)
Santo Domingo, República Dominicana

Fernando Borie Borie

Doctor en Química
Past Investigador y Profesor
Universidad de La Frontera

Juan Carlos García Díez

Ingeniero agrónomo
Investigador y Profesor
Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales
Universidad de La Frontera

Cristian Canales Cartes

Ingeniero Agrónomo
Jefe de Desarrollo Agropecuario
Empresa Watt's S.A.

Alfonso Aguilera Puente

Ingeniero Agrónomo
Entomólogo
Past Investigador y Profesor
Universidad de La Frontera

Pedro Meléndez Retamal

Médico Veterinario
Doctor en Nutrición Animal
Investigador y Profesor
School of Veterinary Medicine
Texas Tech University, USA

Índice

Prólogo	7
Capítulo I	9
Cambio del paisaje cultural del bosque templado a la pastura permanente Rolando Demanet Filippi, Miguel Ángel Herrera Machuca, José Miguel Barea Navarro	
Capítulo II	51
Praderas de la zona templada Rolando Demanet Filippi	
Capítulo III	77
Pasturas de la zona templada: Especies gramíneas Rolando Demanet Filippi	
Capítulo IV	137
Pasturas de la zona templada: Especies leguminosas Rolando Demanet Filippi	
Capítulo V	195
Cultivos y forrajes suplementarios Rolando Demanet Filippi, Juan Carlos García Díez	
Capítulo VI	301
Establecimiento de pasturas Rolando Demanet Filippi	
Capítulo VII	325
Nitrógeno y manejo de pastoreo Pedro Antonio Núñez Ramos, María de la Luz Mora Gil, Rolando Demanet Filippi	
Capítulo VIII	357
Nutrición biológica de las plantas en praderas y pasturas José Miguel Barea Navarro, Concepción Azcón-Aguilar, Rosario Azcón, Fernando Borie Borie	
Capítulo IX	377
Manejo y gestión del pastoreo Rolando Demanet Filippi, Cristian Canales Cartes	
Capítulo X	419
Emisiones de gases de efecto invernadero y secuestro de carbono en praderas y pasturas Cornelia Rumpel, Abad Chabbi	
Capítulo XI	431
Invertebrados fitófagos asociados a praderas y pasturas Alfonso Aguilera Puente	
Capítulo XII	477
Manejo alimentario y nutricional de vacas en pastoreo Pedro Meléndez Retamal	

Prólogo

Los pastizales son ecosistemas que se caracterizan por la presencia de un estrato herbáceo dominante y diverso que es utilizado por la ganadería doméstica y silvestre. Los pastizales incluyen dos ecosistemas muy bien definidos que presentan componentes y características particulares: praderas y pasturas. Las praderas son ecosistemas naturales dominados por especies autóctonas, naturales y naturalizadas que son utilizadas para la alimentación del ganado doméstico y silvestre. Las pasturas son ecosistemas compuestos por especies introducidas o exóticas, que no tienen la capacidad de permanecer por muchos años dominando el estrato herbáceo. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación, el 26% de la superficie terrestre y el 70% de la superficie agrícola del mundo está cubierto por pastizales que, indirectamente contribuyen a la subsistencia de más de 800 millones de personas.

Los pastizales son la principal fuente de alimentación del ganado y son hábitats naturales para la flora y fauna silvestre. Estos ecosistemas aportan diversos servicios ecosistémicos, como son la protección frente a la erosión, el mantenimiento de los recursos fitogenéticos, son fuente de biodiversidad y contribuyen a la retención del agua y al almacenamiento de carbono.

La presión antrópica incontrolada y los efectos del cambio climático conducen a cambios drásticos (degradación de la fitocenosis, pérdida de productividad entre otros) que implican una degradación acelerada de los recursos y el desencadenamiento de procesos erosivos que han tenido como consecuencia el empobrecimiento del paisaje rural y la generación de un ambiente desertificado con territorios perturbados y abandonados.

El aporte de la investigación y la ciencia a la reducción y corrección de los procesos de degradación de los recursos ha sido importante en los últimos años. Grupos de investigadores que han comprendido la importancia y necesidad de provocar un cambio en la agricultura, han hecho progresos importantes en la identificación de los factores de cambio, la investigación en los procesos de mitigación y el desarrollo tecnológico de producción de alimentos más respetuosos con el medio ambiente. En este sentido los investigadores han entendido que agricultura no es solo producir bienes y servicios en territorio rural, sino que también es generar un paisaje ecológicamente sostenible y socialmente aceptable, donde sea posible una buena calidad de vida para sus habitantes.

En este libro se recoge parte de la información generada por investigadores en el ámbito de las praderas y pasturas. En la primera parte se hace un análisis histórico del cambio del paisaje cultural del bosque templado a la pastura permanente, bajo la perspectiva de los pastizales y los cambios que generaron en la zona templada de Chile las intervenciones del hombre. La modificación de los ecosistemas naturales generó en el ambiente templado praderas naturales y naturalizadas, invadidas por especies introducidas que se naturalizaron en un proceso que ha durado más de 400 años. La descripción de estos pastizales, su estado actual y sus posibles mejoras se presentan en el capítulo de praderas de la zona templada.

Las pasturas son analizadas en cuatro capítulos: establecimiento de pasturas, especies gramíneas, especies leguminosas y cultivos y forrajes suplementarios. La necesidad de dar respuesta a la fuerte invasión de especies exóticas que ha experimentado el país como consecuencia de la colonización española se refleja en la gran cantidad de estudios realizados en estos temas. Estos se resumen tratando de clarificar el verdadero impacto que tienen estas especies y cultivos en el desarrollo de los sistemas ganaderos de la zona templada.

Para realizar un uso eficiente de los recursos forrajeros es necesario elaborar normas y métodos. Estos son analizados en dos capítulos relacionados con el manejo del pastoreo y el uso del nitrógeno. Las investigaciones realizadas en las universidades ubicadas en la zona templada han demostrado que el buen manejo de pastoreo y el correcto uso del nitrógeno permiten maximizar el uso de los recursos forrajeros sin incrementar la contaminación ambiental. La aplicación fraccionada y dosificación correcta del nitrógeno en los sistemas pastoriles permite reducir los procesos de lixiviación y volatilización de este elemento.

Los desequilibrios que se han producido en los sistemas ganaderos, en especial, respecto al exceso de terrenos destinados al establecimiento de pasturas, uso excesivo de fertilizantes químicos y aplicaciones indiscriminadas de pesticidas han determinado la necesidad de investigar en el ámbito de los invertebrados fitófagos asociados a praderas y pasturas. Los resultados se presentan en otro capítulo de este libro.

La sostenibilidad de los sistemas ganaderos en las condiciones actuales donde aumenta la demanda de alimentos, pero también la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, se tratan en otros dos capítulos. La reducción de las emisiones va estar relacionada en cierta medida con el incremento de los procesos productivos mediante la utilización de microorganismos que mejoren la nutrición de las plantas mediante métodos biológicos, incluyendo rizobios, hongos formadores de micorrizas, bioestimulantes naturales y diversos organismos que permiten reducir el uso de fertilizantes químicos.

El ultimo capítulo de este libro trata sobre el manejo alimentario y nutricional de vacas en pastoreo. El manejo del pastoreo en sistemas intensivos de producción ganaderos presenta desafíos diferentes a los sistemas pastoriles puros dado que los animales con el solo aporte de la pradera no son capaces de cubrir sus requerimientos. Cada capítulo de este libro tiene por objetivo fundamental poner a disposición del lector interesado el conocimiento generado por años de investigación y desarrollo de trabajos en predios experimentales y campos de ganaderos.

Finalmente y en otro orden de ideas, con este libro se quiere rendir homenaje al doctor José Miguel Barea Navarro por su contribución a la ciencia en el ámbito de la nutrición vegetal mediada por microorganismos beneficiosos. Su obra se conoce en todo el mundo y, en especial, en España, Chile y otros países iberoamericanos, donde tiene una gran cantidad de discípulos que hoy tratamos de seguir el legado que nos dejó como profesor, científico y sobre todo como persona y amigo. José Miguel fue uno de los principales gestores de este libro, en el cual participó desarrollando su estructura, estilo y contenido, siendo, además, revisor de la mayoría de los capítulos. Su partida le impidió ver esta obra terminada, pero sabemos que, donde quiera que esté, la disfrutará con la misma ilusión con la que disfrutaba todos sus logros y, especialmente, la de todos sus discípulos y amigos.

Capítulo I
**Cambio del paisaje cultural del bosque templado
a la pastura permanente**

Rolando Demanet Filippi
Miguel Ángel Herrera Machuca
José Miguel Barea Navarro

Contenido

Introducción	10
Zona templada de Chile	11
El bosque original: importancia y ubicación	13
Suelos en la zona templada de Chile	14
Clima de la zona templada de Chile	15
Geomorfología y fisiografía	16
Formaciones boscosas	17
El bosque en suelos ñadi	19
Biodiversidad del bosque templado.....	19
Niveles de intervención del bosque original	20
Regulación de uso del bosque.....	21
La expansión de las especies exóticas	21
Transformación del bosque a pastura	23
Modelo de cambio del bosque al pastizal templado del sur de Chile.....	24
Deterioro del ecosistema templado.....	25
Procesos de deforestación en el mundo.....	25
Transformaciones del bosque templado lluvioso en Chile.....	26
Expansión humana en el ecosistema templado lluvioso.....	27
Habilitación de suelos para la agricultura.....	30
Desarrollo ganadero	34
Cambio en el paisaje cultural	37
La desertificación: Un proceso incipiente en la zona templada	40
Hipótesis sistemogénica	41
Desarrollo sostenible	44
Bibliografía	45

Introducción

Los procesos de deforestación ocurridos en los bosques templados del sur de Chile, el posterior laboreo excesivo de la tierra para producción de cereales y el sobre-pastoreo de los pastizales generados a partir de los rastrojos, dieron lugar a la degradación de la biocenosis, a la pérdida de las fuentes de agua y al deterioro del potencial productivo de los recursos naturales del ecosistema. El efecto visible de tales procesos de degradación fue el incremento de la pobreza del paisaje rural, que se tradujo en el abandono de los predios, migración de la población del campo a la ciudad y el incremento de los desequilibrios territoriales. Como consecuencia, ocurrió una transformación tanto del paisaje rural, generándose un ambiente desertificado de baja actividad antrópica, como del paisaje urbano en el que se propició un ambiente de alta densidad poblacional de elevada demanda. Ello dio lugar a que se manifestaran las lógicas desigualdades que transforman a las urbes en ambientes sórdidos, poco saludables y de baja capacidad de resiliencia para absorber las perturbaciones originadas por las comunidades humanas.

Hay que hacer constar que históricamente en Chile las transformaciones del paisaje han ocurrido como consecuencia de la extracción de recursos naturales y su exportación como productos de bajo costo y de bajo

valor agregado. Prueba de ello es que las principales riquezas privadas de Chile se han generado inicialmente en base a la producción de celulosa, la pesca y la minería, además de actividades agrícolas extensas como trigo, frutales y producción animal (Gastó *et al.*, 2006; Gastó *et al.*, 2009; Stobbelaar & van Mansvelt, 2000). En otro orden de cosas, se sabe que el paisaje cultural surge gradualmente como una expresión de las actuaciones de la sociedad humana propiciada por sus intervenciones tecnológicas sobre la naturaleza (Stobbelaar & van Mansvelt, 1997; Jellema *et al.*, 2009), representada en una primera etapa como paisaje ancestral. Las primeras tecnologías se asocian al desarrollo del hombre recolector y cazador y están dadas por el manejo del fuego y la utilización de palos y piedras. La agricultura *sensu lato* surge hace aproximadamente 10.000 años atrás como un mecanismo generalizado de actuación que articula la relación entre el hombre y la naturaleza permitiendo transformar la naturaleza como paisaje primitivo en paisaje cultural (Gastó *et al.*, 2006; Jones *et al.*, 2008; Gastó *et al.*, 2009; Stobbelaar *et al.*, 2009). En la región templada de Chile parte del paisaje rural se transformó en un ecosistema fragmentado, con un evidente estado de avanzado deterioro que no tiene una capacidad endógena de recuperación. De esta forma los ecosistemas que han sido devastados en los últimos dos siglos han perdido la capacidad de resiliencia. Además, el hombre, organizado en comunidades dependientes de un poder central, no ha determinado ni ejecutado los cambios que permitan alcanzar equilibrios ideales en el territorio, de acuerdo a su contexto cultural. En síntesis, el hombre no ha tenido la capacidad de gobernar el territorio que habita. Este es un hecho fundamental ya que para que la gobernabilidad territorial ocurra se requiere conocer la dinámica del ecosistema donde se encuentran insertas las comunidades humanas y, a través de políticas definidas, desarrollar normativas y leyes que permitan tener influencia en el paisaje cultural prevalente.

Hay que tener en cuenta que la sociedad actual se enfrenta al dilema de optimizar el territorio desde una perspectiva centrada prioritariamente en las necesidades del hombre como actor principal del desarrollo, o bien enfatizar en la matriz de fondo territorial, donde la naturaleza, como un todo, se auto-organiza en sistemas ecológicos naturales y sustentables (Cosio *et al.*, 2010).

Zona templada de Chile

El bosque templado autóctono, también conocido como bosque nativo, corresponde al bosque templado húmedo, que incluye regiones con más de 1.400 mm de precipitación distribuidas a través del año, y de clima oceánico (Armesto *et al.*, 1992). Se ubica entre la región del Maule (35° LS) y Tierra del Fuego (55° LS), extendiéndose incluso hasta los sectores andinos de Argentina (Figura 1.1). Presenta una importante diversidad de especies y un alto grado de endemismo tanto en su flora como en su fauna (CONAF, CONAMA, 1999).

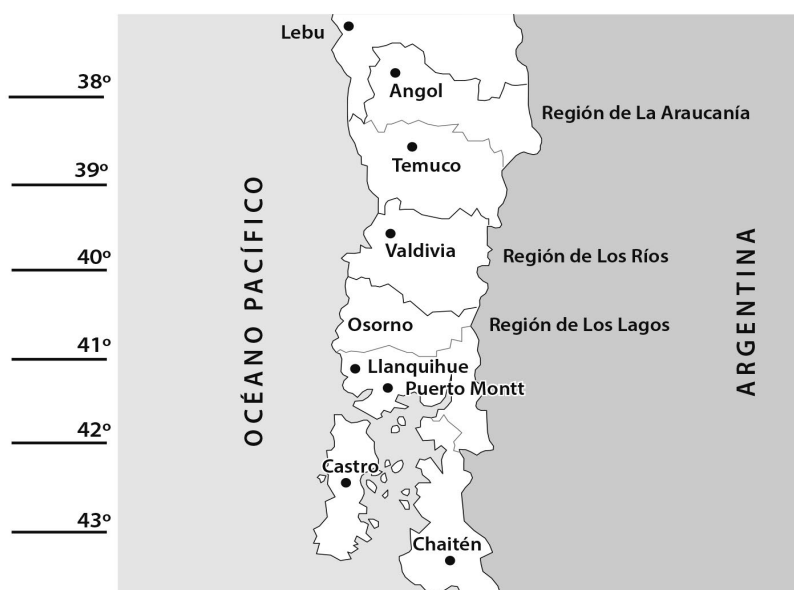


Figura 1.1. Zona templada de Chile

Chile posee una superficie total de 75.633.601 ha, distribuida en 16 Regiones. Las regiones que comprenden administrativamente el área templada del país son La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos (Tabla 1.1).

Tabla 1.1 Regiones administrativas que comprenden la zona templada de Chile

Región	Paralelos	Superficie (km²)
La Araucanía	37° 35' - 39° 37' LS	31.842,3
Los Ríos	39° 37' - 40° 41' LS	18.429,5
Los Lagos	40° 41' - 44° 04' LS	48.583,6
Total		98.855,4

De acuerdo con la categorización de “uso de la tierra” actualizado en el año 2011, las zonas que cubren la mayor superficie del país son las desprovistas de vegetación, con 30.678.263 ha, que corresponden a un 40,6% del total nacional, seguidas de praderas y matorrales, con 19.983.588 ha y bosques, 16.676.875 ha, que representan un 26,4% y 22,0% del total, respectivamente (CONAF, 2011).

Del total nacional ocupado por el bosque, 13.599.610 ha (81,6%) corresponden a bosque nativo, 2.872.007 ha (17,2%) a plantaciones forestales exóticas y 123.756 ha (0,7%) a bosques mixtos. El mayor porcentaje del bosque nativo del país lo constituye el bosque adulto (5.912.235 ha), que representa el 35,5% de total. El tipo forestal más importante es el “siempre verde”, que representa el 30,4% del total de bosque nativo, seguido de los tipos forestales Lenga, Coigüe de Magallanes y Roble-Raulí-Coigüe, con 26,3, 12,4 y 10,8%, respectivamente (CONAF, 2011). El bosque nativo está constituido por dos mezclas de especies fundamentalmente: *Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst. (Roble) con *Nothofagus nervosa* (Phil.) Dimitri & Milano [*Syn. Nothofagus alpina* (P. et E.) Oerst)] (Raulí) y *Nothofagus dombeysi* (Mirb.) Oerst. (Coigüe); o *Nothofagus dombeysi* (Mirb.) Oerst. (Coigüe), *Nothofagus nervosa* (Phil.) Dimitri & Milano (Raulí), *Laureliopsis philippiana* (Looser) Schodde (Tepa) (Donoso *et al.*, 1993). Las tipologías forestales, cuyas especies dominantes pertenecen al género *Nothofagus* (Lenga, Coigüe de Magallanes, Roble-Raulí-Coigüe, Coigüe-Raulí-Tepa y Roble-Hualo), suman 7.504.121 hectáreas, equivalente a poco más del 55% de la superficie total de bosques nativos (CONAF, 2011).

En la actualidad, la superficie de bosque nativo se distribuye, principalmente, entre las Regiones de Maule hasta la Región de Magallanes (13.163.807 ha) y las plantaciones forestales entre las Regiones del Maule y Los Lagos (2.641.338 ha), siendo la Región de Aysén la de mayor aporte a la zona boscosa nativa, con el 29% de la superficie nacional. El bosque nativo en Chile se puede considerar dentro del grupo de bosque templado y se ubica en forma continua entre la región del Maule (35° LS) y Tierra del Fuego (55° LS), extendiéndose incluso hasta los sectores andinos de Argentina. Presenta una alta diversidad de especies de árboles, arbustos, plantas epífitas, musgos y líquenes, que lo diferencian de otros bosques de igual tipo existentes en el mundo. Presenta un elevado número de endemismos, tanto en su flora como en su fauna (CONAF, 2011). En el país el bosque nativo ha reducido su superficie en forma acelerada en el último siglo como consecuencia de la actividad agropecuaria, ocupación del territorio en zonas urbanas y expansión de las plantaciones forestales hacia los cordones montañosos andinos y costeros (Aguayo *et al.*, 2009).

La denominación de bosque templado responde a una clasificación climática, muy usual internacionalmente y también en Chile, y se refiere a aquellos bosques que están fuera de las regiones mediterráneas y tropicales, y que están sujetos a una estación seca de verano y fría de invierno. Este tipo de bosque se generó a partir de suelos de origen volcánico, con un clima templado, donde las precipitaciones ocurren durante todo el año, con una mayor concentración en invierno. El bosque templado registra una acentuada influencia marítima, excepto en los sectores más altos de la Cordillera de Los Andes.

Los bosques templados de Chile, y de la zona limítrofe con Argentina, son de gran valor cultural, ecológico y económico. Este tipo de bosques, también denominados Bosques Costeros Templados-Lluviosos, se ubican en diferentes partes del mundo, pero su máxima extensión se ubica en Chile y Argentina, superando en superficie a Canadá y Estados Unidos. Poseen una conexión evolutiva y geológica con Tasmania y Nueva Zelanda por su condición de tipo insular. En dichas regiones, son abundantes los endemismos y las particularidades adaptativas, ligadas con la polinización, dispersión de semillas, hibridismo e introgresión (movimiento de genes de una especie a otra, a consecuencia de un proceso de hibridación inter específica seguido de retro cruzamiento) (Drake, 2004).

Al valor científico y cultural se une el valor económico de las especies, muchas de ellas de alta calidad maderera (Donoso & Lara, 1995). Entre ellas, las únicas especies del mundo destacadas tanto por su endemidad como por su longevidad (más de mil años de edad) son: *Araucaria araucana* (Molina) K. Koch (Araucaria), *Austrocedrus chilensis* (D.Don) Pic-Serm. & Bizzarri (Ciprés de la Cordillera) y *Fitzroya cupressoides* (Molina) I.M.Johnst. (Alerce) (Drake, 2004). Estos bosques constituyen una reserva de madera y carbono para la humanidad, que son muy cotizados en un contexto mundial, dada su capacidad para contribuir a la limpieza del ambiente, escaso nivel de contaminación y mantención de ecosistemas prístinos de baja intervención antrópica. La extensa zona donde se ubican estas formaciones boscosas longevas tiene un valor ecológico y cultural excepcional. Tanto es así, que se han mantenido y protegido por ley de la República para evitar su explotación irracional.

Con la colonización europea a partir del siglo XVI, primero por la presencia española y luego alemana en el siglo XIX, la intervención del bosque nativo fue más intensa. El proceso degradativo se aceleró en las últimas décadas del siglo XIX e inicios del siglo XX, por la entrega de terrenos a colonos que, junto con abrir espacio por el bosque para ingresar a las tierras asignadas, quemaron parte de los árboles con el objetivo inicial de realizar agricultura y posteriormente ganadería (Pinto & Ordenes, 2012). La destrucción continúa hasta nuestros días, donde se mantiene la tala del bosque con el objetivo de generar madera como energía (leña) y construcción. Junto a lo anterior, las industrias del mueble y la construcción, mantienen una permanente presión sobre el bosque nativo, provocando en algunos sectores incendios intencionales con el objetivo de permitir la “tala rasa” de este, término utilizado para describir el proceso de extracción total de los árboles. Una vez talado el bosque, se generó un renovol dominado por especies agresivas e invasoras, que no permitieron la regeneración total de las especies nativas u originales del bosque templado. Esta situación permitió que los asentamientos humanos cada vez más demandantes de energía, utilizaran para leña y madera los sectores de renovales (Vera, 2008).

Las pasturas corresponden a un pastizal artificial, de alta productividad, que se establece con el objetivo de lograr la mayor producción de proteína animal para su canalización antrópica directa. Las pasturas se integran en ecosistemas de alta fragilidad y baja resiliencia, formados por especies exóticas, que requieren prácticas agronómicas de alto valor económico para lograr una persistencia aceptable. En estas prácticas se incluyen la roturación de suelos, incorporación de rastrojos, corrección de la acidez, incremento de algunos nutrientes en el suelo (fósforo, azufre, calcio, magnesio, entre otros) y el desarrollo de un manejo de pastoreo que impida la reducción de las poblaciones de plantas.

El paso del bosque a la pastura es un proceso complejo, pero que responde a la necesidad del hombre de incorporar nuevos terrenos para producción de alimentos, en especial, proteína animal de elevado valor biológico, debido a su alta cantidad y calidad de aminoácidos esenciales, en especial las contenidas en la leche, carne y huevos. Esta transformación, que en el área templada se encuentra en diferentes estados de avance o intervención, es un proceso que, desde punto de vista del cambio y de su significancia ecológica y económica, se pretende analizar en este capítulo.

El bosque original: importancia y ubicación

Como se esbozó anteriormente, los bosques templados de Chile se ubican entre la región del Maule (35° LS) y la Patagonia (45° LS), abarcando toda la superficie continental e insular desde el mar hasta la cordillera, incluso traspasando a ciertos sectores de Argentina. Se clasifican como bosques costeros templados lluviosos y se encuentran en otras zonas del mundo: Canadá, Estados Unidos, Tasmania, Nueva Zelanda, Islandia, Escocia, Irlanda, Noruega, Georgia, Turquía, Japón, España, la antigua Yugoslavia e Irán. El bosque templado lluvioso de Chile es el más importante en superficie junto a los existentes en Canadá y Estados Unidos y posee una conexión evolutiva y geológica con los de Tasmania y Nueva Zelanda. A nivel mundial estos bosques son escasos y posee un alto valor científico, cultural y económico por la alta calidad de su madera y nivel de endemidad (Donoso, 1998). Además, este particular ecosistema, que posee un alto valor ecológico, está sufriendo los procesos de deforestación, invasión de especies exóticas, fragmentación y depósito de nitrógeno atmosférico, característicos de todas las áreas boscosas del mundo (Staelens *et al.*, 2011).

Se puede considerar que el bosque templado lluvioso de Chile se ubica en una isla limitada al norte con la zona mediterránea, al oeste con el Océano Pacífico y al este con la cordillera de Los Andes (Gastó *et al.*, 1985). Su aislamiento bajo el paralelo 35°, latitud sur, se remonta al periodo terciario y es consecuencia de la formación del desierto de Atacama y la Cordillera de Los Andes. La barrera que imprimieron estos dos fenómenos fue acentuada por las condiciones climáticas del Pleistoceno, que se caracterizó por la intensificación del ambiente árido. El descenso en altitud tuvo relación directa con el enfriamiento glacial (Armesto *et al.*, 1997).

El bosque templado lluvioso de Chile está considerado uno de los 34 *hotspot* de diversidad definidos por Myers *et al.* (2000). Su inclusión dentro del grupo de los *hotspot* del mundo, significa que forma parte de los lugares donde se acumulan concentraciones excepcionales de especies endémicas, pero que están sufriendo la pérdida de su hábitat natural (Myers *et al.*, 2000). Estos autores determinaron que en sólo 25 *hotspot* entre los que encuentra esta zona de Chile, se ubican el 44% de todas las especies de plantas vasculares y el 35% de todas las especies de vertebrados, en una superficie que solo corresponde al 1,4% de la superficie terrestre.

Suelos en la zona templada de Chile

Los suelos de la zona templada de Chile se forjaron a lo largo de una historia marcada por la alta actividad volcánica, integrando en su formación gran cantidad de material eruptivo, en especial cenizas volcánicas (basálticas y andesitas), y que se desarrollaron bajo un régimen de temperatura méxico y térmico (Besoain, 1985). Son de textura franca y friable con áreas de buen drenaje y otras de drenaje imperfecto, en especial los sectores de ñadis, término indígena que significa “pantano de temporada” (Meyer, 1982). Constituye una franja de suelos ubicados en la parte central de la zona templada, entre la Cordillera de la Costa y los lagos de la precordillera de Los Andes.

El suelo presenta estratificaciones depositacionales, claramente distinguibles y nítidas de color, entre el suelo y el subsuelo (Roberts & Díaz, 1960). El suelo es poroso, con valores de densidad aparente bajas (0,6 a 0,9 g/cm³), pH ácido, baja capacidad de intercambio y suma de bases. Las bases del suelo y saturación de aluminio cambian según el grado de intervención (Mora *et al.*, 1999). Los índices de adsorción de fósforo fluctúan entre 39% y 98%, donde los mayores valores se ubican en los horizontes superficiales, lo cual limita el desarrollo de los cultivos y pasturas exóticas (Sadzawka & Carrasco, 1985).

Pese a que estos suelos poseen excelentes propiedades físicas (porcentaje de agregación, capacidad de retención de agua, densidad aparente, entre otras), su uso agrícola y ganadero está seriamente limitado por la carencia de fósforo disponible, producida por la alta capacidad de fijación de los coloides orgánicos (Sadzawka & Carrasco, 1985). Los andisoles, ultisoles y transicionales, dominan el área y se caracterizan por presentar una alta fragilidad, alta susceptibilidad a procesos erosivos y baja capacidad de retención de bases. Esto condiciona un proceso de acidificación permanente, favorecido por la exposición del suelo a la acción de las precipitaciones y las actividades agrícolas que utilizan fertilizantes acidificantes (Mora *et al.*, 1999).

Los suelos donde se desarrolla el ecosistema de ñadis tienen un carácter hidromórfico diferente. Se encuentran catalogados como clase de uso de suelos III y VIII de acuerdo al sistema de clasificación chileno, que se caracterizan por un drenaje imperfecto, de moderadamente malo a muy malo (ODEPA, 1968). En la zona templada esta área de suelos hidromórficos ocupa más de 400.000 hectáreas, distribuidas entre el paralelo 39° LS y 43° LS (Teuber, 1988). En dicha zona se distinguen cinco series de suelo: Alerce, Frutillar, Huiño – Huiño, Ñadi Huiti y Pellines, todas con profundidad de suelos inferior a 150 cm y drenaje malo e imperfecto (IREN – CORFO, 1964).

Los suelos donde se desarrolla el bosque templado presentan un bajo aporte de nitrógeno, por lo que la productividad depende del reciclaje y de la mineralización que genera la materia orgánica. Relacionado a lo anterior está la actividad biológica, que en estos suelos cambia según la densidad, latitud, altitud y condiciones de clima. Los estudios desarrollados por Rivas *et al.* (2007) indican que entre la depresión intermedia de la zona templada y la cordillera de Los Andes existe una marcada diferencia en las actividades biológicas de los suelos bajo bosque de *Nothofagus*. Esta diferencia esta generada por la ubicación, dado que, bajo condiciones rigurosas de clima de montaña, la actividad biológica disminuye y la velocidad de descomposición de la hojarasca se reduce ostensiblemente.

El aporte de nutrientes como nitrógeno y fósforo a los bosques templados lluviosos permite un incremento en el crecimiento y desarrollo de los árboles que se traduce en un incremento en la productividad total de este ecosistema (Godoy *et al.*, 2005; Ritter *et al.*, 2005). Como se sabe, el nitrógeno se encuentra en la materia orgánica del suelo y también puede ser incorporado a través de la fijación biológica. Para utilizar nitrógeno y otros nutrientes, las plantas pertenecientes al bosque templado han desarrollado mecanismos de re-translocación y mantenimiento de hojas longevas, que les permiten lograr un crecimiento adecuado y generar una biomasa importante (Pérez *et al.*, 2003). Este es un aspecto fundamental en la economía de nutrientes que, sin embargo, generan hojarasca con baja concentración de nitrógeno y alta relación carbono: nitrógeno, lo cual hace disminuir

la tasa de descomposición y mineralización de la materia orgánica (Rivas *et al.*, 2007). Además del nitrógeno, en los suelos derivados de cenizas volcánicas Andisoles y Ultisoles, donde crece el bosque templado, el fósforo constituye una de las principales limitantes para el desarrollo de las plantas (Redel *et al.*, 2007). El fósforo se encuentra, principalmente, en forma orgánica (Borie & Rubio, 2003), con un nivel bajo de la fracción mineral (PO_4^{3-}), que es una de las formas de fósforo que puede ser asimilado por los microorganismos, hongos y plantas (Rao *et al.*, 2003; Críquet *et al.*, 2004).

Es evidente que en el bosque templado, al igual que en todos los bosques del mundo, la producción primaria depende del reciclaje de nutrientes y las tasas de descomposición y mineralización de la materia orgánica, todos ellos factores regulados por las condiciones climáticas y la capacidad del suelo de liberar nutrientes. En este ámbito, los microorganismos del suelo juegan un papel fundamental en el proceso de reciclaje y ciclos biogeoquímicos (Valenzuela *et al.*, 2001; Satti *et al.*, 2003; Rivas *et al.*, 2007; Azcón-Aguilar & Barea, 2015). Sin embargo, cada bosque tiene una dinámica propia que está regulada por factores micro climáticos, tales como la humedad y temperatura de los suelos, que influyen de forma directa en la dinámica de la materia orgánica (Críquet *et al.*, 2004).

Clima de la zona templada de Chile

La zona templada de Chile se caracteriza por presentar una temperatura promedio anual inferior a 12°C , precipitación superior a 1.200 mm anuales y concentración de las precipitaciones en invierno (Figura 1.2). La estación seca y el periodo de déficit hídrico cambian según la latitud y altitud (Gastó, 1966).

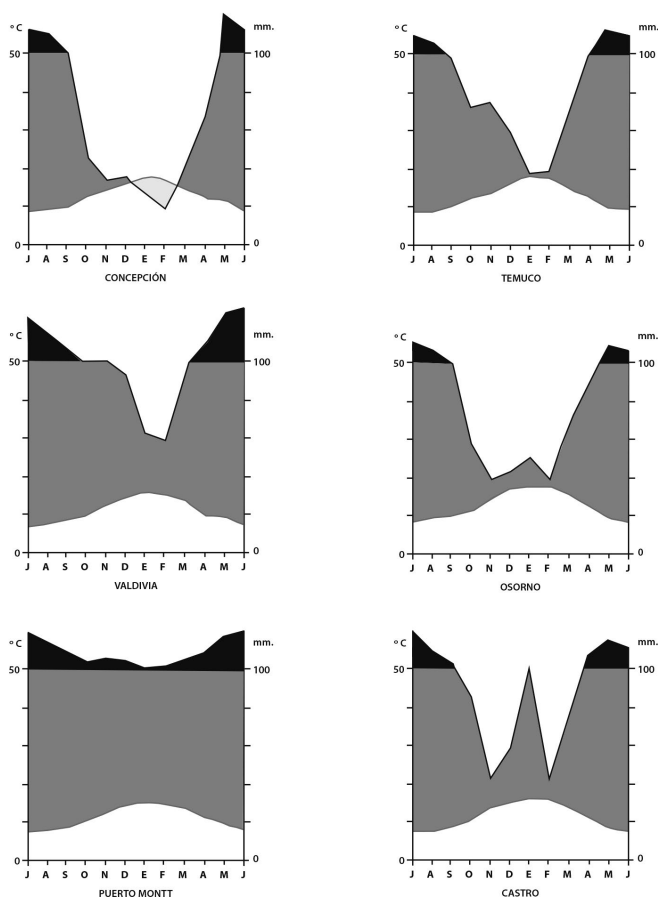


Figura 1.2. Diagramas ombrotérmicos de Gaussen – Walter de diferentes localidades de la zona templada de Chile (Fuente: Hajek & Di Castri, 1975)

Según la clasificación de Köppen, en Chile se distinguen dos variantes del clima templado: templado cálido con lluvias en invierno y templado lluvioso. El clima templado cálido con lluvias de invierno corresponde a la zona norte de la zona templada, hasta el paralelo 42°20'. La temperatura media alcanza 11°C y la homogeneidad del relieve produce valores reducidos en las amplitudes térmicas, así como similitud en las características térmicas generales de la región. La amplitud térmica anual es casi idéntica en Valdivia y Osorno (8,8°C y 8,7°C), a pesar de que la distancia a la costa desde ambas localidades es muy diferente. También es similar la amplitud térmica diaria, siendo del orden de 11°C; en cambio en Puerto Montt sólo alcanza 8,5°C, por cuanto sus temperaturas están moderadas por el seno de Reloncaví. Los numerosos lagos presentes en la región ayudan a mantener la homogeneidad térmica y son fuentes de humedad, lo cual es otra característica de este clima. La humedad media es superior al 80% y no hay meses con humedad media inferior al 75% (Gastó, 1966; Donoso, 1981; Gastó *et al.*, 1985).

Si bien las variaciones de relieve no son suficientes para producir variaciones significativas en la distribución de las temperaturas, sí generan diferencias en las precipitaciones, que además están influenciadas por la altura y latitud. En la costa de Valdivia la precipitación promedio anual es superior a 2.000 mm y en Osorno sólo 1.400 mm, reducción generada por efecto de la Cordillera de la Costa. Al sur, en Puerto Montt, la precipitación alcanza a 1.800 mm. Con la altitud, y adentrándose en la Cordillera de Los Andes, área de ubicación de grandes lagos, la precipitación aumenta alcanzando los 3.200 mm y registrando intensas nevadas en invierno. Las precipitaciones son producidas por frecuentes sistemas frontales que cruzan la zona, los que a su vez producen abundante nubosidad y pocos días despejados (Gastó, 1966; Donoso, 1981; Gastó *et al.*, 1985).

El clima templado lluvioso se extiende desde el centro sur de la isla de Chiloé hasta el paralelo 45°. Por su cercanía a regiones polares, las temperaturas disminuyen y no alcanzan los 10°C como media anual. Estas varían de acuerdo a la exposición a los vientos predominantes, que en esta zona son del oeste. Las temperaturas son mayores en el sector oriental de la Isla de Chiloé que en la costa Pacífica, donde los vientos y las precipitaciones son significativamente más intensas y abundantes (Gastó, 1966; Di Castri & Hayek, 1976; Donoso, 1981; Gastó *et al.*, 1985). Las precipitaciones son intensas, pero lo que llueve en los cuatro meses más lluviosos sólo equivale al 50% del total anual. Además, las precipitaciones disminuyen desde las zonas más expuestas al océano, como en el Golfo de Corcovado, hacia el interior, especialmente en los valles interiores más protegidos. En la Isla de Chiloé, Ancud principal ciudad del archipiélago, posee una precipitación promedio anual de más de 2.300 mm, mientras que en Castro 68,9 kilómetros al sur de esta ciudad, la precipitación es menor a 1.900 mm. En Chiloé continental, específicamente en Chaitén, las precipitaciones anuales superan los 3.000 mm (Di Castri & Hayek, 1976; Gastó *et al.*, 1985).

Geomorfología y fisiografía

La formación geomorfológica predominante en la zona templada posee un carácter de acumulación de sedimentos fluvio glaciovolcánicos constituidos por conos de gran envergadura y potencia que tienden a desaparecer como unidades orográficas en las cercanías de los ríos que cortan esta extensa área (Börgel, 1965). El carácter fuertemente morrénico del piedemonte cordillerano, así como las condiciones climáticas húmedas de esta zona, minimizan las formas de relieve a pequeños lomajes de gran curvatura externa, cuya periferia es sometido, por acción del agua, a una intensa erosión lineal por quebradas y arroyos (Gastó *et al.*, 1985).

La fisiografía de la zona templada se caracteriza por presentar una predominancia de lomajes suaves, combinado con áreas planas próximas a los ríos que cortan el paisaje morrénico. Estas dos situaciones fisiográficas se encuentran fragmentadas por una formación característica de la zona, que corresponde a los suelos ñadis. Se trata de suelos hidromórficos, planos, con drenaje imperfecto, textura fina y origen volcánico. Su profundidad fluctúa entre 20 cm y 150 cm, cuyo límite inferior se encuentra interrumpido por una capa de "hardpan" de hierro y aluminio, que genera la separación entre las cenizas volcánicas y el sustrato glacial y fluvio - glacial subyacente (Díaz *et al.*, 1958). Los ñadis cruzan toda el área central del bosque templado desde la región de La Araucanía (sector Pitrufquén 39° LS) hasta la región de Los Lagos, isla grande de Chiloé (sector Quellón, 43° LS) (Teuber, 1988).

La alta variabilidad eco-fisiográfica presente en la región está influenciada, principalmente, por las condiciones climáticas y topográficas y las variaciones latitudinal, altitudinal y longitudinal de las temperaturas y precipitaciones, factores que, en conjunto, afectan los patrones de distribución de la vegetación (Luebert & Pliscoff, 2006). La altitud es un factor crítico en la composición boscosa que, junto con la humedad del suelo, integran las variables

ambientales más importantes que explican la distribución de comunidades vegetales (Velásquez, 1994). En la Cordillera de Los Andes la vegetación boscosa se distribuye en un gradiente edafoclimático altitudinal, regulado por las bajas temperaturas, precipitación y depósitos de cenizas recientes generadas por el vulcanismo acentuado. Para la supervivencia de las especies vegetales, la biota posee estrategias específicas, bajo condiciones restrictivas de nutrientes, que le permiten la recuperación del tapiz vegetal (Lillo *et al.*, 2011).

La topografía donde se desarrolla este ecosistema de bosque templado está dominada por dos cordones montañosos: Cordillera de la Costa (entre 800 y 2.000 m de altitud) y Cordillera de los Andes (altitud máxima 3.000 m), donde las precipitaciones ocurren, principalmente, en las vertientes occidentales. Entre ambos macizos se presenta un plano ondulado, fragmentado por ríos que desembocan en el Océano Pacífico, que da origen a diversos valles transversales, en los cuales se desarrolla la agricultura y ganadería. Es en esta sección geográfica, donde se reúnen los asentamientos humanos, cuyo principal origen fue la colonización ocurrida en el siglo XIX (Gastó *et al.*, 1985). Así el paisaje que se ha desarrollado en estas formaciones geomorfológicas, que dan origen a una fisiografía característica, es consecuencia de la intervención del hombre, a través de la tala del bosque y habilitación de terrenos para el desarrollo de la agricultura y ganadería. Lo que quedó después de que el hombre actuara sobre la naturaleza (paisaje cultural), es lo que hoy la sociedad percibe y ubica entre las modificaciones más reciente de un bosque a nivel mundial (Vera, 2008).

Formaciones boscosas

Los bosques que aquí se desarrollaron se encuentran dominados por variadas especies del género *Nothofagus* y por coníferas milenarias. Las principales formaciones boscosas que se ubican en la zona templada de Chile están marcadas por *Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst. (Roble), *Nothofagus alpina* (P. et E.) Oerst. (Raulí), *Nothofagus dombeysi* (Mirb.) Oerst. (Coigüe) y *Laureliopsis philippiana* (Looser) Schodde (Tepa) (Donoso, 1981; Donoso, 1998).

Nothofagus obliqua (Mirb.) Oerst. (Roble)

Es la especie más común y abundante en gran parte de las zonas templadas de Chile. Debido a la calidad de su madera y a su rápido crecimiento es considerado como uno de los árboles forestales más importantes del país. Muchas áreas que fueron una vez bosques vírgenes dominados por *Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst., mantienen actualmente bosques de segundo crecimiento o renovales en los que, comúnmente, se mezcla con *Nothofagus alpina* (P. et E.) Oerst. (Donoso, 1979).

La distribución de *Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst., abarca ocho grados geográficos, desde el paralelo 33° LS hasta el paralelo 41° 30' LS, lo que significa una franja de 1.000 kilómetros de largo por 300 kilómetros de ancho. La distribución ecológica es muy variable. En la zona templada *Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst. crece en la costa, llano central y en la cordillera de la costa y cordillera de Los Andes, sólo hasta una altitud de 500 metros. Las poblaciones de *Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst. en el llano central de la zona templada han sido muy alteradas y hoy representan sólo pequeños bosquetes o árboles viejos aislados, dejados en los potreros y áreas de cultivo que caracterizan a estas regiones. La disminución de población de *Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst. en las áreas de cordillera son el resultado de incendios y tala para producción de madera y leña, generando un paisaje representado por bosques de segundo crecimiento o renovales (Yudelevich *et al.*, 1967; Donoso, 1974; 1979; 1981).

La amplia distribución latitudinal de *Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst., unido a la influencia marítima y accidentada topografía de Chile, han determinado una considerable variación en las características de los hábitats de sus poblaciones. *Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst. se ubica en tres de las siete zonas geográficas de Chile definidas por Almeyda & Sáez (1958): Zona de Matorrales (33° a 35° LS), Zona de Parques (36° 30' a 38° 30' LS) y Zona de Bosques (38° 30' a 40° LS). Además, de acuerdo a la clasificación de suelos desarrollada por Roberts & Díaz (1960), *Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst., se ubica en cinco grandes grupos de suelos: pardos no cálcicos, transicionales de pardos no cálcicos, Lateríticos pardo-rojizos, andisoles (trumaos), y pardos forestales.

Las poblaciones de *Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst. presentan una importante variabilidad fenotípica, producto de la amplia gama de climas y suelos donde se desarrolla esta especie en la zona templada de Chile. Según Donoso (1979), la heterogeneidad de los ambientes ha permitido el desarrollo de ecotipos y una mezcla de variación continua clinal (cambio gradual de rasgos fenotípicos de una misma especie por influjos y condiciones medioambientales) y discontinua de esta especie.

La mayoría de los sitios donde se desarrolla esta especie se encuentran intervenidos y fragmentados. La regeneración natural y la presencia de renovales hace factible encontrar en la actualidad que *Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst., bajo condiciones de competencia intra e inter específica, se comporte como típica especie heliófila prefiriendo sitios expuestos, con alta luminosidad y evaporación, e incluso aceptando temperaturas nocturnas cercanas al punto de congelación (Weinberger & Ramírez, 2001).

***Nothofagus alpina* (P. et E.) Oerst. (Raulí)**

Es una especie arbórea de alto interés forestal que se ubica en los bosques caducifolios subantárticos de Chile y Argentina (Rodríguez & Quezada 2003). Se desarrolla entre los 900 y 1.300 msnm, formando bosques puros con *Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Oerst. (Coigüe) (Pollmann, 2003). Pollmann (2001) clasifica a la asociación fitosociológica de ambas especies como *Nothofagus dombeyi-alpinae*, perteneciendo al tipo forestal *Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst. (Roble), *Nothofagus alpina* (P. et E.) Oerst. (Raulí) y *Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Oerst. (Coigüe).

En este tipo forestal definido por Pollmann (2001), *Nothofagus alpina* (P. et E.) Oerst. puede dominar ciertos espacios superando a *Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Oerst., pero sólo en condiciones favorables dada su menor resistencia al frío que otros congéneres (Weinberger & Ramírez, 2001). Su ubicación en las cordilleras de la Costa y de Los Andes, es discontinua e inserta en una matriz forestal dispersa. Los sitios de ubicación de esta especie se encuentran muy intervenidos y fragmentados. La velocidad de regeneración de las poblaciones de *Nothofagus alpina* (P. et E.) Oerst. está limitada por las condiciones de suelo, altitud y temperatura. Esta especie es capaz de crecer en condiciones de baja luminosidad relativa (< 27% de la luz a pleno sol), evaporación reducida y temperaturas ambientales (aire y suelo) moderadas; sin embargo, no soporta sitios con heladas durante el período de crecimiento vegetativo (Weinberger & Ramírez, 2001).

***Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Oerst. (Coigüe)**

Especie de amplia distribución en el bosque templado, es común encontrarla formando renovales puros (Donoso, 1981). En la cordillera de Los Andes se comporta como una especie invasora, en áreas de tala rasa, deslizamientos de tierra, taludes y escasa vegetación (Donoso *et al.*, 1999). Esta especie, que es intolerante al sombreado, (Donoso, 1981), se desarrolla con facilidad en lugares desprovistos de vegetación, donde la sucesión secundaria, habitualmente, es dominada por especies arbóreas: *Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Oerst. y *Nothofagus alpina* (P. et E.) Oerst. (Veblen & Ashton, 1978; Veblen, 1985).

El rápido crecimiento de esta especie y la ocupación que su follaje hace del espacio permiten desarrollar bosques relativamente puros en lugares extremos de baja vegetación, inclusive aquellos generados por fenómenos naturales, como movimientos sísmicos (Barnes *et al.*, 1998). Entre los árboles nativos es la especie que, en su condición de renoval, posee el mayor potencial de producción de madera pulpable, dado que los renovales de otras especies de *Nothofagus* presentan menores niveles de área basal por unidad de superficie y, por lo tanto, un menor potencial de volumen neto a una determinada edad de cosecha. Es importante considerar que todos los árboles nativos de edad adulta presentan un bajo volumen neto y, por lo tanto, el costo de explotación es mayor. Además, la tala plantea consideraciones ecológicas que hacen inconveniente su uso para estos efectos en forma exclusiva (Donoso *et al.*, 1999).

***Laureliopsis philippiana* (Looser) Schodde (Tepa)**

Esta especie crece sólo en Chile y escasamente en Argentina. En Chile se encuentra desde las provincias de Arauco y Bío-Bío (37° 30' LS) hasta el sur de Aysén (47° 30' LS) (Donoso, 2006). Se desarrolla favorablemente en suelos húmedos, profundos, ricos en nutrientes y de pH ácido (Donoso, 1983). Su reproducción por semillas generalmente es baja, ya que altos porcentajes de éstas son inviables (Elgado *et al.*, 2008).

En el bosque templado es considerada una especie importante por su nivel de endemismo y ubicuidad. Aun cuando se ubica preferentemente entre las provincias de Arauco y Puerto Aysén, también ha sido encontrada al norte de esta zona, en la Cordillera de la costa de la Región del Maule (35°29' LS y 72°22' LO), como una unidad fragmentaria asociada a *Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst. y a *Nothofagus glauca* (Phil.) Krasser (Sepúlveda & Troncoso, 2004).

El bosque en suelos ñadi

Las más de 400.000 hectáreas de la zona de ñadis que fragmentan el bosque templado presenta una vegetación que se encuentra dominada por dos estratos vegetacionales: bosque hidromórfico y matorrales. Ambos estratos han sido fuertemente intervenidos con el objetivo de extraer madera y leña y el posterior cultivo para el desarrollo de agricultura y ganadería. Las principales especies componentes del estrato arbóreo son: *Eucryphia cordifolia* Cav (Ulmo), *Nothofagus dombeysi* (Mirb.) Oerst. (Coigüe), *Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst. (Roble), *Laurelia sempervirens* (R. et Pav.) Tul (Laurel), *Gevuina avellana* Mol (Avellano), *Drimys winteri* Forst (Canelo), *Fitzroya cupressoides* (Mol.) Johnston y *Embotrium coccineum* Forst (Notro), entre otras (Montaldo, 1966; Montaldo, 1999; Teuber, 1988).

En el estrato de matorral se encuentran: *Myrcogenia apiculata* (DC) Ndz (Arrayán), *Amomyrtus luma* (Moll) Legr. et Kaus (Luma), *Aristotelia chilensis* (Moll) Stuntz (Maqui), *Tepualia stipularis* (Hook et Arn.) (Tepú), *Ribes magellanicum* Poir. (Zarzaparrilla), *Myrtus meli* L. (Meli), *Weinmannia trichosperma* Cav. (Tinceo o Palo santo), *Chusquea uliginosa* L (Quila de ñadi), *Chusquea quila* (Mol.) (Quila común) y *Chusquea coleou* (Coligue) entre otros (Montaldo, 1966; Teuber, 1988; Montaldo, 1999).

En el ecosistema de ñadi, *Drimys winteri* Forst (Canelo), es una especie sobresaliente, no sólo por su importancia religiosa en las comunidades indígenas, sino porque constituye una especie que ha logrado sobrevivir, aun cuando es clasificada como de baja tolerancia a la sombra (Donoso, 1998; Figueroa & Lusk, 2001). Corresponde a una especie secundaria, generada después de la intervención humana y los continuos incendios destinados a incrementar la superficie de cultivos y ganadería (Navarro *et al.*, 1999; Donoso *et al.*, 2007). Su presencia pierde importancia en ecosistemas más intervenidos y con mejor drenaje, donde dominan otras especies de la familia Myrtaceae, más *Laureliopsis philippiana* (Looser) Schodde (Tepa) de la familia Monimiaceae o *Eucryphia cordifolia* Cav. (Luma) de la familia Eucryphiaceae (Donoso *et al.*, 1985; Armesto & Figueroa, 1987; Aravena *et al.*, 2002).

En cuanto a la ubicuidad de las especies del bosque templado decir que dos de las especies de los principales tipos forestales de este tipo de formación boscosa, *Nothofagus dombeysi* (Mirb.) Oerst. (Coigüe) y *Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst. (Roble), no sólo se encuentran en zonas de lomajes y planos con suelos profundos, sino también en suelos hidromórficos, como es la formación de ñadi.

Biodiversidad del bosque templado

Como se dijo anteriormente, el bosque templado de Chile pertenece al selecto grupo de bosques con alta diversidad de especies siempre verdes que existen en el mundo. Concretamente, Norteamérica, en una extensa franja entre Alaska y Oregón, Nueva Zelanda, Tasmania, sur de Chile y Argentina, son los lugares donde es posible encontrar este tipo de bosques que, en general, se desarrollan en climas templados con precipitación superior a 1.400 milímetros por año (Armesto *et al.*, 1992). Se caracterizan por presentar formaciones de alta diversidad, que los cataloga como ecosistemas de gran importancia y preocupación a nivel mundial. Este hecho ha conducido a personalidades científicas, especialmente dedicadas a la conservación de los recursos naturales, a ubicarlos en la categoría de *hotspot*, esto es, áreas con alto endemismo, pero con eminente riesgo de pérdida de especies (Myers *et al.*, 2000).

Los bosques templados de Sudamérica tienen alrededor de 340 especies distintas, lo que refleja su nivel de biodiversidad, considerando tanto la alta proporción de grupos taxonómicos que son exclusivos de esta región, como la amplia variedad de géneros que lo componen (Armesto *et al.*, 1992).

La protección de la biodiversidad de la flora y fauna del bosque templado se trata de asegurar en Chile a través del programa denominado Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado, creado y administrado por la Corporación Nacional Forestal, CONAF, dependiente del Ministerio de Agricultura del estado de Chile. Este programa cuenta en la actualidad con 100 unidades, distribuidas en 36 Parques Nacionales, 49 Reservas Nacionales y 15 Monumentos Naturales, que en total cubren el 20% del territorio nacional (14,5 millones de hectáreas). Aun así, en el país existen centros de alta diversidad y endemismo de la flora del bosque que aún no se han integrado en este sistema de protección, como es el área costera entre el paralelo 35 ° LS y 40 ° LS. Diversas organizaciones no gubernamentales han intentado influir en las políticas de conservación de los recursos naturales del país, con el objetivo de promover una mejor regulación de la creciente y constante sustitución del bosque nativo por plantaciones exóticas que han invadido la Cordillera de la Costa desde la región del Maule a La Araucanía, áreas en las que el bosque alcanza su mayor diversidad y endemismo (Armesto *et al.*, 1992).

Niveles de intervención del bosque original

El bosque templado de Chile se encuentra en un proceso de permanente intervención generado por la expansión antrópica que corresponde a la colonización y apertura del bosque para generar agricultura. Este proceso invasivo del bosque prístino ha tenido como consecuencia grandes transformaciones en los sistemas económicos, productivos, medioambientales y sociales.

El escaso aprecio histórico por los bosques nativos y el uso indiscriminado del fuego para expandir las tierras agrícolas y ganaderas, tuvo como resultado una dramática fragmentación y reducción del bosque natural. El área de los bosques templados chilenos se redujo por el impacto humano durante los últimos siglos en una magnitud similar a la disminución experimentada en la última edad glacial. La intervención indígena sobre los bosques desde unos 10.000 años atrás hasta el siglo XVI estuvo acotada a sectores costeros, donde los principales usos fueron su utilización como combustible (recolección de ramas caídas), postes, flechas y construcción de botes (Armesto *et al.*, 1997).

Con la llegada de los europeos al país, hace 450 años, se inició un proceso de cambio en el uso del suelo que se estima ha generado una reducción de un 44% del bosque natural, siendo el tipo forestal *Nothofagus* el más afectado, ya que sólo posee en pie el 30% de la vegetación original (Donoso, 1979; Redel 2007). En paralelo a la reducción del bosque se produjo un aumento de la superficie de praderas y pasturas que, en dicho periodo, alcanzó más de cinco millones de hectáreas (Redel, 2007).

Aparentemente, gran parte del territorio al sur del paralelo 36° LS, estuvo cubierto de bosques densos a la llegada de los conquistadores españoles, como coinciden en señalar la mayor parte de los cronistas. Hasta antes del siglo XVI, desde el paralelo 33° hasta el 45° LS, se reconocía a Chile como un paisaje boscoso. A partir del siglo XVI, la colonización española devastó el bosque, en una primera fase hasta el río Bío - Bío, y luego hasta el río Tolten (paralelo 39° LS). Esta fase de la colonización llevó a una rápida destrucción de los bosques entre Maule y Concepción. En la segunda etapa de la colonización, realizada a partir de 1885 (fase republicana), dominó la colonización de otros países europeos, y abarcó las regiones de La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos. En esta fase se generó la más grande destrucción de los bosques templados (Armesto *et al.*, 1997).

Tras el fin de la guerra de Arauco, también conocida como pacificación de La Araucanía, la colonización alemana, fomentada por Vicente Pérez Rosales a fines del siglo XIX en la Región de Los Lagos, causó gran destrucción de los bosques por el uso indiscriminado del fuego. Los colonos alemanes quemaron extensas áreas boscosas de las Regiones de Los Ríos y Los Lagos. Contrataron indígenas para quemar grandes áreas y los incendios de bosques afectaron a cientos de miles de hectáreas, incluyendo bosques de maderas valiosas como el alerce del cual, en este periodo, se quemaron 27.000 hectáreas entre Puerto Varas y Puerto Montt (Elizalde, 1970).

La capacidad de resiliencia del bosque templado es subestimada con frecuencia. La tala del bosque templado, por su conformación heterogénea, deja en pie árboles maduros solitarios que continúan fructificando y que permiten la regeneración del bosque original. En la primera fase de recuperación del bosque original, las etapas juveniles de los árboles son muy sensibles a cualquier alteración de su ambiente: Por ello, en dicha etapa es necesario mantener el microambiente inalterado, tanto en el sotobosque, como en el dosel superior (Lee, 1978; Rosenberg *et al.*, 1983; Weinberger & Ramírez, 2001) ya que la estructura vertical juega un importante papel en la regeneración dinámica de poblaciones y comunidades del bosque templado (Hao *et al.*, 2007). Los árboles aislados presentan en la mayoría de las especies un bajo crecimiento en ausencia del efecto de protección lateral causado por bosques aledaños (Reyes *et al.*, 2007).

La intervención del bosque templado de Chile tiene un origen diverso. Tala con objetivos de extracción de madera y leña, incremento de la conectividad vial, desarrollo de asentamientos humanos, generación de agricultura y ganadería, construcción de embalses, ubicación de redes de transmisión eléctrica, plantación de árboles exóticos, entre otras. Todos estos procesos han conducido a la reducción de superficie antes mencionada, proceso irreversible bajo los actuales requerimientos de la población humana. La sustentabilidad del nuevo paisaje cultural generado por el hombre, producto de esta intervención queda en duda dada la alta fragilidad y baja diversidad que presentan los nuevos estados de cada ecosistema. La expansión de la frontera del hombre en los ecosistemas prístinos del bosque templado, con una visión economicista, sin valores conceptuales de la real necesidad de mantención de la diversidad, no se relaciona con la sostenibilidad del ecosistema (Sadanandan, 1999; Gastó *et al.*, 2002).

La fuerte intervención de los bosques templados y su transformación en áreas de pastizales o plantaciones de árboles exóticos sugiere aumentar la superficie de áreas protegidas y regular en forma eficiente las actuales zonas de exclusión humana y animal. Todo ello con el objetivo de cumplir con el mantenimiento de la diversidad y preservación de los procesos naturales de conservación, además de contribuir a la mantención de acuíferos. A ello se suma la reducción de la pérdida de suelos y generación de un paisaje armónico que constituya una fuente de esperanza humana, más que de tristeza y soledad. Los ecosistemas intervenidos presentan un aspecto sobrecogedor de desesperanza y pobreza que muestran la miseria ecológica que provocan las intervenciones que no consideran normas de uso sostenibles.

La fragmentación del bosque templado, proceso que se define como la conversión del bosque original en parches pequeños y aislados, diferentes del original (Fahrig, 2003), aumenta la probabilidad de modificación, migración y extinción de las especies que conformaron el ecosistema original (Henríquez *et al.*, 2009). Además, reducen las posibilidades de rescate si los parches son muy pequeños (Baguette & Schtickzelle, 2003). Es por esta razón que las zonas de protección, que cada vez están más alejadas de las áreas de alto valor, deben ser controladas y evaluadas en forma permanente, con el objetivo de analizar los procesos biológicos que regulan la sucesión ecológica. Con estos antecedentes es factible desarrollar políticas de uso racional del bosque templado que no afecten a la biodiversidad ni destruyan el paisaje que ellos proveen a la humanidad.

Regulación de uso del bosque

El bosque templado es un ecosistema cuya población de árboles presenta una fragilidad permanente, por lo que pequeños cambios en la dinámica de regeneración y renovación pueden generar alteraciones irreversibles (Satti *et al.*, 1983). La importancia del ecosistema de bosque templado, al igual que la de todos los ecosistemas boscosos, radica en que son fuente de biodiversidad y aportadores de bienes y servicios aprovechables, entre los cuales se encuentra la conservación del agua, suelo, paisaje y patrimonio cultural. Además, permiten la regulación de ciclos y flujos naturales y aportan bienes y servicios tangibles e intangibles (Drake, 2004).

Los bosques naturales pueden perder productividad si no incorporan ciertos manejos controlados, cuya práctica permita reducir la presencia de árboles muertos y madera en descomposición. La presencia de restos de madera gruesa corresponde a un importante componente estructural y funcional de los bosques templados antiguos. Estudios desarrollados en la precordillera andina de la Región de Los Ríos demostraron que los antiguos bosques de la zona presentan una reducción crónica del crecimiento y desarrollo. Esta disminución se atribuye a la caída de árboles, alteración que es considerada como una acción común dentro del bosque y que genera un mosaico de diferentes estructuras dentro de una masa forestal. Esta condición natural afecta a la cantidad y calidad de los restos de madera gruesa y las diferencias entre los sitios se pueden atribuir al tipo de bosque, la productividad del mismo y la fase de sucesión ecológica (Schlegel & Donoso, 2008).

Es indudable que una parte del bosque templado debe permanecer inalterada como relicto de conservación, pero la mayor parte de la superficie debe ser sometida a un proceso gradual de manejo sustentable, donde el renoval sea un producto que permita renovar el bosque antiguo de baja productividad y sea el componente que permita generar elementos de calidad, rentabilidad, servicios ecosistémicos y estética más favorables a los aportados por las especies exóticas (Drake, 2004) que hoy invaden el ecosistema templado de Chile.

La expansión de las especies exóticas

El proceso de desertificación, fenómeno que tiene incorporado en su definición la erosión en un sentido amplio, más allá de los suelos, es causado por la actividad humana y, en especial, por la agricultura. En Chile este proceso ha tenido un efecto negativo en 47,3 millones de hectáreas, que equivale al 62,3% del territorio nacional (Corma, 2005).

La historia de la erosión en Chile se remonta al momento en que se inició la expansión del hombre, con la consecuente caza de animales salvajes, tala de bosque y generación de agricultura. En el país, desde el inicio de la República las autoridades tomaron conciencia de los procesos de erosión y desertificación que se estaban generando, producto de la explotación irracional de sus recursos naturales. Los primeros testimonios históricos de la pérdida de suelo fértil en Chile se encuentran en el año 1833, en el artículo “Destrucción y Desaparición de los Bosques”, escrito por Claudio Gay, botánico de origen francés que fue contratado en 1830 por el ministro del interior de Chile, Diego Portales, para que comenzara investigaciones científicas diversas sobre Chile. Por ellas recibió la Legión de Honor por parte del gobierno francés, donde manifestó su preocupación por la eliminación

de los bosques con objeto de utilizar el suelo para la agricultura y obtención de leña (Albert, 1906; Bianchi, 1909).

Los testimonios de la época revelaban las causas de la desaparición de los bosques, como lo expresaba Vicente Pérez Rosales en su libro “Recuerdos del Pasado”, donde señalaba que “cientos de miles de hectáreas forestales fueron quemadas por indios y colonos”. Por su parte, el historiador Benjamín Vicuña Mackenna, en 1855, escribió un artículo donde destacaba “Todos los bosques chilenos son talados a ritmo febril”. Estos y muchos otros testimonios históricos dan cuenta de lo avanzado y grave que era ya el proceso de erosión en el siglo XIX, como resultado de la deforestación ocurrida por siglos en el país (Bauer, 1905; Cariola & Snelk, 1991).

En 1889 Arturo Fortunato Alessandri Palma, que por entonces era diputado por Curicó del partido Liberal (posteriormente fue presidente de la República en dos periodos: 1920 – 1925 y 1932 -1938), encomendó a Federico Albert, quien había sido contratado por José Manuel Balmaceda como profesor del Instituto Pedagógico y preparador del Museo Nacional, a trasladarse al sector templado del país. El objetivo era estudiar los efectos que la invasión de las arenas del mar producía en los campos de la ribera y proponer un plan de plantaciones adecuadas para contenerlas y que, a la vez, proporcionaran madera, leña y forraje. Albert, en un corto tiempo, concluyó que cada año se perdía una importante cantidad de hectáreas fértiles por el proceso de formación de dunas y que ésta sería la causa de la ruina de los agricultores. Para evitarlo generó un proceso de reforestación con especies exóticas, donde la principal fue *Pinus spp.* El éxito de este Doctor en Ciencias Naturales y funcionario de la sección de ensayos Zoológicos y Botánicos del Ministerio de Industria del gobierno de Chile, fue la forestación de las dunas que hasta el día de hoy se pueden apreciar en la Reserva Nacional Federico Albert (Bauer, 1905; Cariola & Snelk, 1991).

Para definir las especies más apropiadas para la reforestación de los lugares degradados de la región sur, Albert (1906) desarrolló diversas evaluaciones y mediciones de crecimiento de distintas especies forestales, resultando el más oportuno *Pinus radiata* D. Don, de alta agresividad, rusticidad y acelerado crecimiento. Desde esa fecha se inició en el país un proceso de incorporación de esta especie al proceso de reforestación de cuencas y dunas degradadas, proceso que tuvo su máximo incentivo cuando el estado, a través del Decreto Ley 701 en el año 1974, decide subsidiar la reforestación con especies exóticas, principalmente *Pinus radiata* D. Don, *Eucalyptus globulus* Labill y *Eucalyptus nitens* H. Deane Maiden, subvención que se mantiene desde entonces. Este proceso invasivo produjo una transformación acelerada del ya intervenido paisaje templado, transformándolo en un paisaje de mayor fragmentación, donde los asentamientos humanos, áreas de cultivo, ganadería y plantaciones de árboles exóticos dominan el ecosistema. Asociado a este cambio se encuentran cambios estructurales en las cuencas, donde la retención de agua y el transporte de sedimentos modifican los cauces de agua y ríos, además de generar bancos de sedimentos en las desembocaduras de los ríos (Albert, 1906; Bianchi, 1947; Huber & Trecaman, 2004; Huber *et al.*, 2010).

La desertificación generada en el país por el crecimiento de la superficie agrícola y la falta de prácticas agronómicas sustentables, condujo a una desorientación generalizada en los procesos de reforestación. Un estímulo adicional para el proceso de reforestación, que incluso invadió sectores de bosque templado, fue el incremento de la demanda y del valor comercial de la celulosa en el mundo, en los años en que esta alcanzó a valores superiores a US\$ 1.000 por tonelada. Con este escenario, el país se enfrentó a un proceso difícil de revertir, que es el incremento de la superficie forestal exótica y la reducción de la superficie de bosque nativo, en especial del bosque templado (Redel, 2007; INFOR, 2010).

La expansión de las plantaciones forestales en el mundo ha generado un cambio en el paisaje, afectando negativamente al ambiente y a la sociedad. Según Mead (2013), en el mundo existen más de cuatro millones de hectáreas de *Pinus radiata* D. Don, la mayoría de las cuales se concentran en Chile y Nueva Zelanda, con aproximadamente 1,5 millones de hectáreas cada uno, lo que representa el 71% de la superficie mundial. En la década de los 70, en Chile los terrenos ocupados para forestación y reforestación se ubicaban en suelos de aptitud forestal, con pendientes pronunciadas y erosionadas, producto de la agricultura realizada durante el último siglo. La mayor forestación se realizó en dicho periodo entre las regiones de Valparaíso y La Araucanía. Las plantaciones de *Pinus radiata* D. Don. aumentaron de 29.213 hectáreas en el año 1975 a 224.716 hectáreas en el año 2007, incremento que estuvo asociado con el cambio en la aptitud de suelo utilizada. Desde el año 1990 al 2007, las plantaciones se expandieron en todas direcciones, ubicándose, además de los considerados anteriormente, en terrenos llanos de aptitud agrícola e incluso de riego. El 22,8% de las plantaciones forestales

de este último periodo de expansión se realizó en terrenos de bosques nativos secundarios. Esto corrobora que las plantaciones de árboles exóticos para producción de madera y pulpa ha sido una causa directa de la deforestación y pérdida de diversidad del bosque templado, además de responsable de la reducción de la disponibilidad de agua de las cuencas intervenidas y de todos los servicios que proporcionan los ecosistemas templados a la sociedad, como son pesca y caza, entre otros (Little *et al.*, 2009; Lara *et al.*, 2009; Nahuelhual *et al.*, 2012). Cisternas *et al.* (2001) determinaron que en la cuenca de San Pedro (36,5° LS), ubicada en la Región de Bío Bío, la tasa de pérdida de superficie del bosque nativo fue a razón de 3,5% por año, generando una disminución de la cubierta forestal nativa desde un 70,1% en 1943 a sólo 12,6% en 1994. Echeverría *et al.* (2006), que estudiaron la zona del Río Maule, determinaron que de una cobertura de 21% de bosque nativo en el año 1975, se redujo al 7% en el año 2000. Todo esto consecuencia de la expansión de la agricultura, áreas urbanas y sustitución del bosque nativo por plantaciones de árboles exóticos, principalmente de *Pinus radiata* D. Don (Armesto *et al.*, 2010).

En la última década la expansión forestal se ha concentrado en la región de Los Ríos, que posee el 10% de la superficie forestada de Chile (Mead, 2013). Esto es consecuencia no sólo de la aptitud de sus suelos y clima, sino también por el despegue de las grandes empresas forestales integradas verticalmente, propietarias de la mayoría del patrimonio forestal exótico de Chile y causa del conflicto de tenencia de la tierra que afecta a las regiones del Bío Bío y La Araucanía. En 2009 el volumen total cosechado fue de 35 millones de m³, de los cuales un 56% se utiliza como madera aserrada, 35% para pulpa y el 8% paneles (INFOR, 2010). La sociedad en el mundo moderno cada día presenta un mayor interés por el desarrollo sostenible y por el mantenimiento de ecosistemas que permitan preservar y conservar la biodiversidad de los ecosistemas terrestres. En Chile, al igual que en otros países del mundo, la expansión forestal en todas las direcciones de su extensa geografía, es un motivo de conflicto social y ambiental, dado el impacto que tiene sobre la sostenibilidad del medio ambiente (Gerber, 2011).

Este desequilibrio ha tenido consecuencias importante en el área templada de Chile, en donde la población rural supera el 46% y la pobreza el 25% y se dan niveles de migración superiores a 17% (INE, 2012). La población ya no tiene acceso a trabajos permanentes y los servicios se centralizan en las grandes ciudades, quedando los pueblos abandonados y restringidos a consumos menores que no permiten la sustentabilidad de la población rural.

La conversión de la tierra en plantaciones forestales, en especial de árboles exóticos, supone un costo ecológico y social elevado. El impacto de este cambio debe ser asumido por todos los actores que participan y se benefician del cambio: industria, medianas empresas, propietarios medianos y grandes de la tierra (Nahuelhual *et al.*, 2012), junto al estado que debe asumir su papel supervisor de todo proceso que signifique pérdidas de sustentabilidad en las diferentes regiones del país. Mayor responsabilidad les corresponde a las grandes empresas productoras de celulosa, propietarias de más de dos millones de hectáreas una superficie importante de las cuales corresponde a sustitución de bosque nativo por exóticos de *Pinus radiata* D. Don y *Eucalyptus spp.* (Taylor, 1998; Echeverría *et al.*, 2006).

Comprendiendo la comunidad científica y el estado la responsabilidad que le corresponde en esta acelerada transformación, es por lo que el gobierno de Chile, el 30 de Julio de 2008, publicó en su diario oficial la Ley N° 20.283 Recuperación del Bosque Nativo y Fomento Forestal, instrumento jurídico que pretende regular la conservación y gestión sostenible del bosque nativo, primer paso hacia el desarrollo de nuevas iniciativas de restauración forestal.

Transformación del bosque a pastura

La transformación del bosque a pastura es un proceso que en la zona templada de Chile se intensificó hace menos de 200 años. Posterior a la colonización europea, que trajo la quema y tala del bosque, los campos se habilitaron para desarrollar agricultura y ganadería. Importantes extensiones de bosques agonizantes y esqueléticos que, con una baja capacidad de resiliencia, regeneración y recuperación, fueron dando origen a pastizales naturales y naturalizados donde los colonos iniciaron procesos de generación de sistemas de producción de carne (bovina y ovina) y leche bovina. Este proceso, que tuvo una rápida velocidad de cambio, generó que, ya a mediados del siglo pasado, el bosque nativo representase menos de un tercio del área que ocupaba en la etapa previa a la colonización española. Alrededor de 1940 se estimaba que el bosque, incluyendo bosques intactos y semi-explotados, cubrían una superficie cercana a los 15 millones de hectáreas, es decir, la mitad de su extensión

original. Las cifras actuales indican que los bosques nativos se habrían reducido en un 50% en los últimos cincuenta años, es decir, a una tasa promedio del 1% anual (Armesto *et al.*, 1992).

A diferencia de la zona mediterránea árida y semiárida de Chile, donde los pastizales dominaban los ecosistemas (Cosío & Demanet, 1984; Demanet *et al.*, 1985), en la zona templada el bosque era la unidad de vegetación dominante y los pastizales se originaron a partir de la tala de sus árboles y posterior cultivo (Demanet & Romero, 1988; Demanet *et al.*, 1992). La expansión de los asentamientos humanos, con la colonización europea, aceleraron este proceso, que condujo a la región a ser un polo de producción de cereales, carne y leche.

El proceso de cambio de pastizales naturales o naturalizados a la siembra de pasturas con especies forrajeras exóticas, introducidas de Europa y Nueva Zelanda, tuvo un impulso mayor en la década de los años 60 del siglo pasado. El estado, a través de la Corporación de Fomento de la Producción, organismo encargado de fomentar sistemas productivos en todas las áreas de la economía, desarrolló programas de fomento de sistemas ganaderos de carne, leche y lana. El objetivo fue identificar la zona sur, en especial, el área templada y austral, como un centro de producción animal, reconociendo el origen de los colonizadores y la forma de vida que ellos habían desarrollado desde su llegada al país. Científicos, técnicos y extensionistas fueron capacitados en el extranjero. Al regresar al país iniciaron rápidamente el proceso de fomento del establecimiento de pasturas de alta producción, al igual que las existentes en Nueva Zelanda y Australia. Todo ello fue asociado a una contribución estatal de capacitación y créditos blandos de largo plazo. Este gran cambio fue promovido y auspiciado por el estado, que creó diversos programas como fueron el plan Chillán, el plan ganadero sur, programa pasto-leche, entre otros (Almonacid, 2009).

Junto al impacto social y económico, la zona templada y los ecosistemas de bosque templado, ya desmembrados, sufren nuevamente un fuerte impacto ecológico que se traduce en una nueva expansión y transformación del ecosistema, ahora de renovals a pasturas. Diversos investigadores han sugerido que las pérdidas biológicas derivadas de la acelerada destrucción de los ecosistemas naturales sólo pueden ser disminuidas con políticas de desarrollo que consideren una base ecológica y así detener, e incluso revertir, la creciente degradación de los recursos naturales (Montaldo, 1982; Gastó *et al.*, 1985; Armesto *et al.*, 1994; Montaldo, 1999; Gastó *et al.*, 2002).

No sólo la transformación del bosque a pastura constituye una amenaza para la reducción del bosque nativo. La presencia de animales, en especial los de pequeños propietarios, en los bosques protegidos del área templada es una amenaza constante para la regeneración y el mantenimiento del bosque templado lluvioso. Los animales no sólo consumen pastizales y arbustos ubicados en el sotobosque, sino que también son ávidos de desarrollar ramoneo y consumo total del renoval (Zamorano-Elgueta *et al.*, 2012). Además, en muchos casos, consumen la corteza de los árboles adultos generando un anillado que impide el transporte de nutrientes a través del xilema y floema, causando la muerte de árboles antiguos.

Modelo de cambio del bosque al pastizal templado del sur de Chile

La expansión horizontal del hombre en ambientes de la zona templada de Chile, superó la capacidad de resiliencia natural del ecosistema de bosque original. La extracción de madera y la consecuente fragmentación del paisaje desarrolló un nuevo paisaje que representa el desorden y la actitud inorgánica de la colonización del área.

La idea de colonizar nuevas tierras y generar un beneficio para el hombre desarrollando agricultura no tuvo la armonía lógica de un proceso de desarrollo. El avance del hombre en los ecosistemas prístinos de bosque, fue avasallador, sin control y sólo tuvo como meta establecer asentamientos humanos que respondieran a la soberanía de la época.

En este escenario de destrucción se generó un paisaje muy fragmentado donde la primera etapa de intervención tuvo su origen en la extracción de madera y en un segundo paso, la habilitación para la cultivación del terreno.

El cultivo de la tierra trajo una tecnología rudimentaria de siembra de cereales y el uso de los pastizales en ganadería para producción de carne y leche. La falta de respeto a las leyes naturales del ecosistema indujo un creciente proceso de degradación de los recursos naturales, lo que se tradujo en la necesidad de incorporar nuevas tecnologías de alto costo energético, para lograr niveles productivos adecuados a la creciente necesidad del hombre por generar alimentación y energía.

Deterioro del ecosistema templado

La historia de la civilización está ligada a los procesos de deforestación y degradación de los recursos naturales. Pocas son las sociedades que han logrado manejar en forma sostenible sus bosques y ecosistemas de pastizales, dado que desde la época prehistórica el hombre ha requerido de los árboles para generar energía y de la tierra para producir alimentos (Armesto *et al.*, 2010; FAO, 2012).

En el presente apartado se analiza la información sobre los procesos de deforestación en el mundo, al objeto de tener una visión de conjunto y globalizada, sobre el impacto de los procesos degradativos en distintas regiones en las que se desarrollan ecosistemas templados, para particularizar posteriormente en describir las transformaciones del bosque templado lluvioso en Chile.

Procesos de deforestación en el mundo

Los bosques han cumplido una función destacada en la historia de la humanidad y, milenio tras milenio, el crecimiento demográfico y el desarrollo han venido acompañados en todo el mundo por la deforestación periódica. El clima, la cultura, la tecnología y el comercio han ejercido gran influencia en la aceleración del ritmo de deforestación (FAO, 2012).

Se estima que en 5.000 años el mundo ha deforestado más de 1.800 millones de hectáreas de bosques, a razón de 360.000 hectáreas por año (Williams, 2006). En la actualidad el mundo cuenta con 4.000 millones de hectáreas de bosques que, en un proceso dinámico, están siendo intervenidos a una tasa de deforestación de hasta 5,2 millones de hectáreas por año, producto de la presión de la población que demanda alimentos, fibra y combustible (FAO, 2009). Es evidente que la deforestación en el mundo se relaciona con el crecimiento demográfico y la presión de la población por expandir las ciudades y los sectores de cultivo para hacer agricultura. Sin embargo, este estilo de crecimiento se basa en la socialización de los costos y privatización de los beneficios, situación que favorece el crecimiento económico, pero aumenta la insostenibilidad de los ecosistemas.

Existe una relación directa entre el crecimiento económico de las sociedades y la devastación de los ecosistemas boscosos. En el mundo sólo en los países cuyas sociedades han alcanzado un cierto nivel de riqueza, los procesos de devastación, en especial de los ecosistemas boscosos, han disminuido e incluso se han estancado (FAO, 2012). Pero este cambio siempre ha estado relacionado con la devastación de los ecosistemas de los países emergentes y en vías de desarrollo, que basan sus economías en la venta de sus recursos naturales sin procesar (Douglas & Simula, 2010).

En los últimos 50 años el mundo generó un incremento en el movimiento económico sin precedente en la historia de la humanidad. Esta tendencia fue impulsada por las economías emergentes, en las que la sostenibilidad fue marginada y no considerada en el proceso de cambio y la distribución de la riqueza concentrada. Esto significó que la desigualdad en los últimos decenios haya presentado un incremento en más de dos tercios en la mayoría de los países sobre los que hay datos disponibles, alcanzando su máximo nivel a fines de los años ochenta del siglo pasado. La proporción de ingresos que obtiene el 1% más rico de la población ha aumentado en la mayoría de las economías avanzadas y de mercados emergentes. En Estados Unidos, el 1% más rico de la población obtiene hoy alrededor del 18% del ingreso nacional, frente a aproximadamente el 8% hace 50 años (Alvaredo *et al.*, 2014).

Bajo este escenario los bosques en el mundo seguirán siendo objeto de deforestación indiscriminada, aun cuando la comunidad internacional, por primera vez, ha hecho el intento de cambiar las reglas y construir un mecanismo mundial que reconozca los valores no comerciales de los bosques, pagando por su contribución a la mitigación del cambio climático a través de la captación de carbono. El mercado no valora este concepto, pero esta reglamentación constituye un esfuerzo y un hito dirigido a mitigar el cambio climático y a financiar el manejo forestal sostenible (Douglas & Simula, 2010).

El foro intergubernamental sobre los bosques patrocinado por las Naciones Unidas ha mencionado que la deforestación es un proceso que se relaciona con el incremento de la pobreza, inseguridad en la tenencia de la tierra, legislación inadecuada, falta de gobernanza y políticas que distorsionan los mercados y fomentan la conversión de las tierras forestales a otros usos. Si el libre mercado sigue dominando la economía mundial, la transformación de los bosques autóctonos en plantaciones exóticas y terrenos de cultivos y pastizales seguirá

siendo promovido, en especial en los países que basan su economía en la extracción de recursos naturales. Es por ello que este proceso, que juega en contra de la sostenibilidad de los ecosistemas, debe ser enfrentado a escala local, nacional e internacional, con liderazgo en aspectos ecológicos, políticos y administrativos (FAO, 2012).

La economía mundial ha atravesado un período de grandes transformaciones en el último siglo. Como resultado del progreso tecnológico y la integración internacional ha surgido una verdadera aldea mundial, donde los países están mucho más cercanos entre sí gracias a sistemas de comunicación más veloces y mejores, y vínculos comerciales y financieros más sólidos de lo que podría haberse imaginado 50 años atrás. La economía mundial pasó de ser bipolar a multipolar, donde las economías de mercados emergentes concentran ahora la mayor parte del crecimiento mundial. Se han logrado elevar bastante los niveles de vida en muchos rincones del mundo, pero aún es preciso avanzar en el mejoramiento de las políticas macroeconómicas y financieras y permitir así una mejor respuesta a las crisis financieras y reducir la pobreza y la desigualdad (Kose & Oztuk, 2014).

Las transformaciones de los bosques en el mundo son el reflejo de los cambios que se han generado en la sociedad. Hoy los países han intentado preservar la diversidad florística en pequeños reductos denominados parques naturales o reservas forestales y de la biosfera, pero no han logrado dar cuerpo a políticas de manejo sostenible que permitan en la totalidad de los ecosistemas boscosos del mundo, en especial en los de los países emergentes, mantener un equilibrio entre extracción y repoblación. Esta diferencia es la que ha generado los mayores desequilibrios y las más importantes transformaciones en los ecosistemas boscosos, cuya superficie se reduce a una velocidad mayor de la que es posible recuperar.

Transformaciones del bosque templado lluvioso en Chile

Antes de la colonización europea en el siglo XVI, las transformaciones del bosque templado lluvioso estaban circunscritas a fenómenos naturales y pequeñas intervenciones generadas por la población indígena que habitaba la zona templada de Chile (Armesto *et al.*, 2010).

Durante el período indígena, 10.000 años atrás, hasta mediados del siglo XVI, los efectos humanos sobre el bosque templado lluvioso se limitaron a las áreas costeras y valle central, donde la capacidad de quema y modificación del bosque estuvo limitada por la falta de instrumentos de metal para desarrollar el corte de árboles. Al sur del paralelo 36° LS, el suelo estuvo cubierto por bosques y los habitantes de esta zona, estimados en un millón, habitaban las áreas costeras y valles fluviales de forma aislada y no concentrada en ciudades o pequeños villorrios (Armesto *et al.*, 2010).

A partir del siglo XVI y hasta mediados del siglo XIX, la acción de los españoles sobre los bosques estuvo limitada al norte de Concepción, producto de la guerra de Arauco que impedía la intervención de los bosques al sur del río Bío Bío (Pinto, 2003). También hubo intervenciones temporales al sur del río Toltén (paralelo 39°LS), dado que este territorio era ocupado por mapuches, a los cuales se les intentaba expulsar con la quema del bosque (Armesto *et al.*, 1994).

La ocupación de lugares como Valdivia, Calbuco y Chiloé permitió a los colonizadores desarrollar el proceso de tala del bosque templado lluvioso. Una de las especies más cotizadas por los colonizadores españoles fue *Fitzroya cupressoides* (Molina) I.M. Johnst. (Alerce), cuya madera durante los siglos XVII y XVIII fue exportada a las colonias españolas y a Europa. Esta especie es para Chile el más importante ejemplo de tala insostenible. Su tala selectiva se inició en el siglo XVII y durante el siglo XIX y mitad del XX, fue devastada por la tala indiscriminada y quema. La extracción de madera de los bosques no tuvo ninguna preocupación por la renovación del recurso, situación que determinó que en el año 1976 el estado de Chile prohibiera su extracción y comercialización (Veblen & Ashton, 1982; Frayer *et al.*, 1999).

Diversas especies autóctonas maderables del bosque templado lluviosos fueron devastadas en los últimos trescientos años, entre las cuales se encuentra *Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst., *Nothofagus alpina* (Poepp. & Endl.) Oerst. y *Persea lingue* Miers ex Bertero Nees. En la actualidad ya no presentan superficies importantes con rodales maderables y sus renovales fueron talados para producción de leña o habilitación de terrenos para agricultura (Wilson *et al.*, 2005; Echeverría *et al.*, 2008).

Entre los siglos XVII y XIX se produjo la mayor pérdida de los bosques autóctonos debido a la extracción de madera para las operaciones mineras del norte de Chile y del oeste de América del Norte. Contribuyeron

a este proceso el desarrollo del ferrocarril a fines del siglo XIX y la incorporación de aserraderos móviles que se desplazaban entre la costa y la cordillera, transformando todo en madera cuyo destino era la minería, construcción y exportación (Pinto, 2003; Armesto *et al.*, 2010). Asociado a lo anterior, el bosque templado lluvioso fue intervenido con grandes quemas con el objetivo de habilitar terrenos para la agricultura y ganadería (Pinto & Ordenes, 2012).

En Chile las leyes de protección forestal se remontan a 1872 y las primeras reservas de bosques nacionales se crearon en 1907. Sin embargo, esto no fue suficiente y la tala de bosques autóctonos, la intensificación de la producción agrícola, el desarrollo de una agricultura de subsistencia junto a la expansión de los centros urbanos generó un cambio en el paisaje y redujeron la superficie del bosque templado lluvioso (Aguayo *et al.*, 2009).

La intensificación agrícola relacionada con la necesidad de satisfacer la demanda interna de alimentos y posterior exportación de productos agropecuarios, obligaron al país a expandir la frontera agropecuaria. Se generaron así procesos de desertificación que fueron controlados con la forestación de bosques exóticos incentivados por el estado a través de subsidios. Esto permitió incluso la introducción de este tipo de bosques a sectores de renovales de bosque autóctono (Armesto *et al.*, 2010). Todo ello configuró el actual paisaje, que es consecuencia del desarrollo forestal inorgánico, el mantenimiento de sistemas agrícolas y ganaderos intensivos y de subsistencia, además de la expansión urbana e industrial. La reducción actual de los pocos espacios que permanecían con bosques autóctonos se debe, principalmente, a la expansión de las plantaciones forestales hacia los cordones montañosos andinos y costeros (Aguayo *et al.*, 2009).

En la actualidad, el bosque templado presenta un grado de intervención caracterizado por el desorden y la falta de regulación, debido a la confusión de los valores de libertad de uso de los recursos naturales con los de libertinaje, clásico del sub desarrollo mental y falta de conocimiento científico del ordenamiento natural de los recursos biológicos. La recuperación de las áreas boscosas naturales es un proceso complejo que está relacionado con la cultura, política y comportamiento social de los asentamientos humanos.

El desarrollo de las políticas de forestación y reforestación consideró la plantación de especies exóticas de corta rotación lo que ha contribuido al desarrollo forestal centralizado de empresas de mando vertical. Esto ha permitido la concentración de la riqueza en el área central del país y no han contribuido al desarrollo local y regional, sino a la creación de círculos de pobreza en pueblos tradicionalmente prósperos como Traiguén, Victoria, Collipulli. Esto ha sido relatado por Levy (2000) y Arancibia & Novoa (2006) bajo la mirada histórica de las familias colonas “Levy Widmer” y “Saenz Terpelle”, de la zona de La Araucanía, específicamente de Traiguén, localidad abastecedora y exportadora de grano más importante de Chile durante la primera mitad del siglo XX.

Expansión humana en el ecosistema templado lluvioso

La población indígena que vivía en los bosques templados lluviosos de Chile antes de la colonización española es difícil de precisar. Armesto *et al.* (2010) mencionan que los habitantes de esta área eran aproximadamente un millón y su hábitat se limitaba al borde costero y valles fluviales.

A partir de la colonización en el siglo XVI la expansión humana y la modificación del paisaje de la zona templada de Chile se verificaron en forma acelerada y sistemática. Los primeros reportes de 1778 indicaban que la zona central de Chile tenía una población que no superaba los 195.646 habitantes, en el obispado de Concepción 105.846 habitantes y en Castro, Chacao y Calbuco 26.703 habitantes: 15.076 españoles y 11.627 indios, cifras que aproximan la población censada a un poco más de 328.000 habitantes. Hasta 1813 no es posible saber la población aproximada de Chile. De ese año se tiene el primer registro fiable debido a que fue en esa fecha cuando se realizó el primer censo nacional levantado por Juan Egaña por orden de la junta de gobierno formada por Francisco Antonio Pérez, José Miguel Infante y Agustín de Eyzaguirre. Con diversas inexactitudes el censo logró definir que en 1813 en el país vivían 586.848 habitantes, aunque no estaban incluidos los habitantes de las comunidades indígenas de la zona templada del país (Archivo Nacional, 1953).

A partir de la creación de la Oficina de Estadística en 1843, a petición de Claudio Gay, se inicia la medición sistemática de la población en Chile, que en el siglo XIX presentó diversas omisiones debido a la imposibilidad de ingresar a censar en el área de Arauco, Malleco y Cautín, además de las desconfianzas propias de la población que asociaban el censo con acciones de pérdida de terrenos o pago de tributos al estado (Archivo Nacional, 1953; Pinto, 2010).

En 1854 el censo indicaba que el país tenía una población de 1.439.120 habitantes, que fue aumentando en forma progresiva hasta alcanzar en el año 2012 una población de 17.094.275 habitantes. Notable es la evolución de la ruralidad que, en estos dos últimos siglos, se redujo de 71,4% en 1865, periodo desde que se tiene información, a sólo 13% en el año 2010 (Tabla 1.2). Esto demuestra el fenómeno mundial de la atracción que han ejercido los centros urbanos en la población rural.

Tabla 1.2. Evolución de la población total, rural y densidad poblacional de Chile.

Año	Población Total	Población Rural	% Población rural	Habitantes/km²
1813	586.848			0,8
1835	1.010.336			1,3
1843	1.083.801			1,4
1854	1.439.120			1,9
1865	1.819.223	1.298.925	71,4	2,4
1875	2.075.971	1.351.457	65,1	2,7
1885	2.507.005	1.499.189	59,8	3,3
1895	2.695.625	1.469.116	54,5	3,6
1907	3.231.531	1.828.505	56,6	4,3
1920	3.730.235	1.991.335	53,4	4,9
1930	4.287.445	2.168.224	50,6	5,7
1940	5.023.539	2.384.228	47,5	6,6
1952	5.932.995	2.359.873	39,8	6,6
1960	7.374.115	2.346.055	31,8	9,7
1970	8.884.115	2.209.696	24,9	11,7
1982	11.329.736	2.013.609	17,8	15,0
1992	13.348.401	2.207.996	16,5	17,6
2002	15.116.435	2.025.602	13,4	20,0
2010	17.094.275	2.222.255	13,0	21,9

Fuente: adaptado de Pinto, 2010; INE 2003, 2008, 2010 y Archivo Nacional, 1953. La información del año 2010 es una estimación realizada por INE.

En el área templada la evolución de la población siguió la misma tendencia que a nivel nacional. La población fijó como residencia preferida el sector urbano y la población del sector rural se redujo a sólo un 31% (Tabla 1.3).

Tabla 1.3. Evolución de la población total y rural en la zona templada de Chile.

Año	Población Total	% Nacional	Población rural	% Población Rural
1907	658.935	20,4	313.195	47,5
1920	841.745	22,6	576.283	68,5
1930	984.093	23,0	676.992	68,8
1940	1.044.968	20,8	754.568	72,2
1952	1.332.351	22,5	740.567	55,6
1960	1.239.655	16,8	611.150	49,3
1970	1.348.500	15,2	679.495	50,4
1982	1.546.931	13,7	656.349	42,4
1992	1.730.051	13,0	671.341	38,8
2002	1.942.670	12,9	619.883	31,9
2010	2.186.400	12,8	678.313	31,0

Fuente: adaptado de Pinto, 2010; INE 2003, 2008, 2010 y Archivo Nacional, 1953. La información del año 2010 es una estimación realizada por INE.

La creciente urbanización del territorio chileno ha llevado a que en el año 2010 el 87% del total de la población viviera en áreas urbanas (INE, 2010). La urbanización no solo ha tenido efectos en el porcentaje de población urbana, sino también en la expansión física, casi incontrolada, de las ciudades. En el periodo 1993 – 2003, la superficie ocupada de las ciudades de más de 15.000 habitantes, presentó un crecimiento promedio de 28,7 %, sin embargo, la población en el mismo periodo creció un 15,97%, lo que supuso que la densidad de población media de las ciudades se redujera en un 9,97%, esto es de 82,2 habitantes/hectárea a 74 habitantes/hectárea.

Esto muestra el crecimiento horizontal de las ciudades, donde las viviendas sociales han ocupado extensas superficies del perímetro urbano con casas de una planta (Maturana & Muñoz, 2007).

La llegada del hombre al ecosistema templado lluvioso produjo la modificación del paisaje, el cual, antes del siglo XVI, era un ecosistema maduro dentro de la sucesión ecológica, con bajo flujo de energía, productividad neta reducida, alta persistencia de la biomasa y del carbono, y en el que los nutrientes presentaban ciclos biogeoquímicos cerrados. El ecosistema que enfrentaron colonizadores e indígenas era de alta estabilidad y diversidad de especies y complejo en sus estructuras, niveles y pisos vegetacionales, capas de suelos y redes tróficas.

La presión humana, representada en el incremento demográfico y la expansión de las zonas urbanas e industriales, transformó en menos de 200 años a los ecosistemas de bosque templado lluvioso en sistemas productivos artificiales con flujos energéticos intensos, baja persistencia de la biomasa, ciclos biogeoquímicos abiertos y gran simplicidad, cuyo objetivo fue generar espacios y alimento para la creciente población.

Sin embargo, esta expansión del hombre en la zona templada contribuyó a la inestabilidad de los sistemas, que se transformaron en ecosistema frágiles, simples e inmaduros ecológicamente, en los que el hombre tiene el papel fundamental en el control de los aportes energéticos, fertilidad, laboreo, eliminación de bioantagonistas y cosecha de la biomasa producida. El proceso de expansión humana del territorio generó en el hombre la necesidad de ser más eficiente en todos los procesos de canalización antrópica buscando nichos y simplificando en forma extrema la matriz natural de los ecosistemas. Así, la expansión de la frontera del hombre en el ecosistema del bosque templado lluvioso evolucionó desde un sistema natural de extracción donde el uso de sus elementos, o parte de ellos, no dañaba la integridad del ecosistema, a un sistema de explotación donde la retrogradación extrema condujo a procesos de pérdida de diversidad y estabilidad típicos de ecosistemas frágiles y simples.

En un poco más de dos siglos, la brutal evolución que generó la colonización europea en la zona templada de Chile, transformó a sus habitantes de recolectores a interventores. Desde la colecta natural de vegetales y animales, sin alteración mayor de la dinámica de los sistemas, se evolucionó a sistemas artificializados con explotaciones de grandes superficies, con paisajes homogéneos, donde la mecanización reemplaza los labores del hombre y la producción de excedentes y residuos se transforma en un problema ambiental de compleja solución.

Las economías desarrolladas en el área que fue ocupada por el bosque templado lluvioso intentaron generar la máxima eficiencia y productividad de los ecosistemas intervenidos. De otro lado, la agricultura familiar campesina, fuente de diversidad, estabilidad y germoplasma autóctono fue relegada a sitios de difícil intervención, baja productividad y escasa canalización antrópica, situación que ha generado una justa demanda por territorio, pero inapropiada solución de entrega de tierras sin una previa capacitación y adecuación a la vida campesina independiente.

El ambiente donde el hombre expandió su frontera y hoy se desarrolla es diverso y posee distintos niveles de vulnerabilidad y receptividad. La sostenibilidad de este ecosistema está directamente relacionada con la capacidad de respetar las relaciones de identidad local y la vulnerabilidad de cada ecosistema. No es ético que en una superficie importante del ecosistema del bosque templado lluvioso el hombre, en su afán de generar riqueza, haya transformado el paisaje prístino y armónico en agonizante. También es necesario considerar que los requerimientos de la creciente población son mayores, por eso tampoco es lícito que lugares con baja vulnerabilidad y alta potencialidad productiva no se utilicen en la generación de recursos de canalización antrópica.

La expansión humana en el ecosistema del bosque templado lluvioso generó una transformación que se basó en la socialización del gasto y la privatización de los ingresos, transformando a la población en una sociedad en permanente conflicto, lo que impide el desarrollo de ambientes armónicos y en la que las demandas sociales crecieron a un nivel que los tributos son incapaces de solventar.

En el ecosistema templado la expansión del hombre continúa en un ambiente irreconciliable y que no favorece acometer programas de desarrollo armónicos con la naturaleza, en los que prevalezca la cultura de mantención de un ambiente templado hermoso, próspero y partidario del desarrollo sostenible.

Habilitación de suelos para la agricultura

La agricultura chilena nace antes de la llegada de los españoles. Los incas, que habitaban la parte norte del país habían creado una agricultura muy avanzada asociada al maíz, la papa, la quínoa y el ají. Con la conquista se introdujo el trigo y árboles frutales, que se adaptaron con gran facilidad, constituyendo algunos de ellos verdaderos bosques en el sur, como el manzano. Con el desarrollo de la minería de metales preciosos el Virreinato del Perú comenzó su enriquecimiento, situación que generó una inesperada demanda de productos agrícolas, que fue suplida con la importación desde Chile. De esta forma, el país desde finales del siglo XVI hasta inicios del siglo XVIII se transformó en exportador de cereales, frutos secos, vino y aguardiente (Martínez, 1848; León, 2015).

Un inesperado acontecimiento transformaría la producción de cereales de Chile. El terremoto del año 1687 en Lima y la aparición de enfermedades en el trigo, en Perú, generaron un incremento de la demanda de cereales, que fue asumida por Chile. Así, en el siglo XVII el país se transformó en exportador de trigo y se inicia el primer gran proceso de desertificación, que se extendió desde Copiapó hasta Concepción. La devastación del bosque y el cultivo en laderas se transformó en una práctica usual para los productores de la época. Con este prospero desarrollo comercial se afianzó el concepto de propiedad que antes no existía y, además, apareció la figura del inquilino, que era un arrendatario puesto por el dueño de un fundo para resguardo de sus linderos. La vida chilena de fines del siglo XVIII giró en torno a la hacienda y el trigo, que fueron básicamente los elementos que más ganancias aportaron a los habitantes del territorio. En el campo se refugió la mayor parte de la población, encabezada naturalmente por el hacendado, que vivía y se preocupaba de todos los sectores que convivían en la hacienda. Asociado a este desarrollo del cultivo de trigo, se establecieron molinos procesadores, siendo el primero el de Bartolomé Flores protegido de Pedro de Valdivia, que había recibido tierras en Talagante ciudad próxima a Santiago. Sin embargo, este proceso no se desarrolló por muchos años y la actividad ganadera volvió a ser parte principal del trabajo en el campo (Villalobos, 2002; León, 2015).

Nuevamente, en el siglo XIX, la agricultura de la zona central pasó de un sistema pastoril, con limitadas exportaciones de cereal a Perú, a un periodo de prosperidad causado por la fiebre del oro de California y Australia (1850). Esto fue acompañado por el desarrollo de la industria molinera que permitió la extensión del cultivo del trigo. En el periodo de mayor actividad exportadora, Chile envió a California 277.000 quintales de trigo y 221.000 quintales de harina y a Australia 324.000 quintales de trigo y 202.000 quintales de harina (Tabla 1.4). Esta tendencia se hizo más importante cuando Gran Bretaña inició el proceso de importación de granos chilenos en el año 1865 (Bauer, 1970). El registro de exportaciones del año 1867 muestra que, en los puertos de Valparaíso, Constitución, Tomé y Talcahuano, se exportaron 14.775 toneladas de harina y 84.950 toneladas de trigo y cuyos principales destinos fueron Inglaterra, Francia, Perú, Río de La Plata, Brasil y Cabo de Buena Esperanza (Menadier, 1867).

Tabla 1.4. Exportaciones de trigo y harina a California y Australia (qqm x 1.000).

Año	Trigo			Harina		
	USA	Australia	Total	USA	Australia	Total
1848	3		3	3		3
1849	87		87	69		69
1850	277		277	221		221
1851	175		175	140		140
1852	145		145	111		111
1853	166	11	177	124		124
1854	63	127	190	50		50
1855	15	324	339	12	202	214
1856		155	155		81	81
1857		15	15		9	9
1858		1	1		1	1
1859		33	33		20	20

Fuente: adaptado de Arancibia & Yávar (1994).

En el valle central de Chile se desplazó el ganado por el trigo y en corto tiempo este cultivo se extendió al lomaje de la cordillera de la costa y La Frontera (Tabla 1.5). Sin embargo, siendo el país un productor marginal, respecto al mundo, el desarrollo del cultivo de cereales en Minnesota, Hungría, Rusia, Australia y Argentina, terminó con la prosperidad de este cultivo en 1880. El trigo producido en Chile no estaba en condiciones de competir con los mercados norteamericanos y europeos e incluso tuvo problemas para mantener la exportación a Perú y el consumo interno de Atacama (Bauer, 1970).

Tabla 1.5. Consumo interno, Exportación y aporte de La Frontera a la producción de trigo en el siglo XIX (toneladas).

Años	Consumo	Exportación	Total	Aporte de La Frontera
1841- 45	90.000	12.500	102.500	
1846 - 50	97.000	27.500	124.500	
1851 - 55	114.000	37.500	151.500	
1856 - 60	127.500	29.100	156.600	
1861- 65	140.000	68.500	208.500	
1866 - 70	147.500	128.000	275.500	
1871 - 75	155.000	152.400	307.400	
1876 - 80	163.000	110.000	273.000	
1881 - 85	175.000	135.200	310.200	70.000
1886 - 90	175.000	88.200	263.200	75.000
1891 - 95	195.000	145.500	340.500	120.000
1896 - 00	195.000	73.900	268.900	60.000
1901 - 05	200.000	38.500	238.500	70.000

Fuente: adaptado de Bauer, 1970.

La depresión del valor del trigo condujo al valle central a retomar la ganadería y los pastizales y el lomaje de la costa fue abandonado a la erosión y el deterioro. Esta fue la razón por la cual el cultivo de trigo fue desplazado a La Frontera donde se suponía que existían condiciones de clima y suelo que permitirían producir a un menor costo (Bauer, 1970).

La independencia de Chile y la ocupación de los terrenos indígenas de La Araucanía en el siglo XIX, extendió la explotación de los bosques nativos y la habilitación de los terrenos para desarrollar agricultura y ganadería. Tan profusa era la extracción de madera, que a fines del siglo XIX el comercio de madera representaba el 15% del comercio exterior (Camus, 2006). Junto a la tala de bosques proliferaron los sectores afectados por la erosión en todo el país. La extracción minera de los recursos naturales terminó por inquietar a la opinión pública y a la clase política que en un esfuerzo por contener los procesos erosivos, decidieron buscar opciones de mitigación. El gobierno de Chile contrató a Federico Albert a fines del siglo XIX para iniciar un programa de evaluación de especies forestales que pudiesen proteger las fuentes de agua y reducir el avance de terrenos erosionados (Armesto *et al.*, 2010).

El siglo XIX tuvo un gran impacto en el ecosistema del bosque templado lluvioso del sur de Chile ya que, además de la creciente explotación de su madera, ocurre una incipiente habilitación de terrenos para desarrollar agricultura y ganadería. Concretamente, en el año 1883 se produce el fin de la ocupación de La Araucanía (Bengoa, 1996) y se inicia el proceso migratorio más importante de la historia de la naciente república de Chile. En 1845 se promulgó la primera Ley de Colonización para incentivar el poblamiento del territorio, que hasta entonces solo estaba ocupado entre Copiapó y Concepción por población no indígena. En 1846 arriba un grupo reducido de alemanes que se estableció cerca de La Unión. En 1850 llega a Valdivia Vicente Pérez Rosales como agente de colonización, situación que incentivó la venida de colonos. En 1851 un grupo mayor de alemanes se estableció en isla Teja y en forma paulatina se logró extender el poblamiento hasta el lago Llanquihue, Melipulli (Puerto Montt) y Puerto Varas. Así, los colonos alemanes se instalaron en Osorno, Puerto Octay, Puerto Varas, Frutillar, La Unión y Río Bueno donde, entre 1851 y 1860, llegaron más de tres mil alemanes (Couyoumdjian & Rebolledo, 1984).

Al mismo tiempo, en La Araucanía sucedía un proceso similar y entre 1883 y 1887 arribaron alrededor de 1.750 familias de origen alemán, suizo y francés, que se establecieron en diversos lugares de la provincia de Malleco y Cautín. Al margen de las pequeñas superficies de terrenos que se entrega a cada colono (40 ha), el estado de

Chile vendió terrenos fiscales a grandes empresarios extranjeros que se habían enriquecido en la explotación minera del salitre y el carbón, Federico Varela y Luis Cousiño (Levy, 2000).

Los colonos iniciaron un arduo proceso de tala del bosque, destronque y labranza de la tierra en la parte central de las regiones, mientras que grandes empresas madereras se instalaron en montes y quebradas desde donde extrajeron la mayor cantidad de árboles maderables, con los cuales alimentaron las necesidades de la creciente minería y el desarrollo de las ciudades del centro del país (Levy, 2000; Armesto *et al.*, 2010).

Según Levy (2000), la colonización vino a cumplir un papel estratégico de ocupación, dado el abandono en que se encontraba La Araucanía. Ocurrió una reducción de la población indígena, generada por las enfermedades traídas por los colonizadores, tales como difteria, tuberculosis, sarampión, cólera entre otras. Colonos y chilenos que compraron sus tierras al fisco desarrollaron agricultura de cereales en la zona templada, hasta tal punto, que la provincia de Malleco se transformó en el granero de Chile. Con la llegada del ferrocarril a Traiguén, en 1889, esta ciudad se convirtió en un punto de atracción y las empresas comercializadoras de granos construyeron grandes bodegas. Don José Bunster construyó dos molinos que elaboraban harina no sólo para el consumo nacional sino también para la exportación a las costas occidentales de México, Estados Unidos y Canadá.

Al inicio del siglo XX los ecosistemas de bosque templado lluvioso se encontraban en su mayoría devastados, solo sectores de difícil acceso se escapaban a la acción del hombre. La agricultura, de ser una actividad secundaria, se transformó en la más importante (Pinto & Ordenes, 2012), aunque causaba estragos en todas las áreas donde se desarrollaba. La erosión y la pérdida de fertilidad de los suelos iban mermando la productividad de la tierra e iba transformando el paisaje desde un bosque denso a espacios desprovistos de vegetación y con fuertes indicios de desertificación. Como se ha señalado anteriormente, en 1910 el biólogo Federico Albert había determinado que para reducir las pérdidas de suelos y controlar la erosión propiciada por la producción agrícola, la repoblación con *Pinus radita* D. Don y *Eucalyptus spp.* era la solución para proteger las cuencas y evitar las formaciones de dunas en las costas del país (Armesto *et al.*, 2010).

En el siglo XX la expansión de la superficie agrícola en el área antes cubierta por el bosque templado lluvioso, continuó, como muestra el incremento permanente de la producción de trigo durante todo el siglo XX (Tabla 1.6). Además, el cultivo de cereales en esta zona fue ganando en importancia a nivel nacional, hasta llegar a fin de siglo con un aporte superior al 40% de la producción de trigo del país. Sin embargo, también hay que consignar que, en general, los cereales perdieron participación en la agricultura nacional, debido al incremento de la fruticultura, hortalizas y cultivos industriales. Es interesante destacar que los cambios políticos que sucedieron en ese siglo y los conflictos mundiales generaron diversos desajustes económicos, culturales y técnicos que afectaron al desarrollo de la agricultura, pero no así al trigo, que se mantuvo en alza elevando también su cuota de participación en la producción nacional.

Tabla 1.6. Producción y aporte porcentual al total nacional de trigo en la zona templada de Chile, Regiones de La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos. Periodo 1908 -2013.

Año	qqm	% producción nacional
1908	1.115.166	25,7
1918	536.790	8,5
1928	1.225.157	15,2
1938	1.946.000	23,6
1948	2.632.912	24,4
1958	2.553.550	24,7
1968	3.245.321	26,7
1978	6.032.830	44,4
1988	7.262.070	41,9
1998	7.526.742	44,7
2008	5.112.249	44,6
2013	6.032.830	44,4

Fuente: adaptado de Pinto & Ordoñez (2012); INE 1998; 2008; 2013; Banco Central 2001.

Sin embargo, la expansión de superficie dedicada al cultivo del trigo que se observó hasta la década de los 70 (Tabla 1.7) no estuvo relacionada con un incremento de la productividad, ya que en un periodo de 60 años el rendimiento sólo incrementó de 10 a 13,4 qqm/ha. De este estancamiento tuvieron mucha responsabilidad los propios agricultores que no invirtieron en la tierra, no cambiaron las técnicas de cultivo y no se informaron de los nuevos procesos técnicos disponibles en el mundo. Por su parte el estado no generó las condiciones para que la agricultura familiar campesina tuviese las condiciones técnicas y económicas para desarrollar procesos productivos eficientes. En síntesis, en el país los productores se conformaron con cosechar lo que la naturaleza les brindaba.

Tabla 1.7. Superficie de siembra y rendimiento de trigo en la zona templada de Chile, Regiones de La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos. Periodo 1908 -2013.

Año	ha	qqm/ha
1908	111.535	10,0
1918	53.340	10,1
1928	112.720	10,9
1938	194.700	10,0
1948	237.199	11,1
1958	225.978	11,3
1968	242.188	13,4
1978	391.742	15,4
1988	226.990	32,0
1998	159.355	47,2
2008	123.442	41,4
2013	110.934	54,4

Fuente: adaptado de Pinto & Ordoñez (2012); INE 1998; 2008; 2013; Banco Central 2001.

A partir de 1982 se inicia un importante cambio a nivel nacional y regional promovido por el estado que desarrolló un agresivo programa de transferencia tecnológica y que consideró la activa participación de investigadores estatales en conjunto con los productores organizados en grupos, cuyo objetivo primordial fue incorporar mayores conocimientos a los agricultores y, generar una vinculación entre ellos y las fuentes creadoras de tecnologías. La tarea, que fue encomendada al Instituto de Investigaciones Agropecuarias tuvo efectos inmediatos en la productividad que se demuestra en el incremento de rendimiento que hubo a partir de 1988 (Tabla 1.7). Según muestra el sitio web www.gtt.cl, el programa alcanzó tal éxito que en menos de cuatro años de existencia había adscritos más de 2.000 agricultores en 120 grupos, que mensualmente se reunían en torno a temas de su interés en el campo.

La transformación del ecosistema de bosque templado lluvioso para desarrollar agricultura llevó al ecosistema a tal desequilibrio que hoy los procesos de cambio son de tan alto costo social, ecológico y económico que la sociedad no está dispuesta a revertirlo. Es por ello que la pérdida de diversidad, suelo, fertilidad, equilibrio y alteración del paisaje sólo ha tenido soluciones parciales que no se ajustan a las necesidades de las futuras generaciones y menos aún a la sostenibilidad de los ecosistemas. La carencia de prácticas adecuadas de cultivo por más de 200 años, como son la incorporación de residuos, reducción de laboreo en pendiente, uso de fertilizantes orgánicos, incorporación de abono verde y ordenación territorial entre otras, generaron el incremento de la desertificación que avanza de norte a sur del país. El desarrollo de una agricultura extractiva durante 200 años ha causado la pérdida del equilibrio, forjando procesos erosivos de alta magnitud (Peralta, 1985). Estos impactos negativos han sido paliados con la forestación de especies exóticas de rápido crecimiento, produciendo un paisaje monotemático de baja diversidad y estabilidad.

Los desequilibrios en el territorio tienen su origen en el desarrollo de planes económicos que buscan la maximización del beneficio económico como fin primordial, con predominio del interés privado sobre el interés público y de largo plazo y con una mala planificación sectorial incapaz de integrar las dimensiones del territorio y del paisaje cultural (Gasto, 1980). Es por ello que la expansión de la agricultura en el ecosistema del bosque templado lluvioso generó cambios que los habitantes originales jamás podrían haber imaginado, transformando los equilibrios en desequilibrios y la estabilidad en fragilidad.

Desarrollo ganadero

La conquista de América por los españoles permitió el ingreso de una ganadería doméstica no existente en el continente. A partir del segundo viaje de Cristóbal Colón a América en 1493, el traslado de caballos, vacas, ovejas y cerdos se hizo constante, situación que permitió distribuir este tipo de ganado a toda América Latina.

El primer español en avistar Chile fue Diego de Almagro. Sin embargo, el que efectivamente conquistó el país fue Pedro de Valdivia, en el siglo XVI quien con sus hombres ingresaron a caballo y con un grupo de vacas, y fueron la fuente inicial de diseminación de la ganadería en el país. Tras la conquista de terrenos, Pedro de Valdivia fue el promotor de la agricultura y la ganadería entre caballeros y soldados (Villalobos, 2002)

El ganado que llegó al país (caballos, vacas, cerdo, ovejas, cabras y gallinas), se adaptó y reprodujo con facilidad generando una población importante, en especial el caballo, que fue el elemento fundamental para la expansión de la conquista. El enriquecimiento del virreinato del Perú a fines del siglo XVI y XVII, generado por el desarrollo de la minería de plata en Potosí, produjo una alta demanda desde Chile no sólo de productos agrícolas, sino especialmente ganaderos: cueros, carne deshidratada salada (charqui), sebo, vellones, cordobanes y jarcias. La industria del cuero fue durante todo el siglo XVII una industria en alza. De esta forma el país se transformó en un exportador de productos ganaderos y el comercio y la producción ganadera en grandes estancias permitieron formar las primeras grandes fortunas del Reino de Santiago (Contreras *et al.*, 1986; Villalobos, 2002).

La importancia adquirida por la ganadería no sólo se percibía por el volumen de exportación de productos generada por ella (Tabla 1.8), sino que esta actividad le otorgó identidad a la sociedad colonial chilena, cuya significación trascendió su importancia económica. La ganadería definió la fisonomía de una sociedad eminentemente rural y las labores ligadas a esta actividad contribuyeron a definir los rasgos más significativos del carácter e imagen del país. La estancia, propiedades de gran tamaño, se adueñaron del paisaje y con sus personajes la vida cotidiana del tiempo colonial. Las descripciones del medio rural y de la matanza y faena de ganado están presentes en todos los relatos de los cronistas y viajeros, como una forma de expresar la identidad y personalidad de la sociedad chilena de la época (Arancibia & Yávar, 1994).

Tabla 1.8. Exportaciones chilenas en el periodo 1660 - 1779, expresadas en moneda de la época.

Año	Sector Ganadero		Sector Agrícola		Sector Minero		Total
	\$	%	\$	%	\$	%	
1660	74.877	90	8.162	10	0	0	83.039
1680	118.309	89	12.174	9	2.577	2	133.060
1693	150.386	54	124.686	45	4.270	2	279.342
1744	108.000	27	290.300	72	5.000	1	403.300
1764	74.212	18	307.169	75	29.336	7	410.717
1779	152.500	31	226.135	45	120.000	24	498.635

Fuente: adaptado de Arancibia y Yávar (1994).

Un importante competidor de la ganadería fue la producción de trigo y sus crecientes exportaciones a Perú. Así lo demuestran las exportaciones realizadas desde el puerto de Concepción en el siglo XVII (Tabla 1.9). La consolidación de este rubro permitió el predominio de las exportaciones de productos provenientes del sector norte del área templada de Chile (Arancibia & Yávar, 1994; Armesto *et al.*, 2010).

Tabla 1.9. Exportaciones chilenas en el periodo 1683 - 1791, desde el puerto de Concepción, expresadas en moneda de la época.

Año	Sector Ganadero		Sector Agrícola		Sector Minero		Total
	\$	%	\$	%	\$	%	
1683	41.242	99	0	0	625	1	41.867
1751	17.430	58	11.594	39	900	3	29.924
1778	7.956	6	122.756	93	1.034	1	131.746
1791	5.300	6	79.500	94	0	0	84.800

Fuente: adaptado de Arancibia & Yávar (1994).

Hasta la irrupción del estado la economía de la zona templada de Chile se sustentaba en la ganadería. El tráfico de ganado bovino con las “malocas” mapuches desde la pampa argentina, generaba el ingreso de una cantidad no definida de ganado que pasaba por la región templada en tránsito a Concepción y área central del país. A este tráfico se sumó el desarrollo de la crianza del ganado lanar, que fue clave para la incipiente industria textil y que convirtió a la manta (poncho) en uno de los productos industriales más importantes de exportación en el siglo XIX (Pinto & Ordenes, 2012).

En el siglo XIX, con la transformación de la estructura política iniciada en 1810 (la formación de un Chile independiente y republicano, la guerra de independencia y la desestabilización política que duró hasta 1830), la economía ingresó a un periodo de crisis que afectó a todas las áreas de la economía y en especial a la agricultura y ganadería que habían sido el sostén de la economía colonial (Arancibia & Yávar, 1994; Villalobos, 2002).

Con el ingreso de los colonos y las políticas que favorecieron la agricultura y la extracción de madera, la ganadería inició un proceso de descenso en su actividad a mediados del siglo XIX, recuperándose en forma importante a inicios del siglo XX. Paralelamente, en la zona central del país las haciendas volvieron su mirada nuevamente a la ganadería desarrollando importantes planteles de ganado bovino y ovino. La producción de carne fresca, charqui, grasa, sebos y cuero, generaban importantes réditos a los hacendados de la época, todo ello avalado por el estado que intentaba desarrollar una política de impuestos a las importaciones desde Argentina (Martínez, 1848; Villalobos, 2002).

A partir del siglo XX la ganadería en la zona templada lluviosa de Chile tuvo dos polos de desarrollo, la producción ovina en La Araucanía y la producción bovina de leche y carne desde Valdivia al sur. Sin embargo, este desarrollo se vio frenado durante ese siglo por los mismos factores que afectaron a la producción de cereales: la reducción de los precios internacionales y nacionales de los productos agrícolas, disminución de los niveles de fertilidad de los suelos asociados a altos índices de erosión y serios problemas de transporte. A lo anterior, se suma la formación de grandes haciendas que no permitieron la explotación de la tierra en forma intensa y eficiente, además de los conflictos internos y mundiales que siempre afectaron el desarrollo agropecuario (Pinto, 2011).

El estancamiento de la ganadería en este siglo también puede ser atribuido a las políticas centralistas del estado que postergaron a la actividad agrícola y ganadera en beneficio del modelo industrial. Este hito en la historia de la agricultura de Chile supuso la marginación de esta actividad y la población y el estado exigieron la reducción de los precios con el objetivo de incrementar la capacidad de consumo. Aun así, el desarrollo de la ganadería y del cultivo de cereales aumentaba en la zona templada, tanto que en el año 1930 personajes importantes de la zona pensaban que el sur era una promesa y que en La Frontera faltaba todo por hacer (Almonacid, 2009).

Fue distinto el desarrollo de la ganadería en los suelos habilitados a partir del bosque templado lluviosos. En La Araucanía la ganadería estaba relegada a un segundo lugar, por debajo de la agricultura. Sin embargo, en las regiones de Los Ríos y Los Lagos, producto de la colonización alemana, la ganadería era la fuente de riqueza y prosperidad (Coudyounjian & Rebolledo, 1984; Pinto & Ordenes, 2012). A inicios del siglo XX el aporte de la zona templada a la producción era ya muy importante: leche 23%, quesos 28% y mantequilla 38% (Tabla 1.10).

Tabla 1.10. Aporte de la región templada lluviosa a la producción láctea de Chile: leche, queso y mantequilla. Año 1910.

Provincias	Leche (L)	Queso (kg)	Mantequilla (kg)
Malleco	1.822.217	84.064	35.418
Cautín	2.348.280	103.225	10.913
Valdivia	4.722.742	946.260	114.644
Llanquihue	18.439.510	205.830	397.381
Chiloé	255.160	0	3.950
Total Zona templada	27.587.909	1.339.379	562.306
Total País	117.937.114	4.868.125	1.482.111
% Nacional	23	28	38

Fuente: adaptado de Pinto (2011)

En la región se desarrollaron las primeras empresas lácteas de importancia, Loncoleche (1942), Colun (1949) y Copalca (1960) y el aporte de la región se fue incrementando respecto al total nacional (Pinto, 2011). Ello se debe a que en el área central de Chile se generaron programas de desarrollo en áreas de riego (frutales, semillas y

hortalizas), por lo que la ganadería se desplazó a sectores marginales de baja productividad, lo que desencadenó el desarrollo lechero y ganadero bovino en el sur del país (Arancibia & Yávar, 1994). Esto queda evidenciado en las Tablas 1.11 y 1.12, donde se muestra que los bovinos incrementaron su importancia en 10 años en 4,9 puntos porcentuales.

Tabla 1.11. Número de cabezas de ganado en la zona templada y total del país. 1997.

Especie	Nacional	Zona Templada	% nacional
Bovinos	4.098.438	2.371.893	57,9
Ovinos	3.695.062	636.438	17,2
Cerdos	1.716.881	321.892	18,7
Caballares	408.186	79.656	19,5
Total	9.918.567	3.409.879	34,4

Fuente: adaptado de INE, 1997.

Tabla 1.12. Número de cabezas de ganado en la zona templada y total del país. Año 2007.

Especie	Nacional	Zona Templada	% nacional
Bovinos	3.718.532	2.336.932	62,8
Ovinos	3.888.485	709.231	18,2
Cerdos	2.928.606	313.688	10,7
Caballares	304.252	68.050	22,4
Total	10.839.875	3.427.901	31,6

Fuente: adaptado de INE, 2007

Mayor es la importancia relativa que tiene esta región en la producción de leche (Tabla 1.13). Entre La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos las plantas lecheras recibieron y procesaron el 81% del total del país.

Tabla 1.13. Plantas lecheras y volumen total de recepción de leche. Año 2012.

Región	Nº Plantas Lecheras	Litros (x10 ⁶)
La Araucanía	15	193,7
Los Ríos	28	650,5
Los Lagos	35	1.118,5
Total Zona templada	78	1.962,7
Total País	147	2.434,6
% Nacional	53	81

Fuente: adaptado de INE, 2012.

La expansión ganadera entre el siglo XVI y finales del siglo XIX tuvo como principal fuente de alimentación pastizales naturales y naturalizados, compuestos principalmente por especies gramíneas y latifoliadas que producían de acuerdo a las condiciones de fertilidad de los suelos y las condiciones climáticas particulares de cada área. No existe un informe confiable que indique la fecha exacta del inicio del establecimiento de pasturas en la zona templada. Sólo se conoce el periodo de introducción de ciertas especies, en el cual se pudieron establecer las pasturas con el objetivo de alimentar al ganado (Tabla 1.14) A partir de la segunda mitad del siglo XIX, con el inicio de programas de desarrollo ganadero, comenzó en forma profusa el establecimiento y el desarrollo de tecnologías de establecimiento, fertilización y manejo de pastoreo. Ello permitió alcanzar en la zona templada rendimientos superiores a 18 ton MS/ha en pasturas permanentes y mayores a 20 ton MS/ha en pasturas de rotación corta (Demanet, 2008; 2014).

Tabla 1.14. Periodo de ingreso a Chile de algunas especies componentes de las pasturas de alto rendimiento.

<i>Lolium multiflorum</i> Lam.	Inicio del siglo XIX
<i>Lolium perenne</i> L.	Inicio siglo XIX
<i>Dactylis glomerata</i> L.	Fin del siglo XIX
<i>Festuca arundinacea</i> Schreb.	1904
<i>Phalaris aquatica</i> L.	1917
<i>Arrhenatherum elatius</i> Beauv.	Fin del siglo XIX
<i>Medicago sativa</i> L.	Siglo XVI - XVII
<i>Trifolium pratense</i> L.	1869
<i>Trifolium fragiferum</i> L.	1950
<i>Lotus corniculatus</i> L.	Inicio siglo XX
<i>Trifolium subterraneum</i> L.	1955
<i>Trifolium incarnatum</i> L.	1930 - 1940
<i>Trifolium repens</i> L.	1869

Fuente: adaptado de Águila (1997).

Cambio en el paisaje cultural

Desde la llegada de los españoles a Chile en 1541, el país inició un proceso de transformaciones culturales, políticas, étnicas y ecológicas jamás imaginadas por los indígenas que habitaban esta parte de América del Sur. Pedro de Valdivia conquistó Chile y logró avanzar en un corto periodo desde Perú hasta el sur llegando hasta el río Bio Bio, donde mantuvo una fuerte lucha contra el pueblo mapuche en la denominada guerra de Arauco, relatada por Alonso de Ercilla en 1576 en su libro *La Araucana*. Pedro de Valdivia se internó en la zona templada de Chile y fundó diversas ciudades en territorios indígenas como fueron Concepción de María Purísima del Nuevo Extremo, con nombre actual Concepción (1550), La Imperial (1552), Santa María la Blanca de Valdivia, denominada hoy día con el nombre de Valdivia (1552), Villarrica (1552), y Los Confines con nombre actual Angol (1553) (Pinto, 2003).

La guerra de Arauco conflicto que tuvo una duración de aproximadamente tres siglos, entre 1536 y 1818, pero con diferentes grados de intensidad enfrentó a las fuerzas militares de la Capitanía General de Chile pertenecientes a la monarquía española católica y aliados indígenas, contra facciones mapuches y algunos aliados pertenecientes a los pueblos Huilliche, Pehuenche y Picunche. Este conflicto se mantuvo desde la Región del Maule hasta la Región de Los Lagos, presentando los mayores grados de conflictividad en el área de Arauco y La Araucanía. Con el proceso de pacificación de La Araucanía este conflicto detuvo su intensidad, pero no sanó las heridas dejadas en los pueblos indígenas que hasta el día de hoy, liberan una lucha por su reconocimiento cultural, político y geográfico, además de la demanda de sus tierras ancestrales (Pinto, 2003).

La mirada histórica extraída de los escritos de Jorge Pinto Rodríguez, premio nacional de historia 2012, permite entender que la actuación del hombre en el territorio de bosque templado lluvioso fue hostil y de permanente conflicto, situación que provocó el desarrollo de un paisaje desordenado, con escasa armonía y, en muchas ocasiones agonizante.

La actuación del hombre en un territorio genera un paisaje cultural con una condición definida por el estado actual en relación al estado ideal. Se reconocen cinco categorías de condición del paisaje cultural: armónico, estresado, agonizante, cimarrón y relictual (Gastó *et al.*, 2002). Todas estas categorías se encuentran en la zona templada de Chile (Figuras 1.3., 1.4., 1.5., 1.6. y 1.7), en diferente proporción de difícil cuantificación, pero donde la intervención antrópica no ha sido capaz en los últimos 500 años de alcanzar la armonía que permita generar una coherencia entre la sociedad, su cultura y las condiciones naturales.



Figura 1.3. Paisaje armónico generado a partir de la coherencia entre la sociedad, su cultura y las condiciones naturales.



Figura 1.4. Paisaje estresado donde la intensidad de uso del territorio es mayor a su capacidad receptiva, presión constante que deteriora el paisaje.



Figura 1.5. Paisaje agonizante en un estado avanzado de deterioro con baja capacidad endógena de recuperación.

Es por ello que la zona del bosque templado lluvioso sufre una enfermedad crónica, con la que los actores que hoy permanecen en su dominio deben convivir asumiendo sus desequilibrios.

El actual paisaje y la ordenación territorial fueron consecuencia de una inadecuada planificación inicial de sus estructuras fundamentales, situación que condujo al desequilibrio. Sin duda, los factores que favorecieron la modificación inorgánica del paisaje fue que las decisiones a nivel país fueron tomadas en base a las circunstancias, más que a una visión holística que privilegiara el bien común y el desarrollo futuro. La permanente inestabilidad política y social condujeron a un problema estructural que, en la actualidad, posee pocas opciones de solución.

La información disponible muestra que para lograr el desarrollo orgánico de la ordenación del territorio es necesaria una visión holística que permita lograr un estado de armonía ecosistémica, entendiéndose esta afirmación como el equilibrio de los distintos elementos que lo componen. Esto no sucedió en los últimos siglos en Chile y, en especial, en la zona templada.



Figura 1.6. Paisaje cimarrón que tiende a regresar a su estado original luego que originalmente fue artificializado.



Figura 1.7. Paisaje relictual que conserva al ecosistema original y se inserta dentro de un entorno de paisaje cultural.

Todas las estrategias de desarrollo se basaron en la generación de áreas industriales y administrativas centralizadas, impulsadas por el sector público que eran aprovechadas por grandes empresas privadas, que se beneficiaban de las franquicias tributarias y del poder de compra de insumos.

Este modelo no sólo no resolvió los problemas del país y la zona templada, sino que los agravó, de lo cual emergieron grandes crisis políticas y económicas que terminaron por retrasar el desarrollo del país y de la zona templada.

Hoy, desde el poder legislativo y ejecutivo el país intenta desarrollar nuevos programas de desarrollo que pretenden aprovechar en forma racional y eficaz los recursos naturales para potenciar las diferentes zonas del país, fomentando sus particularidades, diversificando sus producciones y afirmando su identidad propia frente a otras áreas. El subsidio ha sido la base del desarrollo de los programas de recuperación de los ecosistemas, en los cuales han participado las instituciones estatales: Servicio Agrícola y Ganadero, Instituto de Investigaciones Agropecuarias y algunas universidades. Las ayudas del estado han permitido avances en el desarrollo de pasturas, siendo este proceso incipiente pero que ha generado un cambio en la mentalidad de los propietarios de la tierra. Estos han entendido que las pasturas son ecosistemas que deben ser analizados y tratados en forma holística y en los que antes de iniciar un proceso de siembra se deben considerar aspectos como es la habilitación de agua de bebida (abrevaderos), caminos, cercos y cercados.

La modificación del paisaje se puede medir evaluando los cambios en la estructura y en la modificación de los componentes del ecosistema. Además, en la zona del bosque templado lluvioso, es posible medir el nivel de impacto del cambio analizando la modificación del uso de los suelos y el nivel de intervención del bosque (Tabla 1.15).

Tabla 1.15. Superficie regional (ha) de bosque nativo y área intervenida y porcentaje de esta última en relación a la superficie total en la zona de bosque templado lluvioso. Año 2011.

Regiones	Total	Bosque Nativo	Área Intervención	% Área Intervenida
La Araucanía	3.083.993	966.264	2.117.729	69
Los Ríos	1.661.976	860.611	801.365	48
Los Lagos	4.224.256	2.741.698	1.482.558	35
Total	8.970.225	4.568.573	4.401.652	49

Fuente: adaptado de CONAF (2011). Área intervenida incluye terrenos agrícolas, pastizales y área urbana.

A la llegada de los colonizadores en el siglo XVI, la superficie de las regiones estaba cubierta por bosque, exceptuando nieves y glaciares, por lo que se supone que las tres regiones tenían una superficie de bosque templado lluvioso de 8,9 millones de hectáreas. De acuerdo a la última medición realizada por CONAF (2011), el área de bosque nativo se redujo a 4,5 millones de hectáreas. La intervención antrópica de cinco siglos transformó el 49% del paisaje de bosque templado lluvioso en áreas de producción agrícola, pastizales y zonas urbanas. El grado de intervención fue mayor en la zona de La Araucanía, donde la reducción del bosque templado lluvioso fue del 69%.

A la intervención antes mencionada, habría que adicionar una superficie no determinada de los 4,5 millones de hectáreas de bosque autóctono, el cual hoy, en su mayoría corresponde a renoval del bosque nativo original.

La tasa de cambio de bosque autóctono a terrenos modificados íntegramente por el hombre fue en unos 500 años a razón de 8.803 hectáreas por año. Con esta información se puede predecir que, en los próximos 200 años el bosque templado lluvioso de la zona templada va a reducir su superficie en 1,7 millones de hectáreas, si se mantiene la tendencia histórica de intervención.

La desertificación un proceso incipiente en la zona templada

El proceso de desertificación que ha afectado a la zona templada lluviosa de Chile es consecuencia de la actividad humana desarrollada en los últimos cinco siglos. La intervención del ecosistema, disminución de la diversidad y pérdida de estabilidad y resiliencia de los ecosistemas hoy constituye una preocupación permanente no solo de científicos, sino también de la ciudadanía que ha entendido la importancia que tiene para su calidad de vida y la supervivencia de las futuras generaciones, el respeto a la naturaleza y la conservación de los recursos naturales.

El entusiasmo productivo y exportador de los siglos XVI a XIX condujo al país a desarrollar sistemas de producción extensivos y extractivos que se desarrollaron y crecieron en el valle central del país y en toda el área templada de Chile, que a fines del siglo XIX se encontraba colonizada por europeos. Sin embargo, este proceso se realizó en base a la destrucción indiscriminada de los recursos naturales, hecho que condujo a una

modificación drástica del paisaje de bosques densos y estables a un paisaje agonizante con grandes superficies de tierras erosionadas y bosques quemados. Bengoa (1988) menciona que entre los siglos XVIII y XIX más de cuatro millones de hectáreas de la zona central y sur del país registraron un proceso severo de desertificación como consecuencia de la apertura agrícola, provocando un daño ecológico irreparable en la zona mediterránea y templada lluviosa de Chile.

La expansión de la frontera del cultivo de cereales desde el área mediterránea a la zona templada y el ingreso al mercado exportador, no generaron la modernización y tecnificación de la agricultura chilena en el siglo XIX. La mayoría de los hacendados producían para la exportación porque su expansión era relativamente simple. Modernizar hubiese significado la reorganización de los terrenos y una apuesta arriesgada, dado que, en sí misma, la producción triguera sólo necesitaba personal y caballos para sembrar y trillar (Bauer, 1970; Bengoa, 1988).

Hasta el siglo XIX, la agricultura mantuvo un sistema de producción extensivo basado en la explotación directa de los recursos naturales, en el que la producción estuvo supeditada a una mayor disponibilidad de terrenos y no al incremento en la eficiencia de uso de los recursos. De esta manera la explotación extensiva desde el período colonial hasta fines del siglo XIX fue posible por el aumento significativo de la disponibilidad de terrenos de siembra, la transformación de los terrenos de secano en áreas de riego y el ingreso al sistema comercial de zonas aisladas a través del desarrollo del transporte y las comunicaciones (Bauer, 1970; Bengoa, 1988; Arancibia & Yávar, 1994).

El ecosistema de la zona templada evolucionó en 500 años hacia estados de mala condición debido a la mantención de una política equivocada, en la cual se privilegió el crecimiento sobre el desarrollo. No se consideró que la política en relación a la agricultura y los recursos naturales debió haber respetado, implícita o explícitamente, la necesidad de mantener un sistema de ecosistemas con excelente condición, que permitiera optimizar sus beneficios. Es por ello que el país hoy en el siglo XXI, se ve enfrentado a la necesidad urgente de revocar sus antiguas políticas de crecimiento por políticas de desarrollo armónico, que deben establecer normas y acciones tendientes al mejoramiento de la condición de los ecosistemas.

Este avance debe considerar que todos los procesos productivos sean estables y sostenibles. En el ámbito de los bosques, agricultura y ganadería, esto se debe enfocar bajo el principio de uso múltiple, donde los recursos terrestres renovables se manejen en forma sistemática y simultánea. El uso múltiple de la tierra se presenta como respuesta a la imperiosa necesidad de disponer de mayores recursos provenientes de la tierra, tanto de sus usos tradicionales como de aquellos que se refieren a la vida silvestre, recreación y ocio (Gastó *et al.*, 1986).

El proceso de transformación del bosque templado lluvioso a pastura permanente de alto rendimiento, ha implicado desertificación. Este ecosistema se encuentra, después de 500 años, incoherentemente organizado y sus componentes no presentan un balance armónico entre sus atributos de funcionamiento. Es por esta razón que ha tenido un proceso de desertificación, que es incipiente, pero se acelera en la medida en que la intervención antrópica se hace más intensa. La presión del hombre sobre el ecosistema no permite el desarrollo armónico, dado que la organización política de la sociedad se basa en soluciones de corto plazo, que otorgan respuesta a temas urgentes, pero no importantes para el mantenimiento de ecosistemas sostenibles y sustentables.

Hipótesis Sistemogénica

Con anterioridad a la presencia del hombre desarrollado no existían territorios ni paisajes antrópicos, sino escenarios naturales con procesos de sucesión ecológica y evolución natural de las especies que conducían al ecosistema hacia estados más desarrollados y complejos. Las actividades antrópicas siempre tienen un efecto sobre el medio, ya sea por la extracción de recursos, el territorio utilizado o los residuos que se generan. La agricultura surge como un mecanismo generalizado de actuación que permite transformar la naturaleza de paisaje primitivo en paisaje cultural. La agricultura es una tecnología que articula la relación sociedad-naturaleza, surge en diversos lugares y acontece en épocas relativamente recientes, hace unos diez mil años (Gastó *et al.*, 2006).

El funcionamiento de un ecosistema, que se encuentra en un determinado estado, implica necesariamente un cambio de arquitectura, que se produce por aumento o disminución en el contenido de materia, energía o información. Al proceso ordenado de los cambios de arquitectura se le denomina sistemogénesis. Los cambios en la arquitectura están acompañados de cambios en el comportamiento y funcionamiento ecosistémico (Nava *et al.*, 1996).

Las relaciones existentes entre la biocenosis, parte biótica del ecosistema, y el ecotopo, la parte abiótica, determina la evolución de éste. Esto ocurre al interactuar dinámica y progresivamente, a través del traspaso de información, materia y energía, pasando de ecosistemas en estado de mayor madurez y llegando finalmente a un equilibrio dinámico llamado clímax. Esta evolución es llamada sucesión ecológica, o sistemogénesis (Gastó, 1980)

La sistemogénesis es el proceso natural mediante el cual el ecosistema de un lugar determinado y en un instante dado, se modifica endógenamente en forma organizada, gradual y direccional en todos sus componentes hasta alcanzar un estado de equilibrio en su arquitectura y funcionamiento. Este proceso establece una relación ecosistémica circular de causa efecto entre ecotopo y biocenosis. El desarrollo cada vez más avanzado de la biocenosis hace que un mismo territorio sea ocupado por comunidades diferentes que se reemplazan (sucesión) hasta alcanzar una etapa de madurez o clímax. En el proceso sucesional, algunas poblaciones constantemente invaden, y otras desaparecen. La diferencia entre ambas define la diversidad de la biocenosis. Cada etapa sucesional provoca modificaciones en el ambiente que a su vez inducen a un nuevo cambio en la composición de especies (Gastó *et al.* 2002).

La sucesión es el proceso de sustitución de especies que sucede al desarrollarse un ecosistema, es el proceso mediante el cual un ecosistema de un lugar determinado y en un momento dado se modifica gradual, direccional e internamente en el tiempo, en todos sus componentes hasta alcanzar un estado de equilibrio funcional y arquitectónico con el medio (Gastó, 1980). De esta manera, la sucesión consiste en cambios que se extienden sobre decenios, siglos o milenios y que se superponen a fluctuaciones y ritmos más breves (Erlwein & Gastó, 2002). La sistemogénesis considera los procesos de cambio de estímulos que operan simultáneamente con la arquitectura propia en cada instante, y los cambios morfogénicos, esto es, los cambios relativos a la arquitectura del ecosistema, considerándolos como un proceso ordenado y cuyo resultado es consecuencia del estado y funcionamiento anteriores (Nava *et al.*, 1996).

Una posible hipótesis sistemogénica es la que se muestra en la Figura 1.8, donde es factible visualizar el proceso de cambio del ecosistema de bosque templado lluvioso a pastura permanente de alto rendimiento, durante un periodo de 500 años. El cambio fue continuo y cíclico donde la estabilidad y armonía estuvieron ausentes debido a una equívoca intervención antrópica.

A través de los siglos los estilos de agricultura fueron cambiando. Antes del siglo XVI hubo un predominio de un estilo recolector donde los indígenas en forma organizada cosechaban de forma selectiva alimentos y parte del bosque para elaborar viviendas y pequeños botes que utilizaban para la pesca en ríos y mar.

Con la llegada de los colonizadores a mediados del siglo XVI se inicia el estilo de agricultura de cultivo de plantas anuales, cuya tecnología vino junto a los españoles. Con ello se inicia, de forma masiva, la destrucción de la vegetación original por medio del fuego o en forma mecánica y cuyo objetivo era disponer de suelos con alto desarrollo, contenido de materia orgánica, fertilidad y libre de la competencia de los organismos originales del sistema. Ese estilo que perdura hasta el siglo XXI es, por naturaleza, destructivo pues basa su permanencia en la migración constante hacia lugares no destruidos que se habilitan para continuar con el cultivo.

En la Figura 1.8 se muestra que la destrucción del bosque original y sus renovales conduce a la habilitación de terrenos para cultivar cereales, oleaginosas y establecer pasturas de alto rendimiento. Muestra también como la agricultura de cereales se desarrolló en ambientes originalmente ocupados por ecosistemas en estado cercanos al clímax.

La agricultura y ganadería tuvieron por tanto su origen en los ecosistemas naturales que fueron intervenidos por el hombre. Esta intervención continua permitió la creación de estados cada vez más alterados que, con el paso del tiempo y la adopción de nuevas tecnologías, como son la tracción animal y la tecnología de metales, se transformó en una agricultura de alta artificialización.

Con el ingreso de *Medicago sativa* L. se inició en el siglo XVII el establecimiento de las primeras pasturas en Chile. Sin embargo, en la zona templada el ingreso de especies forrajeras exóticas se desarrolló a partir del siglo XIX, cuando se introdujeron *Lolium perenne* L. y *Lolium multiflorum* Lam., que formaron las primeras pasturas en diversas áreas colonizadas de la zona templada.

Desde el inicio de la transformación del bosque, la agricultura y ganadería fueron la base de la alimentación del

hombre y sustento de la población. Sin embargo, representó la mayor causa de deterioro y degradación de los recursos naturales.

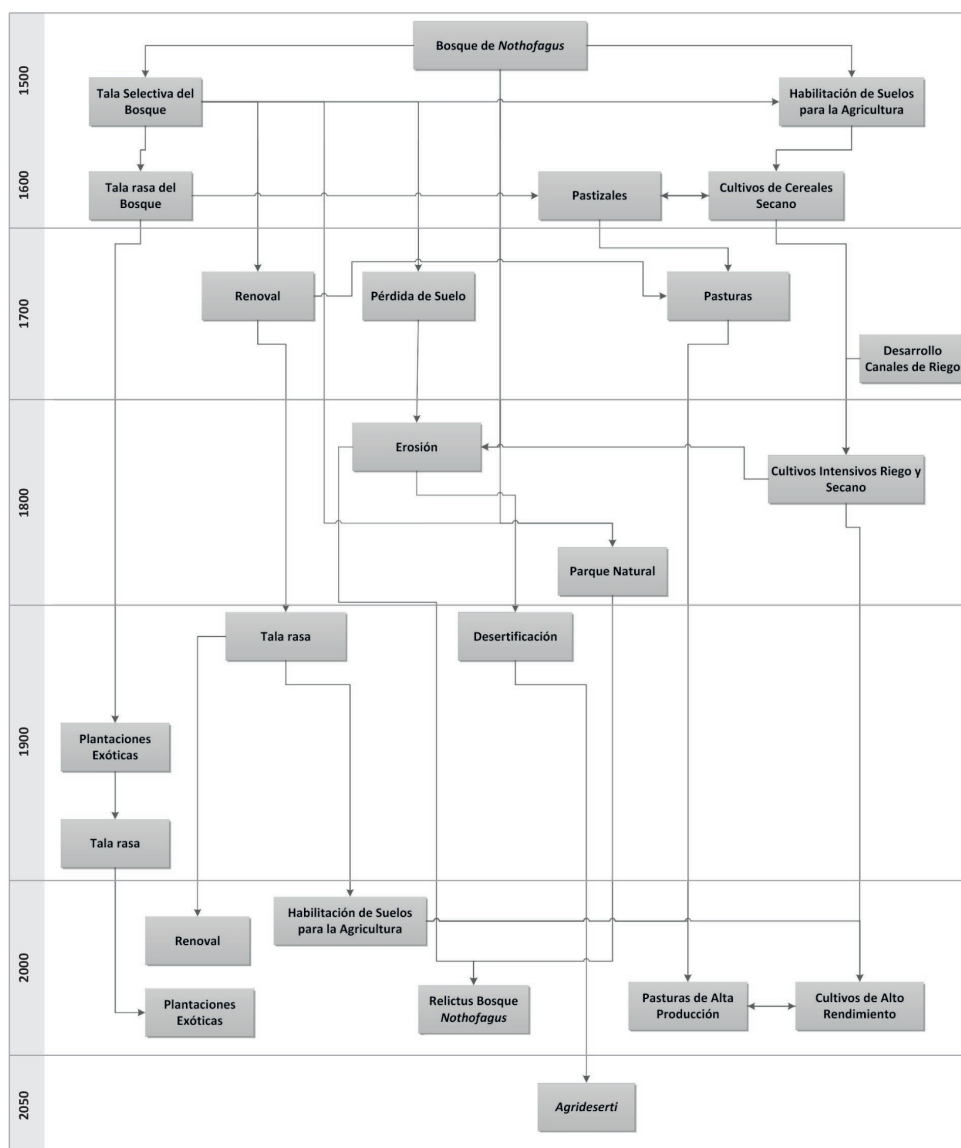


Figura 1.8. Hipótesis sistemogénica del cambio del bosque templado lluvioso a pasturas permanentes de alto rendimiento.

Desde fines del siglo XIX y en todo el siglo XX, debido a los diversos conflictos mundiales, regionales y particulares del área templada, se produjo un predominio de un estilo de agricultura intermitente o rotativa, en la que se desarrollaron secuencias cíclicas con periodos de producción intensiva seguidos de otros de descanso.

En la zona templada fue característica la secuencia cultivo – pastizal, que en primera fase establecían especies de alta productividad que utilizaban la fertilidad acumulada del suelo. En la segunda fase se establecían pastizales naturalizados o exóticos que, además de aportar fertilidad al suelo, permitían alimentar al ganado y generar un proceso de reciclaje a través de las deyecciones.

A partir de la década de los 60 del siglo XX, la zona templada presenta una importante evolución, coincidente con los cambios que suceden en el mundo (revolución verde). Se desarrolla de forma masiva la agricultura

tecnestructural, donde los procesos productivos se realizaron en ambientes muy artificializados y donde el hombre intentó optimizar los recursos y generar la máxima productividad.

Este estilo de hacer agricultura y ganadería condujo al sistema a ser dependiente dado que para su funcionamiento necesitó estímulos externos como energía, fertilizantes, alimentos concentrados para el ganado, construcciones y maquinarias entre otros, todos los cuales poseen un alto coste ecológico.

En el siglo XXI, la agricultura y ganadería son fuente de permanente conflicto entre las sociedades culturalmente desarrolladas y el mundo global, que requiere alimentos y necesita abastecer a una población que no detiene su crecimiento.

Por esta razón, la evolución de la agricultura y ganadería es relegada a los ambientes, condiciones y restricciones compatibles con la conservación de los recursos naturales, de manera que no genere deterioro de la actividad humana y de sus requerimientos materiales sobre la base sostenida de productividad.

Esta hipótesis plantea que en el siglo XXI la humanidad tiene la responsabilidad de equilibrar los procesos productivos con los de conservación y preservación de los recursos naturales. Deben convivir en perfecto equilibrio los cultivos y pasturas de alto rendimiento y los bosques de especies exóticas junto al desarrollo del renovo del bosque templado lluvioso. Además, en la preservación de los recursos naturales el estado tiene la obligación de mantener los parques naturales donde se ubican los relictos y renovales de bosque autóctono.

Es trascendental considerar que, para cumplir con las demandas de alimentación, conservación y preservación de los recursos naturales, el hombre debe respetar las normas básicas de conservación de suelos, agua y ambiente, con el objetivo de evitar el desastroso proceso ocurrido en la zona mediterránea, donde una parte importante del bosque autóctono se transformó en menos de 500 años en un *Agri deserti*.

Desarrollo sostenible

Los ecosistemas agrícolas y ganaderos son considerados, desde un punto de vista estructural, más jóvenes que los ecosistemas naturales. La mayor diferencia entre éstos es que los sistemas jóvenes maximizan producción, crecimiento y cantidad, en tanto que los maduros lo hacen con protección, estabilidad y calidad (Gastó, 1983).

En el territorio rural la agricultura y la ganadería generan un paisaje cultural resultante de la actuación del hombre con o sin una intención definida, forjando en cada caso un paisaje diseñado o residual, respectivamente. En este sentido hacer agricultura no es solo producir bienes y servicios en territorio rural, sino que también es generar un paisaje ecológicamente sostenible y socialmente aceptable, donde sea posible una buena calidad de vida para el hombre (Gastó *et al.*, 2006).

En 1983 fue creada la Comisión Mundial del Medio Ambiente de la ONU y en 1987 definió el desarrollo sostenible como “un desarrollo que satisfaga las necesidades del presente sin poner en peligro la capacidad de las generaciones futuras para atender sus propias necesidades”. El desarrollo sostenible de la tierra a nivel regional y mundial, se encuentra entre los más grandes desafíos de la humanidad. Es el prerequisite necesario para que el mayor número de personas pueda vivir en condiciones de mayor libertad y autodeterminación y es una cuestión de calidad de vida, equidad y libertad (Gastó *et al.*, 2006).

El desarrollo sustentable de la zona templada de Chile, tiene que cumplir diversas premisas sin las cuales las acciones que se desarrollen no van a mitigar los efectos catastróficos que ha tenido la irracional intervención antrópica. Algunas de las premisas que se deben cumplir y que son parte del modelo de cambio se mencionan a continuación:

- ✓ Desarrollo de un modelo educativo rural donde los habitantes del medio rural se encuentren identificados con su cultura, su territorio y que cada área sienta que el desarrollo endógeno es parte de la sostenibilidad de la región. Con esta visión política, el ciudadano local y el país podrían acceder a una economía más equitativa donde las estrategias de desarrollo pudiesen adquirir una dimensión sociocultural e institucional que respetase la cultura rural y específicamente del lugar donde viven las personas.
- ✓ Generar un cambio sustantivo en los programas de educación del área rural, donde los profesores entiendan la importancia del desarrollo rural y del ecosistema donde educan, con el objetivo de generar identidad en los alumnos y prepararlos para el desarrollo de una vida plena en lo rural, reduciendo la mirada centralista y mal conducida de la sociedad actual.

- ✓ Modificar las subvenciones forestales en el sentido de favorecer el desarrollo de bosques polifíticos autóctonos que permitan el desarrollo de cuencas sostenibles en armonía con la agricultura y los poblados rurales.
- ✓ Promover la diversidad de los ecosistemas donde participen en conjunto el bosque exótico monofítico con el autóctono polifítico, junto al desarrollo de una agricultura amigable con el medio ambiente que permita la generación de paisajes armónicos que insten a los seres humanos a volver su mirada a la ruralidad y reduzcan la presión de los cordones periféricos de las ciudades, en donde se generan los grandes focos de pobreza del país.
- ✓ Fomentar el enfoque multicultural de las sociedades modernas, donde la tolerancia y el respeto formen parte del crecimiento y desarrollo de los sectores rurales pilar fundamental para la promoción de sistemas sostenibles, donde la conservación de los recursos naturales y la relación cultural entre la gente y su ecosistema constituya la estabilidad del área rural
- ✓ La modificación del paisaje en forma armónica es sólo posible cuando se respetan las normas de conservación de la diversidad y estabilidad de los ecosistemas. La armonía entre el uso y la conservación es algo que la sociedad actual valora y que es un factor considerado por el mercado moderno, por ello el paisaje rural debe mantener la productividad y la armonía que permita a las personas sentir que viven en un área amigable y no destruida por la explotación irracional.

El desarrollo de una agricultura y ganadería sostenible en el tiempo en la zona del bosque templado lluvioso implica la elaboración de políticas estructurales que consideren la educación de todos los actores involucrados y la ordenación del territorio. Sin estos dos aspectos no es posible sostener ecosistemas armónicos que permitan desarrollar en forma estable, procesos productivos de canalización antrópica y paisajes donde el ser humano pueda realizar actividades recreativas y de ocio.

El ciudadano mundial medio es hoy más rico que nunca gracias al crecimiento registrado por la economía mundial en los últimos 50 años. Sin embargo, los beneficios de este crecimiento no se han distribuido en forma igualitaria y la consecuencia es una persistente pobreza y desigualdad (Kose & Ozturk, 2014). Esta pobreza y desigualdad se refleja en el ambiente rural de la zona templada, donde la ganadería y agricultura están subyugadas a la expansión de las ciudades, centros de recreación y empresas forestales y agro ganaderas de alta complejidad y mando vertical, que impiden el desarrollo rural armónico.

La extracción de los recursos naturales de las zonas rurales a centros de procesamiento en las grandes ciudades y su posterior comercialización centralizada en grandes empresas ha generado una miseria rural superior a la nunca antes registrada, razón por la cual, las nuevas generaciones no ven en la ruralidad una alternativa de vida.

Desarrollando prácticas de manejo y fertilidad de pastizales se podría incrementar en un 50% la productividad de los pastizales de la zona templada. Ello implicaría incrementar la actual dotación ganadera de 1.129.899 unidades animales a 2.905.804, que podrían producir más del doble de carne y leche de la zona. Sin embargo, este cálculo técnico está supeditado al cambio cultural, que está sobre la tecnología que se puede desarrollar en una zona determinada.

Lo anterior indica que un programa de desarrollo sustentable sólo es factible cuando se une la tecnología con la educación. Sin la conjunción de estos dos aspectos no es posible lograr la estabilidad de los ecosistemas y la mantención de sistemas sostenibles y sustentables.

Bibliografía

- Aguayo, M., Pauchard, A., Azócar, G. & Parra, O. 2009. Cambio del uso del suelo en el centro sur de Chile a fines del siglo XX. Entendiendo la dinámica espacial y temporal del paisaje. *Revista Chilena de Historia Natural* 82: 361-374
- Águila, C.H. 1977. Pastos y Empastadas. Editorial Universitaria. Santiago, Chile. 314 p.
- Albert, F., 1906. La replantación de los cerros áridos del país. Imprenta Moderna, Santiago. Chile. 13p
- Almeyda, E. & Sáez, F., 1958. Recopilación de datos climáticos de Chile y mapas sinópticos respectivos. DTICA. Ministerio de Agricultura. Santiago. Chile.
- Almonacid, Z.F., 2009. La agricultura chilena discriminada (1910 -1960). Una Mirada a las políticas estatales y el desarrollo sectorial desde el sur. Consejo superior de investigaciones científicas. Ministerio de Ciencia e Innovación. CSIC. Sociedad Anónima de Fotocomposición. Madrid, España. 479 p.
- Alvaredo, F., Atkinson, T., Piketty, T. & Saez, E. 2014. The World Top Incomes Database. <http://topincomes.g-mond.parisschoolofeconomics.eu>.

- Arancibia, C.P. & Yávar, M.A. 1994. La agronomía en la agricultura chilena. Colegio de Ingenieros agrónomos de Chile – FAO. Santiago, Chile. 265 p.
- Arancibia, C.P. & Novoa, M.A. 2006. Una mujer de la frontera. Carmen Sáenz Terpelle. Editorial Biblioteca Americana. Santiago, Chile. 187 p.
- Aravena, J.C., Carmona, M.R., Pérez, C.A., Armesto, J.J., 2002. Changes in tree species richness, stand structure and soil properties in a successional chronosequence of forest fragments in Northern Chiloe Island. *Revista Chilena de Historia Natural* 75: 339–360.
- Archivo Nacional, 1953. Censo 1813. Imprenta Nacional, Santiago, Chile. 372 p.
- Armesto J., Villagrán C. & Donoso Z.C., 1997. Desde la era glacial a la industrial: La historia del bosque templado chileno. *Revista Ambiente y Desarrollo* 10: 67-72.
- Armesto J.J., Smith-Ramírez C., León P. & Kalin A.M., 1992. Biodiversidad y conservación del bosque templado en Chile. *Revista Ambiente y Desarrollo (Chile)*: 19.24
- Armesto, J., Villagrán, C. & Donoso, C. 1994. Desde la era glacial a la industrial: La historia del bosque templado chileno. *Ciencia y Ambiente (Chile)*: 66-72.
- Armesto, J.J. & Figueroa, J. 1987. Stand structure and dynamics in the temperate rain forests of Chiloe Archipiélago, Chile. *Journal of Biogeography* 14, 367–376.
- Armesto, J.J., Manuschevich, D., Mora, A., Smith-Ramírez, C., Rozzia, R., Abarzúa, A.M. & Marquet P. 2010. From the Holocene to the Anthropocene: A historical framework for land cover change in southwestern South America in the past 15,000 years. *Land Use Policy* 27: 148–160
- Azcón-Aguilar C. & Barea JM, 2015. Nutrient cycling in the mycorrhizosphere. In: Gianfreda, L. (Guest Editor) Biogeochemical processes in the rhizosphere and their influence on plant nutrition. Special issue of the *Journal Soil Science Plant Nutrition* 15:372-396
- Baguette, M. & Schtickzelle, N., 2003. Local population dynamics are important to the conservation of metapopulations in highly fragmented landscapes. *Journal Applied Ecology* 40: 404–412.
- Banco Central de Chile, 2001. Indicadores económicos de Chile 1960 – 2000. Informe Banco Central de Chile. Santiago, Chile 969 p.
- Barnes, B. V., Zak D. R., Denton Sh. R., Spurr H. S., 1998. Forest ecology. 4th ed., Editorial John Wiley and Sons, New York, USA. 774 p.
- Bauer, A.J. 1970 Expansión económica en la sociedad tradicional: Chile central en el siglo XIX. Instituto de Historia N° 9. Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile. pp: 137-235.
- Bauer, J.A., 1905. Expansión económica en una sociedad tradicional: Chile central en el siglo XIX. Ediciones Historia. 235p
- Bengoa, J. 1988. El poder y la subordinación. Historia social de la agricultura chilena. Ediciones Sur. Santiago de Chile. 324 p.
- Bengoa, J. 1996. Historia del pueblo Mapuche. Siglo XIX y XX. Ediciones Sur, Colección Estudios Históricos. Tercera Edición. Santiago, Chile. 425 p.
- Besoain M., E. 1985. Los Suelos. En: Tosso, T.J. (ed). Suelos volcánicos de Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Ministerio de Agricultura, Santiago Chile. pp: 25-108
- Bianchi, G.V., 1909. La Erosión cáncer del suelo. Imprenta Universitaria. Santiago, Chile. 22p
- Bianchi, G.V., 1947. Erosión. Cáncer del suelo. Imprenta Universitaria, Santiago, Chile. 22p.
- Börgel, R. 1965. Mapa geomorfológico de Chile. Descripción geomorfológica del territorio. Central de Publicaciones de Periodismo. Universidad de Chile. 35 p.
- Borie, F. & Rubio, R., 2003. Total and organic phosphorus in Chilean volcanic soils. *Gayana Botánica* 60: 69-78.
- Camus, P. 2006. Ambiente, bosques y gestión forestal en Chile, 1541–2005. LOM Ediciones, Santiago, Chile. 390 p.
- Cariola, C. & Snkel, O., 1991. Un siglo de historia económica de Chile. Editorial Universitaria, Santiago, Chile. 256p.
- Cisternas, M., Araneda, A., Martínez, P. & Pérez, S., 2001. Effects of historical land use on sediment yield from a lacustrine watershed in Central Chile. *Earth Surface Processes and Landforms* 26: 63–76.
- CONAF, CONAMA, 1999. Catastro y evaluación de recursos vegetacionales nativos de Chile. Informe nacional con variables ambientales. Corporación Nacional Forestal - Ministerio de Agricultura y Comisión Nacional del Medio Ambiente, Santiago, marzo de 1999. 87p.
- CONAF, 2011. Catastro de los recursos vegetacionales nativos de Chile. Monitoreo de cambios y actualizaciones. Período 1997 – 2011. Corporación Nacional Forestal. Lom Ediciones Limitada. Junio, 2011. Santiago, Chile. 27 p.
- Contreras, T.D., Gastó, C.J. & Cosío G.F. 1986. Ecosistemas pastorales de la zona mediterránea de Chile. I Estudio de las comunidades agrícolas de Carquindao y Yerba Loca en el secano costero de la Región de Coquimbo. Ofician Regional de Ciencia y Tecnología de la Unesco para América Latina. Montevideo, Uruguay. 475 p.
- CORMA, Corporación de La Madera., 2005. Contribución significativa a la sustentabilidad del proyecto forestal país para contrarrestar la peor calamidad ambiental de Chile, la erosión de suelo Región del Bío Concepción. 21p
- Cosío, F., Saú, K., González, I., Puentes, M., Bork, A., Negrón, M. & Arenas, C., 2010. Al Margen de la Ciudad. Bases para el ordenamiento territorial del ecosistema de Palmar de Viña del Mar. Una propuesta ecológica, urbanística y social. Ediciones TIG, Taller de Investigaciones Gráficas, escuela de Arquitectura y Diseño de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Valparaíso, Chile. 183p.
- Cosío, G.F. & Demanet, F.R., 1984. Análisis de sistemas caprinos. Ecosistemas pastorales de la zona mediterránea árida y semiárida de Chile 1: 11-62.
- Couyoumdjian B. R. & Rebolledo, H.A. 1984. Bibliografía sobre el proceso migratorio en Chile, desde la Independencia hasta 1930. Instituto Panamericano de Geografía e Historia, Santiago de Chile. pp: 121-187.
- Críquet, S., Ferre E., Farnet A. & Le Petit J., 2004. Annual dynamics of phosphatase activities in an evergreen oak litter: influence of biotic and

abiotic factors. *Soil Biology & Biochemistry* 36: 1111-1118.

Demanet, F.R. & Romero, Y.O. 1988. La pradera en la precordillera andina de la Región de La Araucanía (IX Región). En: Ruiz, N.I. (Ed.). Praderas para Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Ministerio de Agricultura, Santiago. p: 539-550.

Demanet, F.R. 2008. Manual de especies forrajeras y manejo de pastoreo. Plan de desarrollo lechero Watt's – CORFO. Imprenta América, Valdivia. 199 p.

Demanet, F.R. 2014. Manual de especies forrajeras. Plan Lechero Watt's. CORFO, Universidad de La Frontera. Imprenta América, Valdivia, Chile. 163 p.

Demanet, F.R., Contreras, R. E Hiriart, M., 1992. Productividad de dos praderas naturalizadas en el secano de la IX Región. *Agricultura Técnica (Chile)* 52: 48-53.

Demanet, F.R., Cosío, G.F. & Gastó, C.J., 1985. Opciones de desarrollo para predios caprinos. Ecosistemas pastorales de la zona mediterránea árida y semiárida de Chile 2: 11-68.

Di Castri F. & Hajek, J., 1976. Bioclimatología de Chile. Vicerrectoría Académica, Universidad Católica de Chile. Imprenta editorial de la Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile 163 p.

Díaz, C., Alcayaga, S., Avilés, C. Aranda, G., Ascui, P., Besoin, E., Funes, M., Narbona, M., Pesce, D. & Mella, A., 1958. Estudio sobre habilitación de los Nadis o suelos húmedos del Departamento de Puerto Varas (1954). *Agricultura Técnica (Chile)* 18: 412-486.

Donoso P., Cabezas C., Lavanderos A., Donoso C., 1999. Desarrollo de renovales de coihue común (*Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Oerst.), en la Cordillera de la Costa y de los Andes de la provincia de Valdivia en sus primeros 25 años. *Revista Bosque* 20: 9-23.

Donoso Z.C., 1983. Árboles nativos de Chile. Guía de reconocimiento. Valdivia, Chile. Alborada. 116 p.

Donoso Z.C., 2006. Las especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina. Autoecología. Valdivia, Chile. Marisa Cuneo Ediciones. 678 p

Donoso, P.J., Soto, D.P. & Bertín, R.P., 2007. Size–density relationships in *Drimys winteri* secondary forests of the Chiloe Island, Chile: Effects of physiography and species composition. *Forest Ecology and Management* 239: 120–127.

Donoso, Z.C. & Lara A., 1995. Utilización de los bosques nativos de Chile: pasado, presente y futuro. En: capítulo 19 de Ecología de los bosques nativos de Chile. pp: 363-385. Editores: Armesto, J., C. Villagrán & M. Arroyo. Editorial Universitaria. Segunda edición. Santiago, Chile.

Donoso, Z.C., 1974. Dendrología. Árboles y arbustos chilenos. Manual N° 2. Facultad de Ciencias Forestales Universidad de Chile. Santiago, Chile.

Donoso, Z.C., 1979. Variación y tipos de diferenciación en poblaciones de roble *Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst. *Revista Bosque* 3: 1-14.

Donoso, Z.C., 1981. Tipos forestales de los bosques nativos de Chile. Documento de Trabajo N° 38. Investigación y Desarrollo Forestal FAO/DP/CHI/76/003.

Donoso, Z.C., 1998. Bosques templados de Chile y Argentina. Variación, Estructura y Dinámica. Ecología Forestal. Editorial Universitaria. Cuarta Edición. Santiago, Chile. 484 p.

Donoso, Z.C., Escobar, B., Urrutia, J., 1985. Estructura y estrategias regenerativas de un bosque virgen de Ulmo (*Eucryphia cordifolia* Cav.)- Tepa (*Laurelia philippiana* Phil.) Looser en Chiloe, Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 58: 171–186.

Douglas, J. & Simula, M. 2010. The Future of the World's Forests. Springer Netherlands. 211 p.

Drake A.F., 2004. Uso sostenible en bosques de Araucaria araucana (Mol.) K. Koch., aplicación de modelos de gestión. Tesis Doctoral presentada para optar al grado de Doctor por la Universidad de Córdoba. Universidad de Córdoba, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes. Córdoba, España. 316 p.

Echeverría, C., Coomes, D., Salas, J., Rey Benayas, J.M., Lara, A., Newton, A., 2006. Rapid deforestation and fragmentation of Chilean temperate forests. *Biological Conservation* 130: 481–494.

Echeverría, C.; Coomes, D.A.; Halld, M. & Newton, A.C. 2008. Spatially explicit models to analyze forest loss and fragmentation between 1976 and 2020 in southern Chile. *Journal on Ecological Modelling* 212: 439–449.

Elgado, Mabel F, Cuba, Marely, Hechenleitner, P., 2008. Propagación vegetativa de Taique (*Desfontainia spinosa*) y Tepa (*Laureliopsis philippiana*) con fines ornamentales. *Revista Bosque* 29: 120-126.

Elizalde, R., 1970. La sobrevivencia de Chile. Segunda Edición. Ministerio de Agricultura, Santiago. Chile.

Erlwein, A & Gastó, J., 2002. El tiempo en el ecosistema predial y comunal. En: Gastó, C.J.; Rodrigo, P. & Aránguiz, I. (eds.) Ordenación Territorial. Desarrollo de Predios y Comunas Rurales. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Pontificia Universidad católica de Chile. LOM Ediciones. Santiago, Chile. pp: 235 -248.

Fahrig, L., 2003. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology* 34: 487–515.

FAO, 2009. Criteria and indicators for sustainable woodfuels. Case studies from Brazil, Guyana, Nepal, Philippines and Tanzania Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Montes N° 160. Rome, Italy. 261 p.

FAO, 2012. El estado de los bosques en el mundo. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma, Italia. 50 p.

Figueroa, J. & Lusk, C.H., 2001. Germination requirements and seedling shade tolerance are not correlated in a Chilean temperate forest. *New Phytologist* 152: 483–489.

Fraver, S., Gonzales, M.E., Silla, F., Lara, A. & Gardner, M. 1999. Composition and structure of remnant *Fitzroya cupressoides* forests of southern Chile's central depression. *Journal of the Torrey Botanical Society* 126: 49–57.

Gastó, C. J., 1966. Variaciones de las precipitaciones anuales de Chile. Estación Experimental Agronómica, Facultad de Agronomía, Universidad de Chile. Maipú, Chile. Boletín Técnico N° 24 pp: 4-20.

- Gastó, C., Gallardo, S. & Contreras, D., 1985. Caracterización de los pastizales de Chile. Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile. 292 p.
- Gastó, C.J., 1980. Ecología. El hombre y la transformación de la naturaleza. Editorial Universitaria. Santiago, Chile. 300 p.
- Gastó, C.J., 1983. Ecosistema: Componentes y Atributos Relativos al Desarrollo y Medio Ambiente. Bases Ecológicas de la Modernización de la Agricultura. Informe de Investigaciones. Sistemas de Agricultura. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile, 170 p.
- Gastó, C.J., Contreras, T.D., Cosío, F.G. & Demanet, F.R., 1986. Bases y planteamientos resolutivos. En: Contreras, T.D., Gastó, C.J. & Cosío, G.F. (eds.) Ecosistemas pastorales de la zona mediterránea árida de Chile. I. Estudio de las comunidades agrícolas de Carquindáño y Yerba Loca del secano costero de la Región de Coquimbo. UNESCO. Montevideo Uruguay. pp: 335 – 453.
- Gasto, C.J., Gallardo, S. & Contreras, D., 1985 Caracterización de los pastizales de Chile. Proyecto 1085-84 Conicyt. Santiago, Chile. 139 p.
- Gastó, C.J., Rodrigo, P. & Aránguiz, I. 2002. Ordenación Territorial. Desarrollo de predios y comunas rurales. Monografías de Ecología y Territorio. Primera Edición. LOM Ediciones. Santiago, Chile. 995 p.
- Gastó, C.J., Vera, L., Vieli, L. & Montalba, M., 2009. Sustainable Agriculture: Unifying Concepts. *Ciencia e Investigación Agraria (Chile)* 36: 5-26.
- Gastó, C.J., Vieli, L. & Vera L., 2006, Paisaje cultural, de la silva al ager, Revista Agronomía y Forestal. Pontificia Universidad Católica de Chile. 28:29-33.
- Gerber, J. F., 2011. Conflicts over industrial tree plantations in the South: Who, how and why? *Global Environmental Change* 21: 165–176.
- Godoy, R., Hanecke J., Staelens J., Oyarzún C., Paulino L. & Barrientos M., 2005. Dry deposition of nitrogen to passive samplers in grassland and forest canopies in the central depression of southern Chile. *Gayana Botánica (Chile)* 62: 110-119.
- Hajek, E.R. & Di Castri, F.D., 1975. Bioclimatografía de Chile. Manual de consulta. Dirección de Investigación. Vice Rectoría Académica. Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile. 107p.
- Hao Zhanqing, Zhang Jian, Song Bo, Yea Ji & Li Buhang, 2007. Vertical structure and spatial associations of dominant tree species in an old-growth temperate forest. *Forest Ecology and Management* 252: 1–11.
- Henríquez, P., Donoso, D. & Grez A., 2009. Population density, sex ratio, body size and fluctuating asymmetry of *Ceroglossus chilensis* (Carabidae) in the fragmented Maulino forest and surrounding pine plantations. *Acta Oecologica* 35: 811–818.
- Huber, J.A. & Trecaman, V.R., 2004. Eficiencia del uso del agua en plantaciones de *Pinus radiata* en Chile. *Revista Bosque* 25: 33-43.
- Huber, J.A., Iroumé, A., Mohr Ch. & Fréne, C., 2010. Efecto de plantaciones de *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus* sobre el recurso agua en la Cordillera de la Costa de la región del Biobío, Chile. *Bosque (Valdivia)* 31: 219-230.
- INE, 1997. VI Censo Nacional Agropecuario, 1997. Instituto Nacional de Estadísticas. Santiago, Chile. 222 p.
- INE, 1998. Estadísticas agropecuarias. Año agrícola 1997/1998. Instituto Nacional de Estadísticas. Santiago, Chile. 75 p.
- INE, 2003. Censo 2002. Síntesis de resultados. Empresa Periodística La Nación S.A. Santiago, Chile. 50 p.
- INE, 2007. Censo Agropecuario y Forestal, 2007. Instituto Nacional de Estadísticas. http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/censos_agropecuarios
- INE, 2008. Agropecuarias. Informe Anual 2008. Instituto Nacional de Estadísticas. Santiago, Chile. 149 p.
- INE, 2010. Compendio estadístico. 1.2. Estadísticas demográficas. Instituto Nacional de Estadística. Santiago, Chile. p: 93-140
- INE, 2012. Producción Pecuaria 2007 – 2012. Instituto de Estadísticas de Chile. Santiago, Chile. 60 p.
- INE, 2013. Agropecuarias. Informe Anual 2013. Instituto Nacional de Estadísticas. Santiago, Chile. 160 p.
- INFOR, Instituto Forestal, 2010. Anuario Forestal 2010 Boletín Estadístico N° 128.: Instituto Forestal, Ministerio de Agricultura. Santiago, Chile.
- IREN – CORFO, Instituto de Recursos Naturales – Corporación de Fomento, 1964. Suelos, descripciones. Proyecto Aerofotogramétrico, Chile/OEA/BID. Publicación N° 2. 391p.
- Jellema, A., Stobbelaar, D.J., Groot, J.C.J. & Rossing, W.A.H., 2009. Landscape character assessment using region growing techniques in geographical information systems. *Journal of Environmental Management* 90: S161–S174.
- Jones, R., Kemp, D., Michalk, D. & Takahashi, T., 2008. The on-farm impact of alternative grazing management options to improve sustainability in western Chinese grasslands. 52nd annual Conference of the Australian Agricultural and Resource Economics Society, Canberra, 5-8 February 2008. p. 1-20.
- Kose, M.A. & Oztuk, E.O. 2014. Un mundo de cambios. Balance del último medio siglo. Revista Finanzas y Economía (USA). FMI, septiembre 2014: 6-11.
- Lara, A., Little, C., Urrutia, R., McPhee, J., Ivarez-Garretón, A., Oyarzun, C., Soto, D., Donoso, P., Nahuelhual, L., Pino M. & Arismendi, I., 2009. Assessment of ecosystem services as an opportunity for the conservation and management of native forests in Chile. *Forest Ecology and Management* 258: 415–424
- Lee, R., 1978. Forest Microclimatology. Columbia University Press, New York, 276 p.
- León, L. 2015. Plebeyos Y Patricios. La Gesta Innoble En Chile Colonial, 1750-1772. Editorial Universitaria. Santiago, Chile. 436 p.
- Levy, W.A., 2000. Falso dilema: ¿bosques de especies exóticas o nativas? Imprenta Salesianos. Santiago, Chile. 127 p.
- Lillo, A., Ramírez, H., Reyes, F., Ojeda, N., & Alvear, M., 2011. Actividad biológica del suelo de bosque templado en un transepto altitudinal, Parque Nacional Conguillío (38° S), Chile. *Revista Bosque* 32: 46-56, 2011.
- Little, C., A. Lara, L., McPhee, J. & Urrutia, R., 2009. Revealing the impact of forest exotic plantations on water yield in large scale watersheds in South-Central Chile. *Journal of Hydrology* 374: 162–170

- Luebert F. & P. Plischoff, 2006. Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile. Santiago, Chile. Universitaria. p 316.
- Martínez, M., 1848. Memoria histórica sobre la revolución de Chile: desde el cautiverio de Fernando VII, hasta 1814. Disponible en <http://www.libros.uchile.cl/40>
- Maturana, M.F. & Muñoz, A.P. 2007. Medición de la superficie ocupada por las ciudades de Chile de más de 15.000 habitantes: 1993 – 2003. Observatorio urbano. Ministerios de Vivienda y Urbanismo de Chile. Santiago, Chile. 63 P.
- Mead, D. J., 2013. Sustainable management of *Pinus radiata* plantations. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Forestry Paper No. 170. FAO. Rome, Italy. 246 p.
- Menadier, J. 1867. La cosecha de Trigo en Chile. Oficina de Estadística Comercial. 30 de septiembre de 1867. Valparaíso, Chile. 25 p.
- Meyer, W., 1982. Diccionario geográfico – etnológico indígena de las provincias de Valdivia, Osorno y Llanquihue. Editorial Universitaria. Santiago, Chile. 306 p.
- Montaldo B.P., 1982. Un decenio de observaciones climáticas para Valdivia (1907 - 1916) y su proyección ecológica. *Revista Bosque* 4: 65-72.
- Montaldo B.P., 1999. Treinta y cuatro años de una sucesión secundaria en pradera de Ñadi en la provincia de Valdivia, Chile. *Agro Sur* 27: 82-89.
- Montaldo, B.P., 1966. Estudios ecológicos básicos en la provincia de Valdivia, Chile. I Las Formaciones vegetales. Boletín 2 Instituto Producción Vegetal, Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile 19 p.
- Mora, M.L., Baeza, G., Pizarro, C. & Demanet, R., 1999. Effect of calcitic and dolomitic lime on physicochemical properties of a Chilean Andisol. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 30: 427–439.
- Myers N., Mittermeier R.A., Mittermeier C.G., Da Fonseca G.A.B. & Kent J., 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853-858.
- Nahuelhuala, L., Alejandra Carmona, A., Lara, A., Echeverría C. & González M.E., 2012. Land-cover change to forest plantations: Proximate causes and implications for the landscape in south-central Chile. *Landscape and Urban Planning* 107: 12– 20.
- Nava, R., Armijo, R. & Gastó, J., 1996. El Ecosistema, la unidad de la naturaleza y el hombre. Segunda Edición. Editorial Trillas, Ciudad de México, México. 287 p.
- Navarro, C., Donoso, C., Sandoval, V., 1999. Los renovales de canelo. En: Donoso, C., Lara, A. (Eds.), Silvicultura de los Bosques Nativos de Chile. Editorial Universitaria, Santiago, Chile, pp. 341–377.
- ODEPA, oficina de Planificación Agrícola, 1968. Plan de Desarrollo Agropecuario 1965 – 1980. Uso potencial de los suelos de Chile, Zona XII, provincias de Valdivia y Osorno. Ministerio de Agricultura, Chile.
- Peralta, P.M. 1985. Acciones del hombre sobre el medio ambiente: desertificación. *Ciencias Forestales (Chile)* 4: 9-29.
- Pérez, C., Carmona M. & Armesto J., 2003. Non-Symbiotic nitrogen fixation, net nitrogen mineralization and denitrification in evergreen forest of Chiloe island, Chile: A comparison with other temperate forest. *Gayana Botánica* 60: 25-33.
- Pinto, 2003. La formación del estado y la nación, y el pueblo Mapuche. Ediciones de la Dirección de Bibliotecas, Archivos y Museos. Santiago, Chile. 319 p.
- Pinto, R.J. & Ordenes, D.M., 2012. Chile, una economía regional en el siglo XX. La Araucanía, 1900 – 1960. Ediciones Universidad de La Frontera, Temuco, Chile. 317 p.
- Pinto, R.J. 2011. Ganadería y empresarios ganaderos de La Araucanía, 1900-1960. *Historia (Chile)* 44: 369-400.
- Pinto, R.J., 2010. Los censos chilenos en el siglo XX. Imprenta Primus S.A. Osorno, Chile. 217 p.
- Pollmann W., 2001. Caracterización florísticas y posición sintaxonómica de los bosques caducifolios de *Nothofagus alpina* (Poepp. et Endl.) Oerst. en el centro-sur de Chile. *Phytocoenologia* 31: 353-400.
- Pollmann W., 2003. Stand structure and dendroecology of an old-growth *Nothofagus* forest in Conguillio National Park, south Chile. *Forest Ecology and Management* 176: 87-103
- Rao, M., Sannino, F., Nocerino, G., Puglisi, E. & Gianfreda, L., 2003. Effect of fair-drying treatment on enzymatic activities of soil affected by anthropogenic activities. *Biology & Fertility of Soils* 38: 327-332.
- Redel H.Y., 2007. Fraccionamiento de fósforo en suelos volcánicos provenientes de ecosistemas agrícolas y forestales del centro sur de Chile. Tesis para optar al grado académico de doctor en ciencias de recursos naturales. Doctorado en Ciencias de Recursos Naturales, Facultad de Ingeniería, Universidad de La Frontera. Temuco, Chile. 108 p.
- Reyes G- R., Gerding, V. & Donoso, Z. C., 2007. Crecimiento de una plantación de *Nothofagus nervosa* durante 20 años en Valdivia. *Revista Bosque* 28: 129-138.
- Ritter, E., Starr M. & Vesterdal L., 2005. Losses of nitrate from gaps of different sizes in a managed beech (*Fagus sylvatica*) forest. *Canadian Journal of Forest Research* 35: 308-319.
- Rivas Y., Godoy R., Valenzuela E., Leiva J., Oyarzún C. & Alvear M., 2007. Actividad biológica del suelo en dos bosques de *Nothofagus* del centro sur de Chile. *Gayana Botánica* 64: 81-92.
- Roberts, R. & Díaz, C., 1960. Los grandes grupos de suelos de Chile. *Agricultura Técnica (Chile)* 2:7-36.
- Rodríguez, R. & M. Quezada, 2003. *Fagaceae. Flora de Chile* 2: 64-76.
- Rodríguez, R., O. Matthei & M. Quezada. 1983. Flora Arbórea de Chile. Editorial de la Universidad de Concepción, Concepción, Chile. 107
- Rosenberg, N. J., B. L. Blad & S. B. Verma, 1983. Microclimate. The biological environment. John Wiley & Sons, New York, 495 p.
- Sadanandan Nambiar, E.K., 1999. Productividad y sustentabilidad de las plantaciones forestales. *Bosque (Valdivia)* 20: 9-21.
- Sadzawka A. & Carrasco, R., 1985. Química de los suelos volcánicos. En: Tosso, T.J. (ed.). Suelos Volcánicos de Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Ministerio de Agricultura, Santiago. pp: 337 – 434.

- Satti, P., Mazzarino M., Gobbi M., Funes F. & Roselli L., 2003. Soil N dynamics in relation to leaf litter quality and soil fertility in north-western Patagonian forests. *Journal of Ecology* 91:173-181
- Schlegel, B.C. & Donoso, P.J., 2008. Effects of forest type and stand structure on coarse woody debris in old-growth rainforests in the Valdivia Andes, south-central Chile. *Forest ecology and management* 255: 1906-1914.
- Sepúlveda C. A. & Troncoso A.A., 2004. Hallazgo de *Laurelopsis philippiana* (Looser) Schodde (*Atherospermataceae*) en el área costera de la región del Maule, Chile central. *Gayana Botánica* 61: 42-44.
- Staelens, J., Ameloot, N., Almonacid, L., Padilla, E., Boeckx, P., Huygens, D., Verheyen, K., Oyarzun, C. & Godoy, R., 2011. Litter fall, litter decomposition and nitrogen mineralization in old-growth evergreen and secondary deciduous *Nothofagus* forests in south-central Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 84: 125-141.
- Stobbelaar, D.J. & van Mansvelt J.D., 2000. The process of landscape evaluation Introduction to the 2nd special AGEE issue of the concerted action: "The landscape and nature production capacity of organic/sustainable types of agriculture". *Agriculture, Ecosystems and Environment* 77: 1-15.
- Stobbelaar, D.J. & van Mansvelt J.D., 1997. Introduction. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 63: 83-89.
- Stobbelaar, D.J., Groot, J.C.J., Bishop C., Hall, J. & Pretty, J. 2009. Internalization of agri-environmental policies and the role of institutions. *Journal of Environmental Management* 90: S175-S184
- Taylor, M.E., 1998. Economic development and the environment in Chile. *Journal of Environment & Development* 7, 422-436.
- Teuber, K.N., 1988. La pradera de los suelos Nadi de la X Región. En: Ruiz, N.I. (Ed.). Praderas para Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Ministerio de Agricultura, Santiago. pp: 546 - 553.
- Valenzuela, E., Leiva S. & Godoy, R., 2001. Variación estacional y potencial enzimático de microhongos asociados con la descomposición de hojarasca de *Nothofagus pumilio*. *Revista Chilena de Historia Natural* 74: 737-749.
- Veblen, T.T. & Ashton D., 1978. Catastrophic influences on the vegetation of the Valdivian Andes", *Vegetation* 36: 149-167.
- Veblen, T.T. & Ashton, D.H. 1982. The regeneration status of *Fitzroya cupressoides* in the Cordillera Pelada, Chile. *Biological Conservation* 23: 141-161.
- Veblen, T.T., 1985. Stand dynamics in Chilean *Nothofagus* forests. En: Pickett S.T.A. y White P.S. (eds.) The ecology of natural disturbance and patch dynamics, Academic Press Inc., New York, USA. pp: 35-51.
- Velasquez A., 1994. Multivariate analysis of the vegetation of the volcanoes Tláloc and Pelado, Mexico. *Journal of Vegetation Science* 5: 263-270.
- Vera, B.L., 2008. Expansión de la frontera homínida en el paisaje cultural de la cordillera de Los Andes de La Araucanía. Tesis para optar al grado académico de doctor en ciencias de recursos naturales. Instituto de Agroindustria, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales, Facultad de Ingeniería, Ciencias y Administración. Universidad de La Frontera. Temuco, Chile. 373 p.
- Villalobos, S. 2002. Chile y su historia. Undécima Edición. Editorial Universitaria. Santiago, Chile. 461 p.
- Weinberger, P. & Ramírez, C., 2001. Microclima y regeneración natural de Raulí, Roble y Coigüe (*Nothofagus alpina*, *N. obliqua* y *N. dombergii*). *Revista Bosque* 22: 11-26.
- Williams, M. 2006. Deforesting the Earth. From Prehistory to Global Crisis, An Abridgment. University Chicago Press. Chicago, United State. 561 p.
- Wilson, K., Newton, A., Echeverría, C., Weston, C. & Burgman, M. 2005. A vulnerability analysis of the temperate forest of south central Chile. *Biological Conservation* 122: 9-21.
- Yudelevich, M., Brown, Ch.H., Elgueta, H. and Calderón, S., 1967. Clasificación preliminar del bosque nativo de Chile. Instituto Forestal, Santiago, Chile, 16 p.
- Zamorano-Elgueta C., Cayuela L., González-Espinosa M., Lara A., & Parra-Vázquez M., 2012. Impacts of cattle on the South American temperate forests: Challenges for the conservation of the endangered monkey puzzle tree (*Araucaria araucana*) in Chile. *Biological Conservation* 152: 110-118.

Capítulo II

Praderas de la zona templada

Rolando Demanet Filippi

Contenido

Introducción	52
Superficie de pastizales	52
Origen de las praderas naturales y naturalizadas	54
Zona de transición de mediterránea a templada	56
Zona Templada Húmeda	69
Atributos de las praderas naturales y naturalizadas	75
Bibliografía	75

Introducción

Los pastizales son ecosistemas con predominio de especies y comunidades vegetales herbáceas destinadas al consumo animal. El pastizal involucra los ecosistemas de “praderas” y “pasturas”, terminología que corresponde a una clasificación destinada a distinguir en forma certera a los ecosistemas naturales y naturalizados de los intervenidos por el hombre con especies exóticas.

Las “praderas” son ecosistemas constituidos por especies naturales (nativas) y naturalizadas. Las especies endémicas o nativas, son aquellas que se encuentran dentro de su área de distribución natural u original (histórica o actual), acorde con su potencial de dispersión natural, sin la ayuda o intervención del ser humano y forman parte de las comunidades bióticas naturales del área. Las especies naturalizadas, a diferencia de las nativas, son exóticas introducidas en un área o lugar que por sus características (similitud ambiental al área de distribución original o condiciones adecuadas), permite el establecimiento de poblaciones autosuficientes en vida libre. Para que se verifique el proceso de naturalización de una especie, esta requiere superar barreras bióticas y abióticas para que la especie sobreviva y se reproduzca regularmente en el nuevo ambiente (Kareiva & Bertness, 1997; Richardson *et al.*, 2000).

Como se ha señalado, las “pasturas”, están formadas por especies exóticas o también denominadas introducidas o no nativas. Las especies exóticas son aquellas que se encuentran fuera de su área de distribución original o nativa (histórica o actual), no acorde con su potencial de dispersión natural (Richardson *et al.*, 2000).

Superficie de pastizales

Chile tiene una superficie total de 2.006.626 km², de los cuales 756.626 km² corresponden a Chile continental e islas oceánicas, y 1.250.000 km² a Chile Antártico. En esta extensa superficie, existe una amplia diversidad de climas y suelos (IGM, 2008) y donde se ubican un poco más de 32 millones de hectáreas de pastizales.

Diversas son las clasificaciones que geógrafos, botánicos, ecólogos y planificadores territoriales dan al país, en las que distinguen siete grandes bio-regiones: Desierto, Mediterránea, Húmeda-Templada, Andina, Patagónica, Insular y Antártica. La bio-región Húmeda-Templada, se caracteriza por presentar un clima marítimo, con un rango de temperaturas benignas y altas precipitaciones. En el sector norte el clima es de tendencia mediterránea, con estaciones bien definidas y con precipitaciones que aumentan gradualmente de norte a sur, mientras que los periodos secos son de menor amplitud. La vegetación de bosque templado húmedo se observa fisiográficamente como un todo, compuesta especialmente, por árboles siempre verdes cuya presencia está relacionada con el tipo de suelo, latitud, drenaje y exposición (Hoffmann, 2005).

La amplia diversidad de climas y suelos existente en Chile genera ocho grandes zonas de pastizales: Desértica, Esteparia, Mediterránea, Transición, Templada húmeda, Templada húmeda fría, Austral y verano cálido. Estas fueron definidas por Gastó *et al.* (1987) y modificadas por Demanet & Neira (1996) con objetivos docentes (Figura 2.1).

En la zona templada de Chile existe un predominio de praderas naturales y naturalizadas. Según los resultados del censo agropecuario realizado en el año 2007, la superficie de praderas naturales y naturalizadas de esta área es 1.711.833 hectáreas, que corresponde al 64,6% de la superficie de pastizales en Chile. A esta cifra hay que adicionar al menos un 50% de la superficie de praderas mejoradas que, de acuerdo al catastro nacional,

se identifican como aquellas que reciben algún grado de modificación como es: fertilización, construcción de drenajes, incorporación de semillas a través de técnicas de regeneración y elaboración de cercos. Considerando lo anterior, la superficie de praderas naturales y naturalizadas del área templada de Chile es 1.711.834 hectáreas, esto es el 64,6% de la superficie de pastizales del área. Las pasturas ocupan una superficie de 936.663 hectáreas (35,4%) y es donde se concentran los sistemas intensivos de producción de leche y carne bovina (INE, 2008). Esta información se recoge y pormenoriza en la Tabla 2.1.

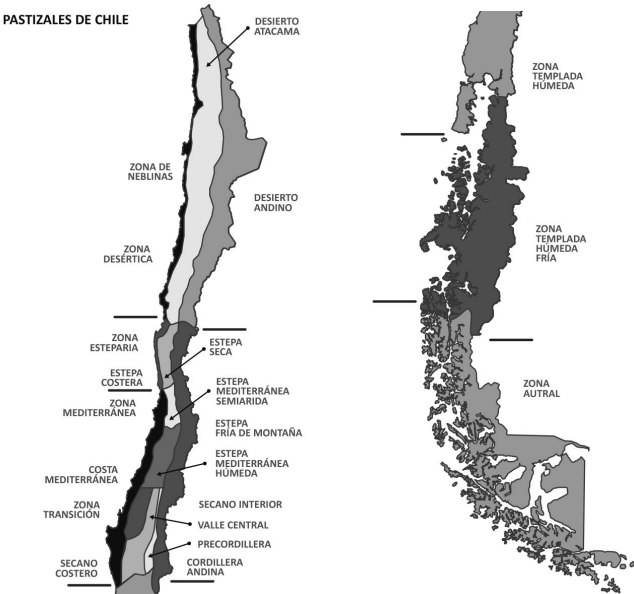


Figura 2.1. Zonas de Pastizales de Chile. Gastó et al. (1987) modificada por Demanet & Neira.

Tabla 2.1. Superficie total y regional de pastizales en Chile (ha). Censo agropecuario año 2007.

Región	Pasturas	Praderas Mejoradas	Praderas Naturales	Total	%
XV de Arica y Parinacota	1.559	5.306	158.894	165.759	1,4
I de Tarapacá	154	12	310.735	310.902	2,5
II de Antofagasta	1.095	265	364.244	365.604	3,0
III de Atacama	2.166	228	78.762	81.156	0,7
IV de Coquimbo	81.108	14.891	2.993.970	3.089.969	25,2
V de Valparaíso	10.613	30.173	282.185	322.971	2,6
Metropolitana de Santiago	16.678	16.246	142.223	175.147	1,4
VI de O'Higgins	11.653	13.241	354.989	379.884	3,1
VII del Maule	35.664	98.497	812.063	946.224	7,7
VIII del Bío-Bío	49.958	63.821	543.929	657.708	5,4
IX de La Araucanía	64.693	151.993	614.853	831.538	6,8
XIV de Los Ríos	46.549	169.602	165.229	381.381	3,1
X de Los Lagos	53.391	391.893	350.630	795.914	6,5
XI Aysén	14.352	44.190	581.122	639.664	5,2
XII de Magallanes y Antártica	5.997	54.997	3.041.337	3.102.331	25,3
Total país	395.630	1.055.355	10.795.165	12.246.152	100
Zona Templada	178.985	757.678	1.711.833	2.648.496	
% Total país	45,2	71,8	15,9	21,6	

Fuente: Adaptado de INE, 2008.

En los pastizales de la zona templada, según muestra la Tabla 2.2., se concentra el 30,4% de la masa bovina nacional (2.530.734 cabezas) y en ellos se produce el 82,9% de la leche bovina (1.572,4 millones de litros) y el 64,4% de carne bovina faenada en el país (166.259 toneladas) (INE, 2011).

Tabla 2.2. Número total y regional de cabezas de ganado bovino, ovino y caprino en Chile. Censo agropecuario año 2007.

Región	Bovinos	Ovinos	Caprinos	Total	%
XV de Arica y Parinacota	2.268	18.229	6.042	26.539	0,3
I de Tarapacá	123	10.044	2.287	12.454	0,1
II de Antofagasta	278	10.493	6.165	16.936	0,2
III de Atacama	7.148	5.229	39.187	51.564	0,6
IV de Coquimbo	41.276	84.215	404.562	530.053	6,4
V de Valparaíso	102.695	30.345	45.535	178.575	2,1
Metropolitana de Santiago	101.275	23.994	12.253	137.522	1,7
VI de O'Higgins	83.350	157.644	18.526	259.520	3,1
VII del Maule	258.228	155.129	40.120	453.477	5,5
VIII del Bío-Bío	449.398	173.726	47.308	670.432	8,1
IX de La Araucanía	668.140	277.884	50.810	996.834	12,0
XIV de Los Ríos	621.598	116.149	9.328	747.075	9,0
X de Los Lagos	1.047.194	315.198	11.134	1.373.526	16,5
XI Aysén	193.802	304.936	12.138	510.876	6,1
XII de Magallanes y Antártica	141.759	2.205.270	132	2.347.161	28,2
Total país	3.718.532	3.888.485	705.527	8.312.544	100
Zona Templada	2.530.734	1.014.167	83.410	3.628.311	
% Total país	68,1	26,1	11,8	43,6	

Fuente: adaptado de INE, 2008.

Origen de las praderas naturales y naturalizadas

La zona templada de Chile posee tres grandes áreas: Zona de Transición de Mediterránea a Templada (37° 35' - 39° 27' LS), Zona Templada Húmeda (39° 28' - 42° 26' LS) y Zona Templada Húmeda Fría (42° 27' - 46° 49' LS). De acuerdo a la clasificación de pastizales de Chile que realizaron Gastó *et al.* (1987), esta extensa área corresponde al dominio húmedo, donde se ubican los pastizales de clima templado húmedo con lluvia durante todo el año.

En esta extensa zona el origen de las praderas naturales y naturalizadas corresponden al pastizal generado por procesos de deforestación y posterior laboreo excesivo de la tierra cuyo objetivo fue producir cereales y cultivos industriales destinados a la alimentación de la creciente población humana que colonizó el área de bosques prístinos milenarios.

La sobre explotación de la tierra y pérdida de productividad, junto con la degradación de la biocenosis, tuvo como consecuencia natural una pausa de actividad de rotura de suelos y la generación de pastizales de baja productividad sobre rastrojos de cultivos. En estos agro-sistemas se desarrolló una ganadería incipiente que fue poblando el paisaje rural hasta alcanzar importancia con el desarrollo de la industria de la carne y la leche.

En este escenario, el país y la región templada evolucionaron hacia una mayor intensificación de la producción agrícola y ganadera, periodo en el que se incorporaron al sistema productivo de la zona templada las pasturas introducidas, monofíticas y polifíticas, que fueron establecidas en todas las áreas agroecológicas de la región. Esto implicó, una modificación del paisaje e introdujo en el ecosistema un nivel de fragilidad y baja resiliencia nunca antes registrado.

La degradación de la biocenosis tuvo su punto máximo con la colonización humana de todos los sectores de la región. La explotación del bosque nativo, el cultivo de cereales y la consiguiente erosión generaron una modificación del paisaje, en el que las pérdidas de fuentes naturales de agua y la disminución consiguiente del nivel productivo, llevaron a ciertas zonas a ser consideradas *Agri deserti*.

En esta situación, las autoridades gubernamentales y científicas, desarrollaron un programa de recuperación, incentivando la reforestación de las áreas degradadas con especies exóticas que disimularon el paisaje erosionado y fragmentado.

En sectores de mayor resiliencia se mantuvo el desarrollo de los cultivos de cereales que, en un sistema de descanso cada cuatro o cinco años, generaron los pastizales naturales, cuya productividad dependía de las condiciones de clima, nivel de fertilidad e intervención antrópica con la ganadería incipiente de la época.

El efecto visible de esta degradación fue el incremento de la pobreza del paisaje rural, donde las praderas presentaron una baja diversidad florística, dominada por especies introducidas desde Europa y donde las especies naturales fueron desplazadas a sectores de *relictus*, donde el hombre y los animales no lograron intervenir.

Con el desarrollo de la revolución verde entre 1960 y 1990, se produjo un auge en la productividad agrícola en el mundo en general y en Chile en particular. En esos decenios el país organizó un sistema de incremento de la productividad por unidad de superficie, en el que se utilizó la ciencia moderna para encontrar formas de producir más alimentos.

El desarrollo de nuevos cultivares de especies de cereales, avances en la producción de plaguicidas, incremento de la selección animal y mejora genética de las especies domésticas, incorporación de nuevas tecnologías de producción y sistemas de gestión agrícola, son acciones que permitieron dar respuesta a una necesidad creciente de alimentos en el mundo.

Este periodo sorprendió a Chile en una etapa de grandes transformaciones sociales y políticas, en las que el desorden institucional transformó el paisaje rural y donde la capacidad productiva se redujo, de forma tal, que incluso transformó al país en una nación importadora de productos básicos de subsistencia de la población. Las buenas intenciones políticas de desarrollo de cooperativas de trabajo, asentamientos agrícolas y alimentación equitativa de la población no se lograron materializar, producto de la fragilidad del sistema político.

Posterioros cambios políticos, que generaron el desarrollo de estrategias de libre mercado y mantenimiento de la propiedad privada como eje básico del desarrollo de una sociedad libre y competitiva a nivel mundial, modificaron nuevamente el paisaje rural. De esta forma, los actores tuvieron la oportunidad de participar activamente en los programas de transferencia tecnológica desarrollados por el estado y el mundo rural tuvo acceso a los resultados de la investigación y de los avances tecnológicos desarrollados por el mundo en las décadas de avances de la revolución verde.

La zona templada del país, no ajena a este proceso, evolucionó hacia una ganadería intensiva, en la que la incorporación de pasturas y el desarrollo de programas de nutrición vegetal y manejo de pastizales, permitió incrementar la productividad por unidad de superficie. Asociado a este proceso se produjo el incremento de sistemas de cría intensiva de ganado con una creciente *holsteinización* (incremento de uso de ganado *Holstein*), del ganado lechero y una transformación del ganado de doble propósito en animales especializados en producción de carne y leche.

Esta transformación, generada por la revolución verde tuvo un fuerte impacto en todos los sistemas productivos de la zona templada. En el momento histórico en que se produjo se consideró un éxito, dado que el crecimiento demográfico y la demanda de alimentos así lo requerían. Pero este aumento de productividad tuvo un alto precio la pérdida de biodiversidad y la reducción de uso de especies, variedades y ecotipos locales, que incluso llegaron a límites de la extinción. Además, la incorporación de plaguicidas causó un grave deterioro en el ambiente y en la salud humana. La presión por el uso del agua se incrementó y la brecha entre los agricultores con recursos y los pobres fue en aumento, generando procesos discriminatorios de difícil solución.

Este proceso obligó al estado a iniciar nuevos programas de subsidios, asignación de tierras y desarrollo de programas de asistencia en todas las áreas de desarrollo rural. Sin embargo, el proceso, que se mantiene en el tiempo, no consideró la ordenación territorial y sólo tuvo por objetivo la solución mediática de los problemas políticos más que la solución permanente del desarrollo rural del área templada del país.

El desafío actual y futuro de la humanidad no puede ser tan solo incrementar la productividad y el consumo, ya que eso tiene como consecuencia la explotación ilimitada de los recursos. Es necesario promover un desarrollo sostenible, esto es “asegurar las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para enfrentarse a sus propias necesidades”, según mencionó en 1987 la comisión mundial para

el medio ambiente y el desarrollo de la ONU, encabezada por la doctora noruega Gro Harlem Brundtland. Esta comisión tras analizar la situación del mundo en ese momento, concluyó que el camino que la sociedad global había tomado estaba destruyendo el ambiente y, además, dejando cada vez a más gente en la pobreza y la vulnerabilidad.

En la zona templada de Chile existe un predominio de praderas naturales y naturalizadas. Se distribuyen en toda el área y el nivel de rendimiento está relacionado con las condiciones climáticas particulares de cada sector y el grado de intervención antrópica incluyendo el manejo de fertilización y pastoreo, carga y tipo de animales.

Zona de transición de mediterránea a templada

La zona de transición de mediterránea a templada húmeda se ubica administrativamente en la Región de La Araucanía (37° 35' - 39° 27' LS.), y corresponde al sector norte del área templada de Chile que abarca una superficie de 31.842,30 kilómetros cuadrados (IGM, 2008). En esta sección del país es posible distinguir cinco áreas: secano costero, secano interior, llano central, precordillera y cordillera andina (Rouanet, 1982; Rouanet *et al.*, 1988) (Tabla 2.3 y Figura 2.2), que poseen una superficie total de praderas naturales y naturalizadas cercana a 690.849 hectáreas y corresponde al 6,1% de la superficie nacional (INE, 2011).

Tabla 2.3. Caracterización de las principales áreas agroclimáticas de la región de La Araucanía.

Índice	Secano Costero	Secano Interior	Llano Central Norte	Llano Central Sur	Precordillera
t° promedio mensual	13.1	12.8	11.0	11.9	9.8
t° promedio máxima mensual	20.5 Ene	26.3 Ene	23.4 Ene	27.1 Ene	23.6 Ene
t° promedio mínima mensual	4.9 Jul	4.4 Jul	2.6 Jul	3.3 Jun	1.2 Jun
Horas de Frío anual	1,266	1,306	2,427	1,798	3,269
pp (mm)	1,683	1,267	1,386	2,100	2,550
BH – mes	Ene - Feb	Oct - Mar	Nov - Mar	Ene – Mar	Ene - Feb
PLH p<30%	Oct - Mar	Nov - Feb	Ene - Feb	Dic – Feb	No
Período térmico vegetativo (días)	90	182	151	90	59
Periodo libre de heladas (días)	182	120	59	90	0

Horas de frío: Base 6°C; pp: precipitación; BH:- Balance hídrico negativo; PLH: Período libre de heladas
Fuente: adaptado de Rouanet (1988).



Figura 2.2. Zonas agroecológicas de la zona de transición de mediterránea a templada (Rouanet *et al.*, 1988).

La región presenta suelos derivados de cenizas volcánicas: Andisoles y Ultisoles, cuyo uso en agricultura y ganadería está fuertemente limitado por la carencia de fósforo disponible, consecuencia de la alta capacidad de fijación de los coloides inorgánicos (Zunino & Borie, 1985; Fuentes *et al.*, 2008).

En esta extensa zona, las praderas naturales son escasas y la mayor superficie es ocupada por praderas naturalizadas que se encuentran en diferentes grados de desertificación. La productividad promedio fluctúa entre 0,6 y 4,0 toneladas de materia seca por hectárea (Tabla 2.4). La principal limitante para el desarrollo de la expresión de su potencial productivo es la baja fertilidad de los suelos, la escasa fertilización y el mal manejo pastoril del pastizal (Demanet & Contreras, 1988).

Tabla 2.4. Rendimiento promedio de praderas naturalizadas en diferentes áreas agroecológicas de la zona de transición de mediterránea a templada.

Área Agroecológica	Producción (ton MS/ha)
Secano Costero	1.7 - 2.0
Secano Interior	0.6 - 0.8
Llano Central	2.0 - 3.0
Precordillera	2.0 - 4.0

Fuente: Demanet & Contreras (1988).

Las praderas presentan un bajo nivel de rendimiento y están constituidas por un complejo grupo de especies con diferente distribución de la producción, distintas tasas y hábitos de crecimiento y, diversa arquitectura y sistemas reproductivos, lo que les permite sobrevivir en diferentes condiciones edafoclimáticas, alcanzando algunas especies un alto nivel de ubicuidad.

Esta zona posee un clima templado con influencia mediterránea y la mayoría de las especies de las praderas no son endémicas, sino que provienen de Europa. La diversidad florística es reducida si se la compara con la flora del mediterráneo. La zona central de Chile posee un total de 3.429 especies, de las que sólo 1.605 son endémicas, a diferencia de la zona mediterránea de Europa que tiene 25.000 especies vegetales y 13.000 (52%), son endémicas (Myers *et al.*, 2000).

El principal componente de las praderas naturalizadas es el grupo conformado por poaceas perennes y anuales (50 a 70%). Las leguminosas contribuyen con un porcentaje inferior a 10% y las especies de hoja ancha (latifoliadas) aportan entre un 30% y un 40% a la producción de forraje. Entre las principales especies gramíneas se encuentra *Agrostis capillaris* Sibth., *Holcus lanatus* L., *Anthoxanthum odoratum* L., *Bromus stamineus* E. Desv., *Lolium multiflorum* L., *Cynosurus echinatus* L., *Briza máxima* L., *Briza minor* L., *Aira caryophyllea* L., *Vulpia bromoides* (L.) S.F. Gray, *Arrhenatherum elatius* (L.) P. Beauv. Ex J. et K. Presl spp. *bulbosum* (Willd.) Schübler & Martens, entre otros. Las leguminosas de mayor ubicuidad son *Trifolium repens* L., *Lotus uliginosus* Schkuhr, *Trifolium filiforme* Sibth, *Trifolium glomeratum* L., *Trifolium hirtum* All., *Trifolium subterraneum* L. y *Medicago* spp. (Demanet & Contreras, 1988).

Las especies latifoliadas son consideradas malezas en los cultivos. Sin embargo, en las praderas naturalizadas forman parte importante de la composición botánica. Estas especies son consumidas por el ganado y constituyen una parte importante de su dieta. Poseen un alto contenido de minerales y propiedades antihelmínticas (Moss & Vlassoff, 1993; Houdijk *et al.*, 2012). En praderas degradadas constituyen un importante aporte y desarrollan su crecimiento en primavera, donde la floración ocurre a inicios del periodo.

Secano costero

Esta área agroecológica se ubica en la vertiente occidental de la cordillera de Nahuelbuta y corresponde al sector oeste de las comunas de Lumaco y Teodoro Schmidt y gran parte de las comunas de Carahue, Puerto Saavedra y Toltén (37° 35' - 39° 27' LS y 73° 39' - 72° 52' LO).

El clima se caracteriza por presentar periodos de déficit hídrico corto durante los meses de enero y febrero, lo que causa que el crecimiento vegetativo se restrinja en estos dos meses. La precipitación anual fluctúa entre 1.600 y 1.700 mm y el periodo libre de heladas se extiende desde octubre a marzo (Rouanet, 1982).

Fisiográficamente, esta área presenta en el sector norte un predominio de lomajes suaves con Andisoles, y transicionales a Ultisoles, que se encuentran combinados con sitios de inundación invernal (Tirúa – Puerto Saavedra). En el sector sur, el lomaje de Andisoles aparece como la situación secundaria frente a la extensa terraza

formada por la desembocadura del río Toltén que posee una combinación de Andisoles de alta productividad y terrenos con drenaje imperfecto (Puerto Domínguez – Queule). El nivel medio de fertilidad de los suelos es bajo, con escasa presencia de fósforo disponible y poca capacidad de retención de bases, especialmente en los sectores de drenaje imperfecto.

En el secano costero se distinguen diversas unidades geomorfológicas, destacándose las planicies y llanuras litorales sedimentarias marino fluviomarinas (Börgel, 1965). En ellas se ha originado un mecanismo de almacenamiento de sedimentos, depositándose arenas, arcillas y limos de gran homogeneidad granulométrica y mineralógica (Universidad de Chile, 1980).

La unidad geomorfológica de mayor importancia corresponde a la Cordillera de Nahuelbuta, que posee su origen en la región periglaciaria y lacustre de volcanismo activo (Bögel, 1965). En este macizo existe un predominio de rocas metamórficas, con pendientes que ocasionalmente alcanzan cierta relevancia y, relieves abruptos, vigorosamente afectados por la erosión, lo que han permitido la formación de algunos desfiladeros (Universidad de Chile, 1980).

La cordillera de Nahuelbuta no sólo es importante desde el punto de vista orográfico, donde las alturas máximas superan los 1.200 msnm, sino que también constituye un importante dispersor de aguas, barrera climática y un lugar histórico de la resistencia indígena contra la dominación española (Gastó *et al.*, 1985).

La pradera naturalizada (Figura 2.3) se caracteriza por presentar alta estacionalidad en la producción. Más del 50% del rendimiento anual se logra en el periodo de primavera y la composición botánica está dominada por especies gramíneas. En estado natural puede lograr una acumulación de materia seca superior a 5 ton/ha. Con una fertilización base de nitrógeno y fósforo puede alcanzar 8,07 ton MS/ha (Demanet *et al.*, 1991) (Tabla 2.5).



Figura 2.3. Paisaje de praderas naturalizadas del secano costero de la Región de La Araucanía.

Tabla 2.5. Curva de acumulación de materia seca (ton/ha) en las praderas del secano costero de la zona de transición de mediterránea a templada. Hualpín, Región de La Araucanía.

Mes	Días	S/F	C/F
Junio	42	0,26 e	0,40 d
Julio	69	0,37 e	0,41 d
Agosto	99	0,75 d	0,68 d
Septiembre	133	0,59 de	1,55 c
Octubre	161	0,42 e	1,76 c
Noviembre	190	1,61 c	4,55 b
Diciembre	213	2,44 b	7,89 a
Enero	253	5,52 a	8,07 a
Promedio		1,50 B	3,16 A

S/F: Sin Fertilización; C/F: Fertilizada con 60 kg N/ha + 60 kg P₂O₅/ha

Medias que no comparten una letra minúscula en común en columnas y letras mayúsculas en filas son diferentes según prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). Coeficiente de variación: 14,5%

El uso de la pradera con distintos periodos de rezago (descanso entre utilizaciones), la producción de materia seca puede alcanzar un rendimiento máximo de 5,67 ton MS/ha en estado natural y 8,32 ton MS/ha, con la aplicación de fertilización con nitrógeno y fósforo (Demanet *et al.*, 1991) (Tabla 2.6).

Tabla 2.6. Efecto de la época de rezago en el rendimiento de la pradera naturalizada (ton MS/ha) en el secano costero de la zona de transición de mediterránea a templada. Hualpín, Región de La Araucanía.

Mes	Días	Nº de Cortes	S/F	C/F
Junio	42	5	1,66 c	2,78 c
Julio	69	5	1,90 bc	3,77 bc
Agosto	99	4	2,56 b	4,27 bc
Septiembre	133	4	1,97 bc	4,02 bc
Octubre	161	3	2,16 b	4,29 bc
Noviembre	190	3	2,28 b	5,37 b
Diciembre	213	2	2,21 b	8,16 a
Enero	253	2	5,67 a	8,32 a
Promedio			2,55 B	5,12 A

S/F: Sin Fertilización; C/F: Fertilizada con 60 kg N/ha + 60 kg P₂O₅/ha

Medias que no comparten una letra minúscula en común en columnas y letras mayúsculas en filas son diferentes según prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

Coefficiente de variación: 18%

La curva de crecimiento de las praderas, demuestra el importante aporte que hace la estación de primavera al rendimiento total y la baja contribución del verano e invierno, situación que genera serios problemas de manejo del forraje disponible (Figura 2.4).

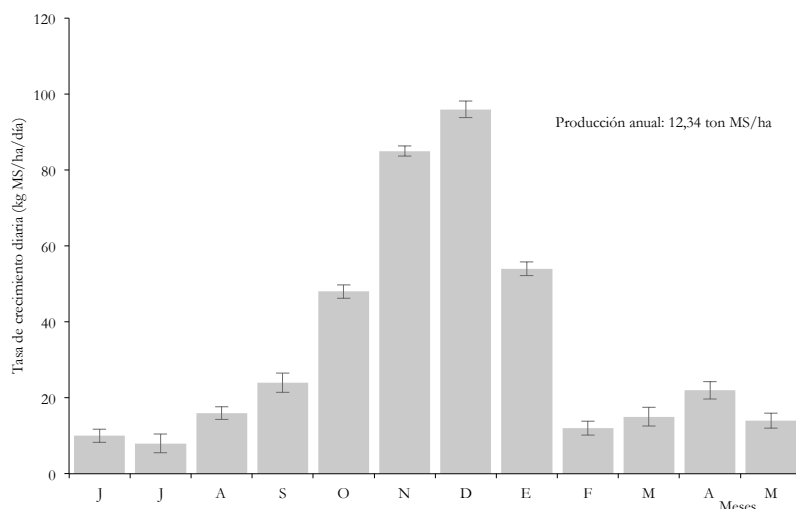


Figura 2.4. Curva de crecimiento (kg MS/ha/día) de un pastizal del secano costero de la Región de La Araucanía. Periodo 2000 – 2008

Coefficiente de variación: 12,07

Secano interior

El secano interior de la zona de transición de mediterránea a templada es un área ubicada en el sector poniente de la Región de La Araucanía. Incluye parte de la Cordillera de la Costa (Cordillera de Nahuelbuta) y serranías interiores (IREN-CORFO, 1970). En esta zona se ubican las comunas de Traiguén, Los Sauces, Collipulli, Victoria, Galvarino, Perquenco, Renaico, Angol, sector norte de la comuna de Lautaro, sector noroeste de Temuco y sector este de la comuna de Purén (37° 35' - 38° 44' LS y 72° 52' - 72° 28' LO).

Esta área se caracteriza por presentar un periodo de déficit hídrico de cinco a seis meses, con probabilidad de que se agote el agua en el suelo entre los meses de diciembre a marzo. La pluviometría promedio anual es de 800 a 1.200 mm, con una concentración de 45% en los meses de mayo a agosto y un 14-20% en primavera. La temperatura máxima media de los meses más cálidos (diciembre – febrero), oscila entre 25° y 27°C. La mínima media de estos mismos meses es de 10°C (Rouanet, 1982).

La fisiografía predominante es de lomaje suave, de topografía variada, con predominio de pendientes complejas que fluctúan entre el 5 y el 25%, especialmente en suelos de la serie Collipulli (Mella & Khüne, 1985).

La red fluvial genera diversos sitios de terrazas aluviales, sedimentarias y coluviales, terrenos planos de valle y piedemonte, y conos de deyección cortados por el paso de los ríos y esteros. Las laderas poseen pendiente baja a media, con escasa pedregosidad y se encuentran confundidas por lomajes característicos de la zona (Universidad de Chile, 1980).

Las comunas de Collipulli, Galvarino y Chol-Chol, corresponden a una secuencia de unidades de paisajes de valle, cuenca y depresión, de relieve suavemente ondulado, a veces encajonado en una red fluvial confusa, con un sistema de drenaje problemático en el que abundan áreas de tipo lagunar colmadas de sedimentos (Universidad de Chile, 1980).

En el secano interior existe un predominio de Ultisoles o también denominados suelos pardos rojizos (Roberts & Díaz, 1960), que corresponden a un grupo de suelos coincidentes en color y textura, pero provenientes de diferentes materiales parentales, como granito, mico-esquistos, pizarras, sedimentos marinos terciarios, basaltos y andesitas (Besoain, 1985). En esta sección de la región, los suelos se originaron a partir de cenizas volcánicas prehistóricas y materiales parentales vulcano – clásticos diversos, sometidos a un proceso génico común (Honorato & Olmedo, 1985).

Los Andisoles que se ubican en algunos sectores de lomaje de este sector de la región corresponden a cenizas volcánicas antiguas, que evidencian etapas de meteorización cruzada (Besoain, 1985), donde micro-morfológicamente es posible observar una evolución casi completa de los materiales volcánicos (Honorato & Olmedo, 1985), con predominio de cuarzo y minerales asociados (Wright, 1965). Este tipo de suelos no está estratificado, aunque presenta discontinuidad horizontal en textura, color y estructura. El perfil es relativamente profundo (1,5 a 4 m) y la fracción de arena raramente sobrepasa el 10% mientras que el contenido de arcilla se eleva sobre el 50%. El contenido de carbono orgánico fluctúa entre el 2 y 4%, pero es frecuente que este valor aumente hasta el 6 y 10%, como consecuencia de la contaminación de la superficie por cenizas volcánicas modernas, que han desarrollado componentes alofánicos (Besoain, 1985).

Practicamente no quedan praderas con especies endémicas debido a que la fuerte intervención humana ha generado tal grado de desertificación por lo que las praderas sólo están conformadas por especies de post cultivo de cereales y oleaginosas, todas ellas naturalizadas y de baja condición (Romero & Demanet, 1987) (Figura 2.5). En condiciones naturales sin intervención las praderas naturalizadas pueden alcanzar una acumulación en la temporada de 1,11 ton MS/ha. Con la aplicación de fertilizantes y normas de manejo de rezago, el nivel de rendimiento sube a 3,27 ton MS/ha (Tabla 2.7).



Figura 2.5. Pastizal del secano interior formado por especies de post cultivo o tala de bosque.

Tabla 2.7. Curva de acumulación de materia seca (ton MS/ha) en praderas del secano interior de la zona de transición de mediterránea a templada. Pidima, Región de La Araucanía.

Mes	Días de rezago	S/F	C/F
Agosto	33	0,12 c	0,13 d
Septiembre	59	0,23 bc	0,44 cd
Octubre	93	0,46 b	0,98 c
Noviembre	123	0,82 a	3,27 a
Diciembre	151	1,11 a	2,21 b
Enero	185		3,01 a
Promedio		0,55 B	1,41 A

S/F: Sin Fertilización; C/F: Fertilizada con 60 kg N/ha + 60 kg P₂O₅/ha
Medias que no comparten una letra minúscula en común en columnas y letras mayúsculas en filas son diferentes según prueba de Tukey (p≤0,05).
Coeficiente de variación: 24%.

En condiciones de utilización la producción por hectárea se reduce y sólo logra 1,11 ton MS/ha sin aplicación de fertilizantes y 3,01 ton MS/ha con fertilización (Tabla 2.8). La información que existe de esta zona agroecológica es escasa. El desarrollo de sistemas con cereales y plantaciones de árboles exóticos no hacen atractivo el estudio de las praderas naturalizadas, siendo enfocada la investigación a la incorporación de pasturas de rotación corta (*Trifolium incarnatum* L., *Lolium multiflorum* Lam. var. *Westervoldicum*, *Avena sativa* L., *Avena strigosa* Schreb).

Tabla 2.8. Efecto de la época de rezago en el rendimiento de la pradera naturalizada (ton MS/ha) en el secano interior de la zona de transición de mediterránea a templada. Pidima, Región de La Araucanía.

Mes	Días de rezago	Nº Cortes	S/F	C/F
Agosto	33	2	0,57 b	1,63 c
Septiembre	59	2	0,78 ab	2,31 b
Octubre	93	2	0,77 ab	2,19 b
Noviembre	123	1	0,82 ab	2,37 b
Diciembre	151	1	1,11 a	2,21 b
Enero	185	1		3,01 a
Promedio			0,81 B	2,29 A

S/F: Sin Fertilización; C/F: Fertilizada con 60 kg N/ha + 60 kg P₂O₅/ha
Medias que no comparten una letra minúscula en común en columnas y letras mayúsculas en filas son diferentes según prueba de Tukey (p≤0,05).
Coeficiente de variación: 26%.

La curva de crecimiento de las praderas muestra el déficit de forraje que se presenta en el periodo de verano, que ha limitado el desarrollo ganadero de la zona y ha permitido el incremento de la superficie de cultivo de cereales y plantaciones forestales exóticas. Las tasas de crecimiento diario alcanzan valores superiores a 80 kilos por hectárea en el mes de noviembre (Figura 2.6).

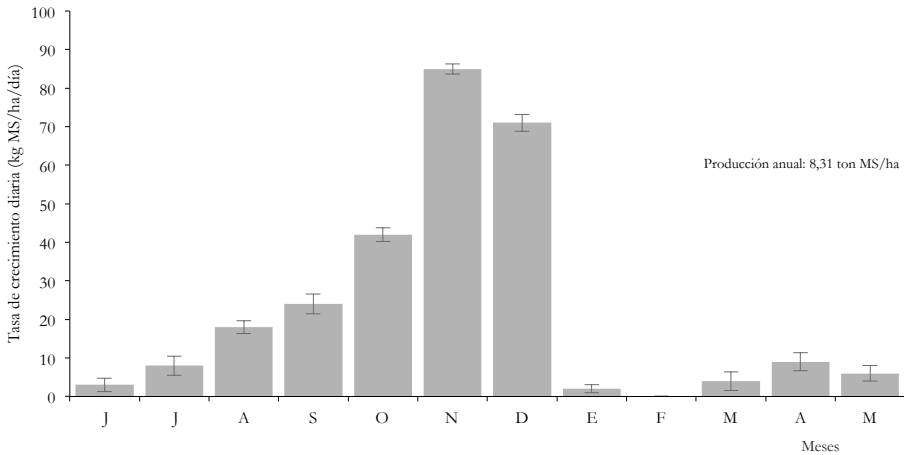


Figura 2.6. Curva de crecimiento (kg MS/ha/día) de un pastizal del secano interior de la Región de La Araucanía. Periodo 2000 – 2008.
Coeficiente de variación: 26,51%.

Llano central

Esta área agroecológica corresponde a la porción central de la Región y comprende las comunas de Ercilla, Perquenco, Temuco, Freire, Pitrufquén, Loncoche y parte de las comunas de Collipulli, Lautaro y Vilcún ($37^{\circ} 35' - 39^{\circ} 27' \text{ LS}$ y $72^{\circ} 28' - 72^{\circ} 14' \text{ LO}$ (Rouanet *et al.*, 1988).

Con una superficie de 608.100 hectáreas, esta sección presenta un gradiente hídrico de norte a sur, con estación seca mayor en dos meses en el sector norte (cinco meses en el sector norte y tres meses en el área sur) no obstante, la estación húmeda comienza en toda el área en el mes de abril, época que coincide con el comienzo de las labores de los cultivos tradicionales (Rouanet, 1982).

Con topografía de lomaje suave y suelos derivados de cenizas volcánicas, Andisoles y transicionales a Ultisoles, el paisaje se confunde con *relictus* de árboles y bosquetes de *Nothofagus sp.*, fragmentados por la presencia de cultivos de cereales y pastizales (Gastó *et al.*, 1985; Gastó *et al.*, 1987).

Las praderas naturalizadas presentan diferente condición según se ubiquen en Andisoles o Ultisoles. El área de Ultisoles presenta praderas de regular a mala condición (Figura 2.7 y 2.8), debido a la dominancia de pequeños agricultores, cuyo principal objetivo es la subsistencia y donde la ganadería es una consecuencia de mantener un programa integrado, que combina el cultivo de cereales, hortalizas, leguminosas de grano y la ganadería bovina y ovina. En este esquema de producción, domina el uso de pastoreo continuo, donde el ganado se mantiene bajo un esquema de consumo de rastrojos.



Figura 2.7. Pastizal de baja condición en Ultisol del llano central de la Región de La Araucanía.



Figura 2.8. Pastizal compuesto por especies de regular condición en un Andisol del llano central de la Región de La Araucanía.

En el sector de Andisoles hay pequeños agricultores de subsistencia, pero también existe una importante superficie ocupada con medianos y grandes agricultores, que combinan la ganadería con el cultivo de cereales. Además, en este sector se realiza engorda invernal, lo que permite a la cría lograr un mejor peso de venta e incluso llevar el ganado a peso final, a través de la engorda en pastoreo, en el periodo de primavera (Catrileo, 2005).

En esta área las praderas se ubican en distintos suelos y bajo condiciones climáticas diferentes. Es por ello que el rendimiento logrado en cada condición y en cada área es tan disímil. Sin embargo, al igual que en toda la zona templada, las praderas presentan una concentración de la producción en primavera y un bajo aporte en las estaciones de verano e invierno (Figura 2.9).

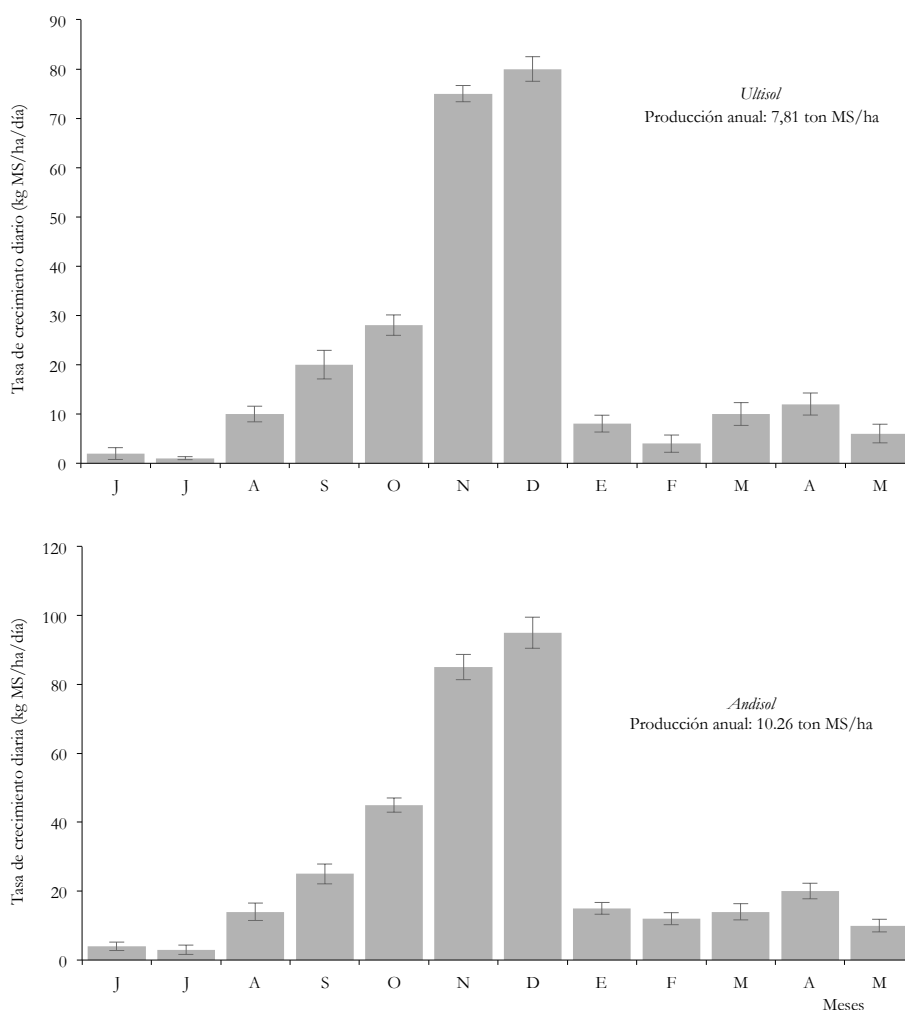


Figura 2.9. Curva de crecimiento (kg MS/ha/día) de dos pastizales del secano del llano central de la Región de La Araucanía. Periodo 2000 - 2008

Coefficiente de variación: Ultisol 21,55%; Andisol 21,72%.

La acumulación de materia seca anual se muestra en la Tabla 2.9. Los resultados indicaron que en los Andisoles la pradera naturalizada tiene una mejor condición que en el sector de Ultisoles. En Andisoles la pradera, compuesta principalmente por *Agrostis capillaris* Sibth., alcanza un rendimiento de 8,59 ton MS/ha, en una condición de manejo con fertilización y 6,45 ton MS/ha sin fertilización. En el área de Ultisoles, el rendimiento disminuye más del 50%, debido a la ubicación ecológica y el nivel de intervención antrópica del sistema que incluso no permite lograr una diferenciación importante entre la acumulación y la utilización frecuente.

Tabla 2.9. Acumulación de materia seca de la pradera naturalizada (ton MS/ha) en el llano central de la zona de transición de mediterránea a templada. San Ramón (Andisol) y Tromén (Ultisol). Región de La Araucanía.

Ultisol	Días de rezago	S/F	C/F
Agosto	41	0,08 c	0,13 d
Septiembre	70	0,31 b	0,71 cd
Octubre	106	0,33 b	0,72 cd
Noviembre	133	0,92 a	1,34 c
Diciembre	155	1,20 a	3,15 b
Enero	189		4,74 a
Promedio		0,57 B	1,80 A
Andisol	Días de rezago	S/F	C/F
Agosto	41	0,43 d	0,50 e
Septiembre	70	1,02 c	1,47 d
Octubre	106	1,93 c	3,20 c
Noviembre	133	3,36 b	6,96 b
Diciembre	155	6,45 a	8,59 a
Promedio		2,64 B	4,14 A

S/F: Sin Fertilización; C/F: Fertilizada con 60 kg N/ha + 60 kg P₂O₅/ha

Medias que no comparten una letra minúscula en común en columnas y letras mayúsculas en filas son diferentes según prueba de Tukey (p≤0,05).

Coefficiente de variación: Ultisol 26,44%; Andisol 22,23%.

El efecto del descanso entre utilizaciones (rezago), con y sin aplicación de fertilizantes se generó en ambas áreas del llano central, un incremento en el rendimiento (Tabla 2.10). En los Ultisoles se logró una producción máxima de 4,75 toneladas MS/ha y 1,20 toneladas MS/ha, con y sin fertilización, respectivamente. En Andisoles, la producción alcanzó un máximo de 9,32 toneladas MS/ha con fertilización y 7,14 toneladas MS/ha sin aplicación de fertilizantes inorgánicos.

Tabla 2.10. Efecto de la época de rezago en el rendimiento de la pradera naturalizada (ton MS/ha) en el llano central de la zona de transición de mediterránea a templada. San Ramón (Andisol) y Tromén (Ultisol). Región de La Araucanía.

Ultisol	Días de rezago	Nº Cortes	S/F	C/F
Agosto	41	3	0,89 b	1,44 b
Septiembre	70	2	1,16 a	1,92 b
Octubre	106	2	0,62 b	1,32 b
Noviembre	133	2	1,13 a	1,84 b
Diciembre	155	1	1,20 a	3,15 a
Enero	189	1		4,75 a
Promedio			1,00 B	2,40 A
Andisol	Días de rezago	Nº Cortes	S/F	C/F
Agosto	41	4	3,98 b	5,89 b
Septiembre	70	4	4,07 b	6,03 b
Octubre	106	3	4,27 b	5,43 b
Noviembre	133	3	4,35 b	8,13 a
Diciembre	155	2	7,14 a	9,32 a
Promedio			4,76 B	6,96 A

S/F: Sin Fertilización; C/F: Fertilizada con 60 kg N/ha + 60 kg P₂O₅/ha

Medias que no comparten una letra minúscula en común en columnas y letras mayúsculas en filas son diferentes según prueba de Tukey (p≤0,05).

Coefficiente de variación: Ultisol 28,34%; Andisol 21,42%.

El efecto de la fertilización en las praderas de ambos suelos fue significativo y generó un incremento del 140% en el pastizal ubicado en un Ultisol y 46% en el pastizal del Andisol. El rendimiento logrado en los experimentos realizados en el llano central de la Región de La Araucanía, fue similar al obtenido por Ruiz (1996) en diversas evaluaciones realizadas en la sección norte de la zona templada de Chile.

Precordillera

La precordillera andina se extiende desde el sur del río Bio – Bio en Malleco, hasta el lago Calafquén ubicado

en el límite con la Región de Los Ríos. Esta área se ubica entre 300 y 900 m de altitud. El límite oeste son las comunas de Curacautín, Cunco y Villarrica y el límite este lo constituyen las comunas de Malalcahuello, Melipeuco y Curarrehue. Esta sección de la Región es una franja en forma de plano inclinado o piedemonte, que conecta a la cordillera con el Llano Central (37° 35' - 39° 30' LS y 72° 14' - 71° 57' LO) (IREN – CORFO, 1970).

Presenta un clima templado de verano seco y corta estación de sequía, caracterizado también como templado cálido con menos de cuatro meses secos (Gastó *et al.*, 1985). La caída pluviométrica anual oscila entre 1.900 mm y 2.000 mm, con una distribución del 41% en invierno, 12% en verano, 26% en otoño y 21% en primavera. No posee estación libre de heladas y la temperatura máxima media de los meses cálidos es de 22°C y la mínima media de 6°C. En julio, el mes más frío, las temperaturas máximas y mínimas corresponden a 11°C y 2°C, respectivamente (Rouanet, 1982).

Desde la cuenca del río Toltén al sur, se desarrolla un clima de verano fresco con tendencia a seco, semejante al del llano central, pero en el que existe una leve diferencia en los meses estivales. Las precipitaciones tienden a disminuir, con una reducción a cantidades insuficientes para sostener la vegetación, situación que no se prolonga por más de un mes. La vegetación no se afecta, pues la precipitación anual mantiene el suelo permanentemente en capacidad de campo y sólo se observan leves variaciones en el nivel freático (Gastó *et al.*, 1985).

La fisiografía de la zona está dominada por planos ondulados, que se forman a partir de un extenso piedemonte. La topografía de esta situación fisiográfica es muy variada y es posible encontrar lomajes suaves con pendientes del 2 al 5%, hasta sitios escarpados con pendientes complejas que fluctúan entre el 15 y 30% (Demanet & Romero, 1988).

La geomorfología de esta sección posee un carácter de acumulación de sedimentos fluvio-glacio-volcánico, constituido por conos de gran envergadura y potencia que tienden a desaparecer como unidad orográfica al sur del río Allipén (Börgel, 1965).

El carácter fuertemente morrénico del borde occidental de la precordillera, así como las condiciones climáticas más húmedas de la zona, minimizan las formas de relieve a simples lomas de gran curvatura externa, con las periferias sometidas a intensa acción erosiva lineal por quebradas y arroyos (Gastó *et al.*, 1985).

Los suelos derivados de cenizas volcánicas (basáltico-andesitas) son Andisoles y sólo se desarrollan bajo un régimen de temperatura méxico o térmico (Besoain, 1985). Su textura tiende a ser franca friable, con estratificaciones deposicionales, claramente distinguibles, con diferencias nítidas de color entre el suelo y el subsuelo. Presentan un alto riesgo de acidificación, producto de la fuerte concentración de la precipitación, laboreo de suelo y uso de fertilizantes acidificantes (Fuentes *et al.*, 2008).

La pradera naturalizada está dominada por especies gramíneas de regular condición donde predominan *Agrostis capillaris* Sibth., *Anthoxanthum odoratum* L. y *Holcus lanatus* L. Asociado a las Poaceas, se encuentran las especies latifoliadas, como *Achillea millefolium* L., *Hypochaeris radicata* L., *Capsella bursa pastoris* L., *Plantago lanceolata* L., *Leontodon nudicaulis* (L.) Bank ex Lowe, *Prunella vulgaris* L., *Taraxacum officinale* Weber., *Rumex acetocella* L., entre otras (Figura 2.10).

La acumulación de materia seca (Tabla 2.11) es superior a la lograda en el secano interior y llano central. Sin fertilización, el pastizal alcanza una acumulación anual de 8,65 toneladas MS/ha. Al someter el pastizal a un proceso de mejoramiento mediante fertilización nitrogenada y fosfatada, la acumulación supera las 11 toneladas MS/ha. La mayor acumulación de materia seca se verifica en primavera, periodo en que la tasa de crecimiento de la pradera puede superar los 80 kg MS/ha/día.

Con el uso de un sistema de utilización frecuente, simulando un pastoreo rotativo (Tabla 2.12) los pastizales registraron una mayor producción de materia seca, debido a que la defoliación permitió una buena recuperación de las especies e impidió la pérdida que se genera en la base de las plantas cuando se acumula la fitomasa. La aplicación de fertilización permitió un incremento significativo de la producción de materia seca del pastizal, situación que se verificó en todas las evaluaciones realizadas en la Región de La Araucanía.

Los resultados demuestran que la intervención de los ecosistemas de precordillera ha generado un cambio severo en la vegetación y una invasión permanente de especies exógenas de baja condición, como *Achillea millefolium* L., cuyo desarrollo y participación en la composición botánica se incrementa con el mal manejo de pastoreo, mala nutrición vegetal y ataques permanentes de insectos. Esto no permite el desarrollo de especies

nativas de alta importancia para esta sección de la zona templada, como *Bromus stamineus* Desv. y *Hordeum chilense* Roem. & Schult., gramíneas perennes cuya presencia se ha desplazado a lugares de baja accesibilidad del ganado.



Figura 2.10. Pastizal ubicado en un Andisol de la precordillera, en cuya composición botánica domina *Agrostis capillaris* Sibth. Región de La Araucanía.

Tabla 2.11. Curva de acumulación de materia seca de la pradera naturalizada (ton MS/ha) de la precordillera de la zona de transición de mediterránea a templada. Andisol. Curacautín, Región de La Araucanía.

Mes	Días de rezago	S/F	C/F
Agosto	45	0,18 e	0,43 d
Septiembre	71	0,56 d	0,90 d
Octubre	102	1,51 d	2,09 c
Noviembre	136	3,11 c	6,39 b
Diciembre	163	6,40 b	11,20 a
Enero	197	8,65 a	
Promedio		3,40 B	4,20 A

S/F: Sin Fertilización; C/F: Fertilizada con 60 kg N/ha + 60 kg P₂O₅/ha
Medias que no comparten una letra minúscula en común en columnas y letras mayúsculas en filas son diferentes según prueba de Tukey (p≤0,05).
Coeficiente de variación: 18,3%

Tabla 2.12. Efecto de la época de rezago en el rendimiento (ton MS/ha) de la pradera naturalizada de la precordillera de la zona de transición de mediterránea a templada. Andisol. Curacautín, Región de La Araucanía.

Mes	Días de rezago	Nº Cortes	S/F	C/F
Agosto	45	4	4,60 bc	6,90 bc
Septiembre	71	4	3,85 c	6,37 bc
Octubre	102	3	4,67 bc	5,57 c
Noviembre	136	3	5,26 b	8,58 b
Diciembre	163	2	7,67 ab	12,34 a
Enero	197	2	9,82 a	
Promedio			5,98 A	7,95 A

S/F: Sin Fertilización; C/F: Fertilizada con 60 kg N/ha + 60 kg P₂O₅/ha
Medias que no comparten una letra minúscula en común en columnas y letras mayúsculas en filas son diferentes según prueba de Tukey (p≤0,05).
Coeficiente de variación: 18,3%

La curva de producción de materia seca evidencia un reducido aporte en el periodo invernal producto de las bajas temperaturas que se registran en los meses de mayo a septiembre. En este sector de la zona templada la producción se concentra en primavera y en los primeros quince días del inicio de verano (Figura 2.11).

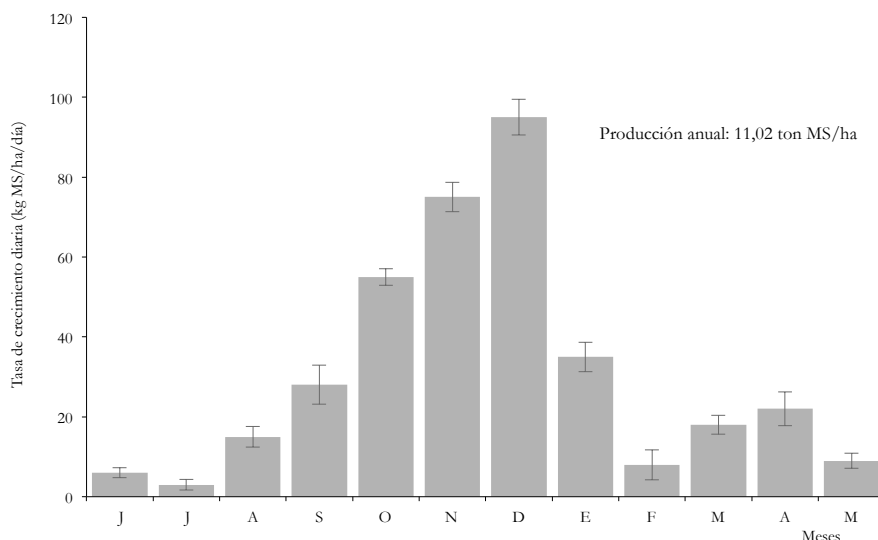


Figura 2.11. Curva de crecimiento (kg MS/ha/día) de un pastizal de la precordillera andina de la Región de La Araucanía. Período 2000 – 2008
Coeficiente de variación: 19,23%.

Cordillera de Los Andes

Esta área agroecológica de la región presenta dos secciones cuyo límite es difuso: el sector templado húmedo frío, característico del macizo andino de la Cordillera de Los Andes y la sección esteparia, ubicada en el valle de cordillera próximo al límite con Argentina ($38^{\circ} 21' - 38^{\circ} 55' \text{ LS}$ y $72^{\circ} 14' - 70^{\circ} 51' \text{ LO}$).

Esta área se ubica entre los 900 m de altitud y la línea divisoria de las aguas de la Cordillera de Los Andes que define el límite con Argentina cuya altitud es variable. Las comunas de Lonquimay, Melipeuco, Curarrehue y parte de las comunas de Vilcún, Cunco y Pucón, componen esta porción de la sección oriental del país (Rouanet *et al.*, 1988).

Esta sección de la Cordillera de Los Andes se caracteriza por su abundante acumulación crionival, por el doble efecto de la altura y el incremento de las precipitaciones en forma de nieve. El valle de cordillera generado por la conjunción de montañas admite tener dos situaciones fisiográficas: mallín plano con drenaje imperfecto y las montañas con pendientes abruptas y pequeños espacios de piedemonte, donde se desarrolla actividad agrícola y ganadera.

El volcanismo se ha manifestado en diversos eventos en los dos últimos siglos, a través de emisiones de cenizas volcánicas, hasta tal punto que las glaciaciones cuaternarias que formaron las morrenas, han sido erosionadas y re depositadas por corrientes volcánicas que han descendido por los valles que originalmente fueron excavados por los glaciares (Gastó *et al.*, 1985).

El suelo de desarrollo incipiente, es de origen volcánico y está constituido por diferentes depósitos de lavas, escorias, piedra pómez y cenizas que se encuentran muy estratificados y sin desarrollo de estructuras. La textura predominante es franco limoso y está constituida por 38% a 40% de arena, 48% a 50% de limo y 12% a 14% de arcilla. La falta de estructura y baja cobertura de la vegetación han provocado que toda esta área presente una fuerte susceptibilidad a la erosión eólica, situación que se evidencia en toda la cuenca del río Bío Bío (Mella & Khüne, 1985).

El área de la Cordillera Andina se caracteriza por presentar un clima de estepa fría y posee una vegetación muy diferente al resto de la Región. El sobretalajeo (uso intenso y frecuente de los pastizales), la quema de la vegetación y la constante erosión eólica ha provocado un cambio en el paisaje en los últimos 100 años, con pérdida de los horizontes superficiales del suelo, lo que causó el arrastre de nutrientes a los cauces de los ríos y, consecuentemente, la pérdida de la fertilidad natural del suelo. En la actualidad en los primeros cinco centímetros del suelo es común encontrar niveles inferiores a 1 mg/kg de P, 40 mg/kg de K y entre

1 a 3 cmol+/kg de suma de bases.

El clima estepario presenta una fuerte variación entre el sector del valle de cordillera (localidad de Lonquimay) y la zona esteparia. Así, en el sector próximo al río Bío Bío la precipitación alcanza niveles promedios anuales de 1.950 mm, lo que le otorga la característica de clima templado cálido, con menos de cuatro meses secos. En el área de altura el clima corresponde al de estepa fría, con precipitación nival durante el invierno y una fuerte fluctuación térmica diaria durante todo el periodo estival (Gastó *et al.*, 1985; Gastó *et al.*, 1987).

Toda el área presenta un alto grado de desertificación caracterizado por la pérdida del tapiz vegetal. El 55% de la superficie total del sector estepario presenta suelo desnudo o con cubierta vegetal herbácea o arbustiva rala, el 43% es vegetación boscosa y sólo el 2% posee praderas de buena cobertura, que básicamente corresponden a suelos hidromórficos con drenaje imperfecto y alto contenido de materia orgánica, denominados mallines. En esta área es donde se concentra parte de la fertilidad proveniente por arrastre de la erosión hídrica y eólica de la estepa.

La cordillera andina de la Región presenta dos zonas muy bien delimitadas. La primera corresponde al sector de suelos hidromórficos o mallines, ubicada en las áreas aledañas a las lagunas de Icalma y Galletue, y las escorrentías superficiales que dan origen a los esteros que generan el inicio del río Bío Bío. Este sitio, dominado por especies ciperáceas, juncáceas, *Phleum* sp., *Poa* sp., *Hordeum chilense* Roem. & Schult., *Lotus uliginosus* Schkuhr., *Trifolium repens* L., *Trifolium filiforme* L., *Lolium* sp., entre otras, presenta inundación durante un periodo de hasta ocho meses. En primavera – verano, al disminuir el nivel de inundación, la pradera hidromórfica logra generar una producción superior a 12 toneladas MS/Ha, con un predominio de especies de alta FDN (fibra detergente neutra) (Demanet & Neira, 1996). La principal limitación de este sitio es el drenaje imperfecto que provoca la inundación superficial durante gran parte del año, lo que sólo permite su utilización parcial en la estación estival. Esta situación genera, además, la invasión permanente de especies juncáceas y ciperáceas, que impiden el desarrollo de plantas de buena condición.

La segunda zona de alta importancia en términos de superficie corresponde al área de estepa fría. Presenta un nivel de desertificación avanzado producto de la quema del pastizal seco (coirón) y sobretalajeo con especies rumiantes menores. Se encuentra dominada por especies de baja condición, principalmente, *Acaena pinnatifida* Ruiz & Pavón.

En áreas de *relictus* es posible encontrar una buena población de especies nobles constituyentes del coironal. La especie de mayor importancia es *Festuca scabriuscula* Phil. que se asocia a *Poa* sp., *Stipa* sp y *Hordeum chilense* Roem. & Schult., formando comunidades densas que pueden alcanzar una productividad de 5 ton MS/ha, donde el 50% del material presente está formado por hojas fotosintéticamente activas y el 50% restante es material muerto de bajo nivel de descomposición (Tabla 2.13). La presencia del material muerto induce a los ganaderos a la quema con fuego de este recurso durante el verano con el objetivo de mejorar el nivel de verdor del coirón. Este manejo causa una disminución de la población de plantas, pérdida de cobertura, invasión de especies de baja condición e incremento de la susceptibilidad de las praderas a la erosión eólica (Demanet & Neira, 1996).

Tabla 2.13. Parámetros de rendimiento de *Festuca scabriuscula* Phil.

Parámetro	<i>Festuca scabriuscula</i> Phil.
Producción anual (ton MS/ha)	5,0
% Materia seca	79,3
% Material verde bms	53,0
% Material seco bms	47,0

bms: base materia seca.

Junto al manejo del fuego, la presencia de una sobre carga animal durante todo el año en la zona esteparia ha elevado los niveles de desertificación, en especial la alta presión que genera el ganado ovino y caprino (Figura 2.12).

El proceso de desertificación generado por la presión antrópica es de difícil intervención, dada la mala distribución de la propiedad, donde se ha generado un divorcio entre los propietarios de la estepa y el mallín (Demanet & Neira, 1996).



Figura 2.12. Degradación del pastizal de cordillera andina. Valle de Lonquimay, Región de La Araucanía.

Zona Templada Húmeda

La zona templada húmeda de Chile se extiende desde el sur de la Región de La Araucanía, hasta el norte de la Región de Aysén ($37^{\circ} 35' - 46^{\circ} 49' \text{ LS.}$). La superficie de praderas naturales y naturalizadas es aproximadamente de 2.242.945 hectáreas (INE, 2008), con un predominio de especies naturalizadas, entre las que destaca *Agrostis capillaris* Sibth.

Cordillera de la Costa

La sección de la Cordillera de la Costa correspondiente a la zona templada húmeda se extiende desde el sur del río Toltén ($39^{\circ} 12' \text{ LS.}$), donde la cordillera amplía su extensión generando cordones montañosos que se internan en el continente, como es el cordón Mahuidanche y Lastarrias. El ancho de la cordillera en toda su extensión fluctúa entre 10 y 25 kilómetros. El límite sur de esta zona agroecológica es la provincia de Llanquihue, comuna de Maullín ($41^{\circ} 35' \text{ LS.}$), específicamente en el río y bahía Maullín, donde se ubican las localidades de Quenuir y Lolcura.

El clima predominante corresponde a templado húmedo de verano fresco o también denominado marítimo templado lluvioso, según la clasificación de Köppen (Gastó *et al.*, 1985). Durante todo el año existe probabilidad de lluvia, en diferentes intensidades, pero con una importante concentración en el periodo de invierno.

La geomorfología de esta sección de la zona templada presenta unidades de planicie litoral de sedimentación marina y cordillera de la costa caracterizada por el activo volcanismo. Las planicies poseen profundidades variables, de acuerdo a la presión que generan sobre ellas los relieves desprendidos de la cordillera (Börgel, 1965; SERNAGEOMIN, 2003).

Esta sección es dominada por lomajes suaves o abruptos, con Ultisoles cuyo orígenes son cenizas volcánicas antiguas, caracterizadas por su alta capacidad de retención de fósforo, bajo contenido de azufre y suma de bases, además de alta acidez (Besoain, 1985). La aptitud de esta área es ganadera - forestal, con secciones planas que permiten desarrollar agricultura tradicional, donde destaca la siembra de papas (*Solanum tuberosum* L.) (Montaldo, 1974).

Existe un predominio de praderas naturalizadas donde la composición botánica difiere de acuerdo al grado de intervención que presente el ecosistema (Figura 2.13). Las especies de mayor ubicuidad son *Agrostis capillaris* Sibth, *Holcus lanatus* L., *Arrhenatherum elatius* (L.) Presl var *bulbosum* (Willd) Sbenner, *Bromus unioloides* L., *Dactylis glomerata* L., *Poa annua* L., *Lotus uliginosus* Schkuhr, *Trifolium filiformis* L., *Trifolium repens* L., *Hypochaeris radicata* L., *Plantago lanceolata* L., *Leontodon nudicaulis* (L.) Bank ex Lowe, *Prunella vulgaris* L., *Taraxacum officinale* Weber, *Rumex acetocella* L., *Anthoxanthum odoratum* L. y *Achillea millefolium* L. (Teuber, 1996), todas ellas especies de baja condición y que forman parte de los tradicionales pastizales degradados de la zona templada húmeda de Chile.



Figura 2.13. Pastizal permanente en lomaje del secano costero de la Región de Los Lagos.

La calidad bromatológica de los pastizales cambia según el estado fenológico de las especies dominantes en el momento en que es consumido el pastizal por los animales. Estudios desarrollados en esta área indican que los niveles de proteína son reducidos ($< 12\%$) y el contenido de fibra alto ($> 60\%$) (Cuevas *et al.*, 1982), valores que demuestran la baja calidad de las praderas de la zona.

La productividad de las praderas naturalizadas cambia según su ubicación (latitud), manejo nutricional, sistema de pastoreo, estado y condición. El rendimiento anual en esta sección de la zona templada es 2,5 ton MS/ha, rendimiento similar al logrado, por término medio en el sector norte de esta sección (área costera de Valdivia), frente a las 6 ton MS/ha en la sección costera de Llanquihue (Teuber, 1996).

El mejoramiento de la condición de los pastizales de la cordillera de la costa se ha circunscrito al desarrollo de programas de mejora de los niveles de fertilidad del suelo y nutrición vegetal, regulación de la carga animal y elaboración de sistemas pastoriles basados en el uso de pastoreo rotativo. La fertilización con fósforo y nitrógeno puede generar un incremento de hasta el 256% del nivel productivo anual de las praderas naturalizadas de buena condición (8,7 ton MS/ha), además de modificar la composición botánica hacia especies de mayor valor nutritivo para los animales, como son: *Holcus lanatus* L. y *Trifolium repens* L. (Teuber, 1996). La modificación de los sistemas de manejo de pastoreo y carga animal del pastizal templado costero, han originado un incremento en la carga animal y producción de carne por unidad de superficie (Goic & Matzner, 1977; Goic *et al.*, 1977).

El crecimiento del pastizal se concentra en primavera ($>60\%$), con una baja producción de invierno (8%). El aporte de verano fluctúa entre el 11 y 16% y el del otoño entre el 10 y 12%, lo que representa la curva característica de la zona templada, pero con las variaciones propias del sector (Figura 2.14).

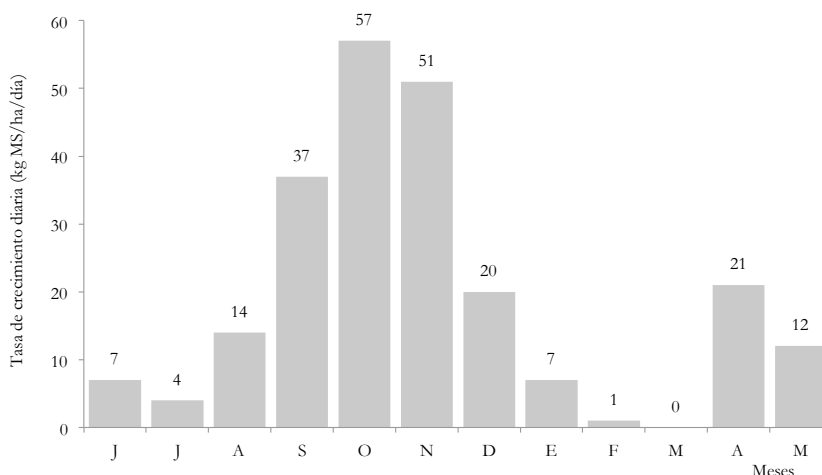


Figura 2.14. Curva de crecimiento (kg MS/ha/día), en secano costero de la Región de Los Lagos. Rendimiento anual: 7,03 ton MS/ha.

Fuente: Adaptado de Teuber (2009).

Llano central

Las principales especies que constituyen las praderas naturalizadas de esta área son gramíneas y especies latifoliadas. Las leguminosas hacen tan solo un pequeño aporte a la composición botánica de este tipo de pastizales. Entre las gramíneas destacan *Agrostis capillaris* Sibth., *Anthoxanthum odoratum* L., *Bromus valdivianus* Phil., *Bromus stamineus* Desv., *Bromus catharticus* Vahl., *Holcus lanatus* L., *Arrhenatherum elatius* (L.) Presl var *bulbosum* (Willd) Sbenner, *Poa annua* L., *Poa pratensis* L., *Dactylis glomerata* L., *Lolium perenne* L. y *Lolium multiflorum* Lam. Las especies de hoja ancha, habitualmente consideradas malezas de los cultivos, representan un aporte promedio superior a 30% a las praderas naturalizadas de esta zona y las de mayor ubicuidad son: *Hypochaeris radicata* L., *Taraxacum officinale* (L.) Weber ex F.H.Wigg., *Plantago lanceolata* L., *Rumex acetocella* L. y *Rumex crispus* L. Las leguminosas de mayor aporte son: *Trifolium repens* L. y *Lotus uliginosus* Schkuhr. (Siebald, 2001).

Estos pastizales generan un paisaje en el que se combina la presencia de especies herbáceas y bosques frondosos ubicados en laderas y áreas cercanas a cursos de agua (Figura 2.15).



Figura 2.15. Pastizal de buena condición del llano longitudinal de la Región de Los Lagos.

La diversidad florística de las praderas naturalizadas es escasa, sin embargo, permite obtener una mayor estabilidad que las pasturas. La combinación de especies naturales y naturalizadas generan un pastizal heterogéneo, capaz de tolerar ataques severos de plagas y enfermedades, cambios climáticos, déficit hídrico y pastoreos intensos y frecuentes. Además, las plantas que constituyen estos pastizales logran explorar un mayor volumen de suelo y, con ello, más nutrientes, haciendo un aporte interesante a la dieta diaria de los animales (Balocchi & López, 1996). Además, la presencia de especies del género *Lotus*, que permite la reducción de problemas de meteorismo, debido a los taninos condensados que poseen en su estructura (Bretschneider, 2010) y de *Plantago lanceolata* L., especie que posee propiedades antihelmínticas, diuréticas y antibióticas, permiten una mejor condición sanitaria de los animales (Stewart, 1996; Rumbal *et al.*, 1997).

En esta sección de la región templada se ha evaluado el efecto del déficit hídrico estival en el rendimiento de los pastizales naturales. Así, los trabajos desarrollados por Teuber (1996) demostraron una reducción de la productividad de las pasturas de 4,68 ton MS/ha, equivalente a 34% de la producción de un año normal provocada por la limitación del aporte de agua.

Precordillera andina

Esta sección de la zona templada corresponde al piedemonte de la cordillera de Los Andes, formado por lomajes suaves y colinas en posición intermedia, con extensiones de pendientes suaves y uniformes y con una altitud variable entre 100 y 300 msnm (Goic & Teuber, 1988).

Los suelos corresponden a planos deposicionales no glaciales, formados por cenizas volcánicas andesíticas y

basálticas recientemente estratificadas sobre tobas o conglomerados volcánicos. Son de profundidad superior a un metro, con buen drenaje y presencia de erosión de manto (Mella & Khüne, 1985).

El clima se caracteriza por presentar una precipitación promedio de 2.250 mm anuales, con una alta concentración en el periodo de otoño e invierno. Carece de estación seca y la mayor amplitud térmica se verifica en el mes de enero (13,3°C) y la menor ocurre en julio con 6,9°C.

La vegetación original, formada por diversas especies del género *Nothofagus*, hoy se encuentra invadida por un matorral bajo formado por *Maytenus boaria* Molina., *Aristotelia chilensis* (Molina) Stuntz, *Chusquea quila* Kunth., entre otras. En áreas de desmembración, las praderas naturalizadas se encuentran formadas por diversas especies, entre las que destacan *Agrostis capillaris* Sibth., *Holcus lanatus* L., *Anthoxanthum odoratum* L., *Dactylis glomerata* L., *Plantago lanceolata* L., *Hypochaeris radicata* L., *Trifolium repens* L., *Lotus uliginosus* Schkuhr., entre otras (Figura 2.16).



Figura 2.16. Pastizal de buena condición de la precordillera de la Región de Los Lagos.

La curva de producción de materia seca (Figura 2.17) indica que, en la precordillera andina, el pastizal logra una producción superior a 10 ton MS/ha, agrupando su rendimiento en primavera (64%). La producción de invierno es reducida al 5% y el otoño y verano aportan a la producción anual un total del 31% (Teuber, 2009).

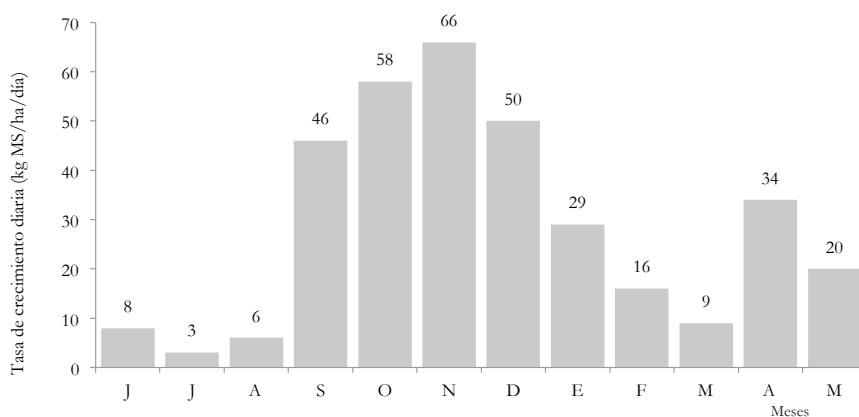


Figura 2.17. Curva de crecimiento (kg MS/ha/día) en la precordillera andina de la Región de Los Lagos.
Fuente: Adaptado de Teuber (2009).

Ecosistema ñadi

El ecosistema de ñadi se ubica en la sección central de la zona templada, entre la Cordillera de la Costa y Los Andes, bajo la línea de los lagos. Abarca desde el paralelo 39° al 43° LS, con una superficie de 424.907 hectáreas, de las cuales el 60,3% es utilizada en actividades agro-ganaderas. Corresponde a un pantano de temporada, formado por suelos planos de material fino y textura liviana (Andisol) de profundidad variable: 20 a 150 cm (Teuber, 1988).

En el perfil del suelo destaca la presencia de un *hardpan* de hierro y aluminio, que se ubica entre el suelo de origen volcánico y el sustrato glacial o fluvio glacial subyacente (Díaz *et al.*, 1958).

Las praderas presentan una baja productividad y se ubican entre mezclas con diversas especies de juncáceas cuya proporción varía entre el 10% y el 95%. Las plantas que forman las praderas son principalmente *Agrostis capillaris* Sibth., *Holcus lanatus* L., *Hypochaeris radicata* L., *Lotus uliginosus* Schkuhr. y *Trifolium repens* L. y el nivel de rendimiento no supera las 6,0 toneladas MS/ha (Teuber, 1988). En condiciones de manejo de fertilización, mejoramiento de drenaje e incorporación de especies, el rendimiento se incrementa a niveles que superan las 12 toneladas de materia seca por hectárea (Teuber, 2009).

Los ecosistemas de ñadi han experimentado en las últimas tres décadas una fuerte intervención antrópica. La necesidad de incrementar la superficie destinada a la producción ganadera ha inducido a los propietarios de estos terrenos a expandir su frontera e intervenir en forma total el ecosistema, en donde el drenaje es una obra de ingeniería absolutamente necesaria para permitir el desarrollo y persistencia de los pastizales introducidos. Estos terrenos, son cada vez más importantes en la zona templada y su intervención ha permitido desarrollar áreas de pastoreo y corte (Figura 2.18).



Figura 2.18. Ecosistema de ñadi intervenido para establecimiento de pasturas permanentes.

El desarrollo de los pastizales, una vez eliminada la vegetación natural de este tipo de ecosistema, se sustenta sólo cuando se elaboran obras de drenaje adecuadas que permiten evacuar el exceso de agua que sobresatura el suelo, especialmente en el periodo de mayo a septiembre. La habilitación de estos suelos se basa en la disminución del exceso de agua en superficie y en el perfil del suelo, con el objetivo de mantener las condiciones adecuadas de aireación y humedad necesarias para el desarrollo de las actividades fisiológicas y de crecimiento de las raíces de las plantas.

Los pastizales que se desarrollan en un suelo ñadi presentan una marcada estacionalidad, con tasas de crecimiento inferiores a 7 kg MS/ha/día en los meses de invierno y superiores a 80 kg MS/ha/día en primavera (Figura 2.19). Una diferencia importante de este ecosistema respecto a los antes descritos, es su producción de verano, periodo que hace una contribución a la producción anual cercana al 30% (Torres *et al.*, 1992; Teuber, 2009).

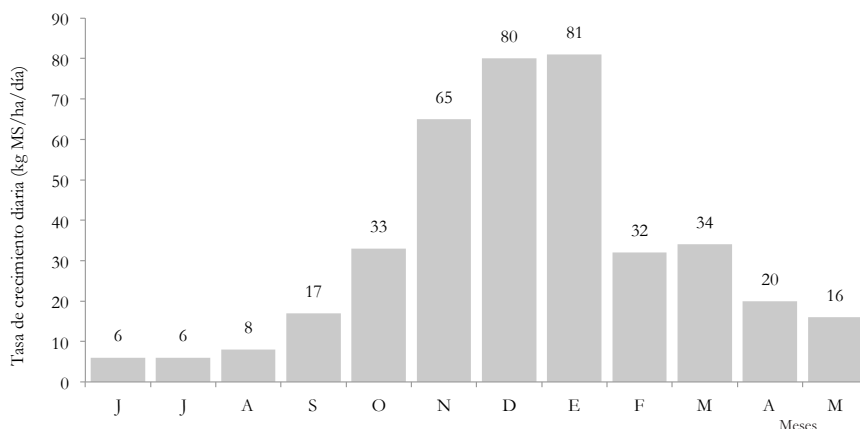


Figura 2.19. Curva de crecimiento (kg MS/ha/día) en dos suelos ñadis de la zona templada. Región de Los Lagos.
Fuente: Adaptado de Teuber (2009).

Isla de Chiloé

El Archipiélago de Chiloé está ubicado al sur de Chile, en la latitud $41^{\circ}48' - 43^{\circ}42'$ Sur y longitud $74^{\circ}23' - 72^{\circ}56'$ Oeste. Su clima es templado y lluvioso. La corriente de Humboldt, que pasa cerca de sus costas, condiciona temperaturas más frías de lo que corresponde a su latitud, especialmente en el invierno.

Las praderas naturalizadas, están conformadas por la asociación de gramíneas, como *Agrostis capillaris* Sibth. y *Holcus lanatus* L., especies de hoja ancha como *Hypochaeris radicata* L., *Plantago lanceolata* L., *Rumex acetocella* L. y *Dichondra repens* J.R.Forst. & G.Forst. (Segarra & Rayo, 1990), leguminosas dominadas por *Lotus uliginosus* y la especie invasora *Ulex europaeus* L. que irrumpe en los suelos disminuyendo la superficie de pastoreo disponible (Barría *et al.*, 2008).

La ganadería se desarrolla en un ambiente familiar de sobrevivencia, donde el grupo componente de la familia vive en el campo y desarrolla las labores relacionadas con la producción bovina de leche y carne ovina y bovina (Barría *et al.*, 2008; Díaz *et al.*, 2010).

Las condiciones de humedad de verano, permiten que estas praderas presenten un interesante rendimiento durante el periodo estival, con tasas de crecimiento de 10 kg MS/ha/día, lo que representa el 18% de la producción total del año (Figura 2.20).

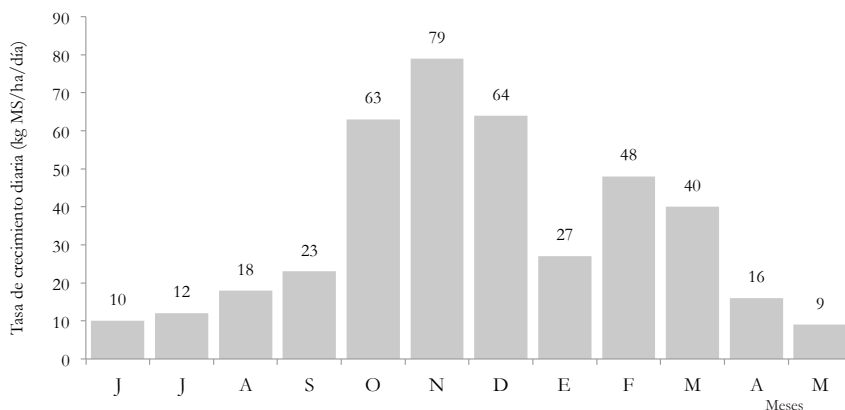


Figura 2.20. Curva de crecimiento (kg MS/ha/día) de pradera de la isla de Chiloé. Región de Los Lagos.
Fuente: Adaptado de Teuber (2009)

Atributos de las praderas naturales y naturalizadas

Los pastizales naturales del área templada han experimentado un permanente grado de disminución de la productividad generada por el desprecio con que han sido tratados a través de los años. No se ha valorado su diversidad, estabilidad y resiliencia y su presencia se ha relegado a instancias de utilización extrema o subutilización, lo que no ha permitido a estos ecosistemas expresar su potencial productivo.

La investigación generada en el país ha sido suficiente para definir el potencial productivo de los pastizales naturales y naturalizados. Sin embargo, el traspaso de esta información al sector productivo ha sido poco efectivo y no ha logrado convencer a los usuarios de las ventajas en términos de estabilidad, diversidad y productividad que poseen los pastizales naturales y naturalizados de la zona templada.

Dependiendo del área, el nivel de rendimiento que es factible lograr con estos pastizales supera en, al menos, un 50% a la producción actual, alcanzando niveles extremos de hasta un 300% en el rendimiento anual de las praderas. Asociado a este incremento de producción se encuentra la estabilidad y diversidad florística, que permite obtener dietas balanceadas en sistemas pastoriles de la zona.

El desafío de la investigación y de la extensión de los resultados que se obtienen en este ámbito de la producción es sin duda la generación de protocolos de uso de las praderas naturales que indiquen en forma simple y convincente, los atributos que tiene el uso de este tipo de alimentación para el ganado en pastoreo. La mayor estabilidad de estas praderas procede de su diversidad y adaptación a condiciones extremas de sequía e inundación, así como su mayor tolerancia a plagas y enfermedades comunes en las praderas de la zona templada. Así las praderas naturales pueden superar la productividad, calidad y persistencia de las pasturas exóticas que habitualmente se establecen en esta zona.

Bibliografía

- Balocchi, L.O. & López, C.I., 1996. Especies pratenses nativas y naturalizadas del sur de Chile. En: Latrille L. (ed). Producción Animal. Serie B-19. Universidad Austral de Chile, p. 65-80.
- Barria, B.K., Vera, O.B. & Cortés B.M., 2008. Caracterización socioeconómica y productiva de un grupo de agricultores de Chiloé adscritos al programa plantel animal bajo control oficial. *Agro Sur* 36: 27-42.
- Besoain M., E. 1985. Los Suelos. En: Tosso, T.J. (ed). Suelos volcánicos de Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Ministerio de Agricultura, Santiago Chile. pp: 25-108
- Börgel, R. 1965. Mapa geomorfológico de Chile. Descripción geomorfológica del territorio. Central de Publicaciones de Periodismo. Universidad de Chile. 35 p.
- Bretschneider, G., 2010. Una actualización sobre el meteorismo espumoso bovino. *Archivos de Medicina Veterinaria* 42: 135-146
- Catrileo, S.A., 2005. Producción y manejo de carne bovina en Chile. Colección libros INIA, N° 16. Instituto de Investigaciones agropecuarias, Ministerio de Agricultura. Imprenta Austral. Temuco, Chile. 649 p.
- Cuevas, E., Balocchi, L.O., Anrique, R. & Jorquera, M. 1982. Valor nutritivo de las principales especies de una pradera permanente de la X Región. I. Proteína y pared celular. *Agro Sur* 10:79-83.
- Demanet, F.R. & Contreras, D.R. 1988. Pradera naturalizada en la precordillera. *Investigación y Progreso Agropecuario-Carillanca (INLA)*, Temuco. 7: 2-6.
- Demanet, F.R. & Neira, R.L. 1996. Zona de Pastizales de Chile. Publicación Docente N° 1. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales. Departamento de producción Agropecuario. Universidad de La Frontera. Temuco, Chile. 100 p.
- Demanet, F.R. & Romero, Y.O. 1988. La pradera en la precordillera andina de la Región de La Araucanía (IX Región). En: Ruiz, N.I. (Ed.). Praderas para Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Ministerio de Agricultura, Santiago. p: 539-550.
- Demanet, F.R., Contreras, D.R. & Campillo, R.R. 1991. La pradera natural en el secano costero. *Investigación y Progreso Agropecuario-Carillanca (INLA)*, Temuco. 10: 31-36.
- Díaz, C., Alcayaga, S., Avilés, C., Aranda, G., Ascui, P., Besoain, E., Funes, M., Narbona, M., Pesce, D. & Mella, A., 1958. Estudio sobre habilitación de los Nadis o suelos húmedos del Departamento de Puerto Varas (1954). *Agricultura Técnica (Chile)* 18:412-486.
- Díaz, G.I., Mansilla, M., Nahuelhual, L. & Carmona, A., 2010. Caracterización de la subdivisión predial e la comuna de Ancud, Región de Los Lagos, Chile, entre los años 1999 y 2008. *Agro Sur (Chile)* 38: 19-29.
- Fuentes, B., Mora G.M.L., Bolan, S.N. & Naidu, R. 2008. Assessment of phosphorus bioavailability from organic wastes in soil. In: Naui, R. (ed.) Developments in Soil Science, Volume 32, Chapter 16. pp: 363-411.
- Gastó C., J., Gallardo S., A. & Contreras T., D., 1985. Caracterización de los pastizales de Chile. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile. 292p.
- Gasto, C.J., Gallardo, S. & Contreras, D., 1985 Caracterización de los pastizales de Chile. Proyecto 1085-84 Conicyt. Santiago, Chile. 139 p.
- Gasto, J., Gallardo, S. & Contreras, D. 1987. Caracterización de los pastizales de Chile. Reinos, Dominios y Provincias. Sistemas en agricultura. Teoría - Avances. Santiago, Chile. 282 p.

- Goic, M.L. & Matzner, K.M. 1977. Distribución de la producción de materia seca y características de tres regiones de la zona de las lluvias. *Avances en Producción Animal* 1: 23-32.
- Goic, M.L. & Teuber K.N. 1988. La pradera en la precordillera andina de la X Región (Valdivia-Llanquihue). En: Ruiz, N.I. (Ed.). Praderas para Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Ministerio de Agricultura, Santiago. pp: 616 - 621.
- Goic, M.L., Becker, F. & Matzner, K.M., 1977. Pastoreo continuo y rotativo con ovejas en suelos arcillosos de la zona sur. *Avances en Producción Animal* 1: 33-36.
- Hoffmann, A.J. 2005. Flora silvestre de Chile, Zona Araucana: Árboles, Arbustos y Enredaderas Leñosas. Quinta Edición. Ediciones Fundación Claudio Gay- Santiago, Chile. 257 p.
- Honorato, R. & Olmedo, N. 1985. Caracterización evolutiva de cinco series de suelos rojos-arcillosos de la central sur de Chile. *Ciencia e Investigación Agraria* 12: 90-104
- Houdijka, J.G.M., Kyriazakis, I., Kidanea, A. & Athanasiadou, S. 2012. Manipulating small ruminant parasite epidemiology through the combination of nutritional strategies. *Veterinary Parasitology* 186: 38– 50.
- IGM. Instituto Geográfico Nacional. 2008. Atlas Mundial. Impreso en Instituto Geográfico Nacional, Santiago, Chile. 156 p.
- INE. Instituto Nacional de Estadísticas, 2008. Resultados Censo Agropecuario Año 2007. <http://www.censoagropecuario.cl>.
- INE. Instituto Nacional de Estadísticas, 2011. Producción Pecuaria. Informe Anual 2005 – 2010. Santiago, Chile. 61p.
- IREN-CORFO. Instituto de Investigaciones de Recursos Naturales – Corporación de Fomento, 1970. Estudio integrado de los recursos naturales. Provincia de Cautín. Informe 29, Tomo II. Descripción de Suelos. Santiago, Chile. 190 p.
- Kareiva, P.M. & Bertness, M. D., 1997. Re-examining the role of positive interactions in communities. *Ecology* 78, 1945.
- Mella L., A. & Khüne G., A., 1985. Sistemática y descripción de las familias, asociaciones y series de suelos derivados de materiales piroclásticos de la zona central sur de Chile. En: Tosso, T.J.(ed). Suelos volcánicos de Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Ministerio de Agricultura, Santiago. pp: 549 - 712
- Montaldo B.P. 1974. Regiones Ecológicas del Cultivo de la Papa (*Solanum tuberosum*) en Chile. *Agro Sur* 2: 25-27.
- Moss R.A. & Vlassoff, A., 1993. Effect of herbage species on gastro-intestinal roundworm populations and their distribution. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 36: 371-375.
- Myers, N., Mittermeier A.R., Mittermeier, G.C., Da Fonseca, G.A.V. & Kent, J., 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853-858.
- Richardson M.D., Allsopp, N., D'antonio, M.C., Milton, J.Z. & Rejmánek, M., 2000. Plant invasions - the role of mutualisms. *Biol. Rev.* 75: 65-93.
- Roberts, R.C. & Díaz, C., 1960. Los grandes grupos de suelos de Chile. *Agricultura Técnica (Chile)*. Años XIX – XX: 7-36
- Romero, Y.O. & Demanet, F.R., 1987. La pradera de secano de los suelos rojo-arcillosos de la IX Región. *Investigación y Progreso Agropecuario-Carillanca (INLA)*, Temuco. 6: 2-4.
- Rouanet M. J.L., 1982. Áreas agroecológicas determinantes del sistema de producción agropecuario. *Investigación y Progreso Carillanca (INLA)*. 1: 17-21.
- Rouanet, M.J.L., Romero, Y.O. & Demanet F.R., 1988. Áreas agroecológicas de la IX Región. Descripción. *Investigación y Progreso Agropecuario-Carillanca (INLA)*, Temuco. 7: 18-23.
- Ruiz, I., 1996. Praderas para Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Ministerio de Agricultura. Segunda Edición. Santiago, Chile. 734 p.
- Rumbal, W., Keog, R.G., Lane, G.E., Miller, J.E. & Claydon, R.B., 1997. "Grassland Lancelot". *New Zealand Journal of Agricultural Research* 40:373-377.
- Segarra, F. & Rayo, G., 1990. Situación actual y perspectivas del sector campesino en Chiloé. Agraria. Santiago. 99 p.
- SERNAGEOMIN. Servicio Nacional de Geología y Minería, 2003. Mapa Geológico de Chile: Versión digital. Publicación geológica digital, No. 4, 2003. CD-ROM, versión 1.0, 2003. Base Geológica escala 1:1.000.000. Santiago, Chile.
- Siebold, Sch. E., 2001. Mejoramiento de Praderas Naturalizadas. En: Opazo, R.L.; Torres, B.A. & Siebold, Sch.E. Hacia un Nuevo Estilo Productivo. Seminario de Praderas. Serie de Actas N° 9. Centro Regional Remehue INIA, Ministerio de Agricultura. Osorno, Chile. pp: 2-9.
- Stewart, V.A., 1996. Plantain (*Plantago lanceolata*) a potential pasture species. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association* 58:77-86.
- Teuber, K.N., 1988. La pradera de los suelos Nadi de la X Región. En: Ruiz, N.I. (Ed.). Praderas para Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Ministerio de Agricultura, Santiago. pp: 546 - 553.
- Teuber, K.N., 1996. La pradera en la costa de la X Región (Valdivia Llanquihue). En: Ruiz, N.I. (Ed.). Praderas para Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Ministerio de Agricultura, Santiago. pp: 580 - 589.
- Teuber, K.T., 2009. Praderas permanentes en las zonas lecheras de Chile. Curvas de crecimiento, distribución y producción. Consorcio Lechero, Inia. Osorno, Chile. 62p
- Torres, A., Goic, L., Navarro, H. & Siebold, E., 1992. Curvas de crecimiento de la pradera naturalizada y mejorada de los suelos Nadi. Sociedad Chilena de Producción Animal (SOCHIPA). XVII Reunión Anual, Chillan, Chile pp: 12.
- Universidad de Chile, 1980. Atlas de potencialidades. Estudio de potencialidades de desarrollo de la IX Región. Laboratorio de Geografía, Universidad de Chile, Temuco, hile. 189p
- Wright, C.H.A., 1965. The volcanic ash soil of Chile. Report to the government of Chile. FAO (Roma). Rep. N° 2017. 201p
- Zunino, H. & Borie, F., 1985. Materia Orgánica y procesos en suelos alofánicos. En: Tosso, J. (ed.) Suelos Volcánicos de Chile. Ministerio de Agricultura, Edición del Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Capítulo 5. Santiago, Chile. pp: 435-490.

Capítulo III
Pasturas de la zona templada
Especies gramíneas

Rolando Demanet Filippi

Contendio

Introducción	78
<i>Lolium multiflorum</i> Lam. var. <i>Westernvoldicum</i> (ballica anual)	79
<i>Lolium multiflorum</i> Lam. var. <i>Italicum</i> (ballica bianual)	83
<i>Lolium</i> × <i>boucheanum</i> Kunth syn. <i>Lolium</i> × <i>hybridum</i> Hausskn (ballica híbrida)	86
<i>Lolium rigidum</i> (Gaudin) Weiss ex Nyman (ballica anual de resiembra)	90
<i>Lolium perenne</i> L. (ballica perenne)	92
<i>Festuca arundinacea</i> Schreber (festuca)	104
<i>Dactylis glomerata</i> L. (pasto ovillo)	110
<i>Bromus</i> spp (bromo)	114
<i>Phalaris aquatica</i> L. (falaris)	117
<i>Phalaris arundinacea</i> L.	120
<i>Phleum pratense</i> L. (thimoty, fleo)	122
<i>Arrhenatherum elatius</i> (L.) P.Beauv. ex J.Presl & C.Presl (fromental)	123
<i>Holcus lanatus</i> L. (pasto miel, pasto dulce)	125
<i>Agropyron</i> spp. (agropiro)	126
Mezclas polifíticas	128
Bibliografía	130

Introducción

Las praderas y pasturas de la zona templada de Chile han sido estudiadas desde comienzos del siglo pasado, considerando que son la opción más adecuada para la alimentación del ganado. Diversas instituciones e investigadores han trabajado en la búsqueda y descripción de los niveles productivos y en la cuantificación del comportamiento de estos ecosistemas, además en la introducción de nuevas especie y tecnologías de producción de forraje, cuyo principal objetivo ha sido incrementar la productividad y modificar la curva de crecimiento de los pastizales nativos y naturalizados.

Las pasturas permanentes de la zona templada de Chile, corresponden a una comunidad vegetal polifítica en donde dominan las especies *Lolium perenne* L. y *Trifolium repens* L. Ambas fueron introducidas en el país en el periodo de la colonización europea y experimentaron un fuerte desarrollo con la incorporación de cultivares importados desde Nueva Zelanda desde fines de la década de los 50 del siglo pasado. Hoy estas especies son parte de la mayoría de las pasturas de la zona templada.

Las pasturas, formadas por especies exóticas, habitualmente son nombradas asociadas a un adjetivo calificativo, que considera alguna característica de la pastura mencionada. Así, de acuerdo a la composición, las pasturas se califican como: artificiales, introducidas, sembradas, regeneradas o mixtas; según su longevidad: anuales, de rotación corta, de rotación larga, de resiembra anual, permanentes o perennes; según su ubicación: desérticas, templadas, húmedas, de precordillera, de cordillera, de sabanas, de dehesas, sub tropicales o marginales; según el acceso al agua: secano, riego, sub acuática o hidromórfica; según el suelo donde se desarrollan: ácidas, alcalinas, salinas, graníticas, rojo arcillosas, volcánicas u orgánicas; según el uso: pastoreo, corte, pastoreo y corte, suplementarias, uso invernal o uso estival; según la calidad: mala, buena, regular o excelente. Todas estas denominaciones están incluidas en el concepto de pastura que, en Chile, en el léxico cotidiano no considera la denominación de pastura, sino la de pradera.

Las especies exóticas, que se introdujeron para generar pasturas permanentes, es posible considerarlas invasoras, dado que se han naturalizado y han sido capaces de generar descendencia en diferentes sitios del área (Daehler, 1998; Catford *et al.*, 2012), pero han carecido de agresividad, dado que se ubican en una posición secundaria cuando son sometidas a diferentes condiciones de estrés: carencia de nutrientes, déficit hídrico o uso frecuente e intenso.

La degradación de las pasturas de *Lolium perenne* L. y *Trifolium repens* L. condujo a la necesidad de explorar otras opciones que fueran tolerantes a las condiciones de estrés que generaban esta pérdida de población y cobertura de las pasturas. Así se inició el uso y desarrollo de otras especies que estaban presentes en los pastizales, pero que no se consideraban importantes en los sistemas más intensivos de producción ganadera. Las especies a las que se les concedió mayor importancia como opciones de reemplazo de *Lolium perenne* L. en áreas donde esta especie era débil y no podía competir con las especies naturales y naturalizadas fueron: *Festuca arundinacea* Schreb (festuca), *Dactylis glomerata* L. (pasto ovillo), *Bromus spp.* (bromo), *Phleum pretense* L. (timothy), *Arrhenatherum eliatius* (L.) P.Beauv. ex J.Presl & C.Presl (fromental) y *Phalaris aquatica* L. (falaris).

Las forrajeras de mayor importancia en la zona templada de Chile, son aquellas que poseen un ciclo permanente. Entre ellas destacan: *Lolium perenne* L., *Festuca arundinacea* Schreb, *Dactylis glomerata* L. y *Bromus spp.*, entre otras. Además, existe un importante aporte de las especies de rotación que son aquellas cuya persistencia es inferior a cinco años. Entre estas destacan *Lolium multiflorum* Lam var. *westernwoldicum*, *Lolium multiflorum* Lam. var. *Italicum* y *Lolium multiflorum* Lam $\times$ *Lolium perenne* L., entre otras.

Las especies gramíneas son especies predominantes en los sistemas pastoriles de la zona templada. Entre las 7.500 especies gramíneas que se han descrito en el mundo (Langer, 1973), solo unas pocas se han utilizado en el desarrollo de pasturas destinadas a producción animal y su mejoramiento se ha basado en la productividad y calidad bromatológica.

Las gramíneas forrajeras corresponden a un grupo de especies que poseen diferente longevidad, habito de crecimiento y ploidía entre otras características que las diferencian y que permiten utilizar este tipo de especies en los sistemas ganaderos pastoriles y de corte para soiling y conservación de forraje.

Una de las clasificaciones más utilizadas para agrupar este tipo de especies es la referida a la longevidad. Así tenemos especies de rotación corta, cuya vida útil es inferior a tres años, y que incluyen las especies anuales y bianuales. Las especies de rotación larga corresponden a aquellas que poseen una longevidad superior a tres años, con una persistencia máxima de cinco años. Las especies perennes son aquellas que poseen una permanencia activa de cinco o más años, incluyen la mayoría de las especies gramíneas utilizada en los sistemas pastoriles. Un grupo de menor importancia para la zona templada corresponde a las especies de resiembra anual, que corresponden a aquellas que cumplen su ciclo anualmente y logran generar una nueva pastura a través de su resiembra natural.

***Lolium multiflorum* Lam. var. *Westerwoldicum* (Ballica anual)**

Especie de la familia Poaceae, sub familia Pooideae, tribu Poae, sub tribu Loliinae y género *Lolium* (Wheeler *et al.* 2002), posee una longevidad de un año y se caracteriza por presentar un rápido establecimiento buena producción y excelente calidad de forraje (Figura 3.1). Corresponde a una especie introducida de Europa y se encuentra ampliamente distribuida en el país especialmente en la zona templada.



Figura 3.1. *Lolium multiflorum* Lam. var. *Westerwoldicum* (Ballica anual)

Es una planta de crecimiento erecto de hojas de color verde intenso, glabras con un haz plano, uniformemente acanalado y envés liso y brillante. Las hojas juveniles se enrollan en la yema de los tallos, con aurículas pequeñas, estrechas de tipo garra y lígula blanca traslúcida más corta que ancha. La vaina que envuelve al tallo es fina, glabra y cilíndrica. La inflorescencia corresponde a una espiga delgada, comprimida, erecta e inclinada de color verde. Sus espiguillas son sésiles, oblongas, comprimidas, con barbas, sobrepuestas en toda su longitud o más separadas, de 8 a 25 mm de largo, 5 a 15 florecillas. La raíz es fibrosa y superficial (Lambrechtsen, 1992; Langer, 1994)

En siembra sola, o asociada a cereales de grano pequeño, genera un buen volumen de forraje para utilización temprana de otoño e invierno. Logra un rendimiento superior a *Lolium perenne* L. en el total del año. Durante el invierno es destinada a pastoreo y en primavera a la conservación de forraje (Muslera & Ratera, 1991; Demanet, 2008; Demanet, 2014; Stewart *et al.*, 2014).

En la zona templada esta especie se establece a fines de verano e inicios de otoño (febrero – marzo), sola o asociada a avena. Para lograr el objetivo de someter a esta pastura a un pastoreo invernal intenso, se utiliza el sistema de cero labranza sin remoción del suelo como sistema de siembra. Con esta forma de establecimiento, se logra mantener durante el periodo de uso invernal un piso firme que evita la destrucción de la pastura. En siembras cero labranza, con presencia de alto residuo orgánico, es posible que se produzcan ataques de babosas (*Deroceras reticulatum* Müller) en las primeras etapas de la emergencia de las plántulas. Estos, deben de ser controlados con la aplicación de molusquicidas en formulación granular.

La producción de invierno es muy sensible a la época de siembra. El retraso en el establecimiento durante verano - otoño, puede generar una reducción de la producción invernal superior a 3 ton MS/ha (Figura 3.2).

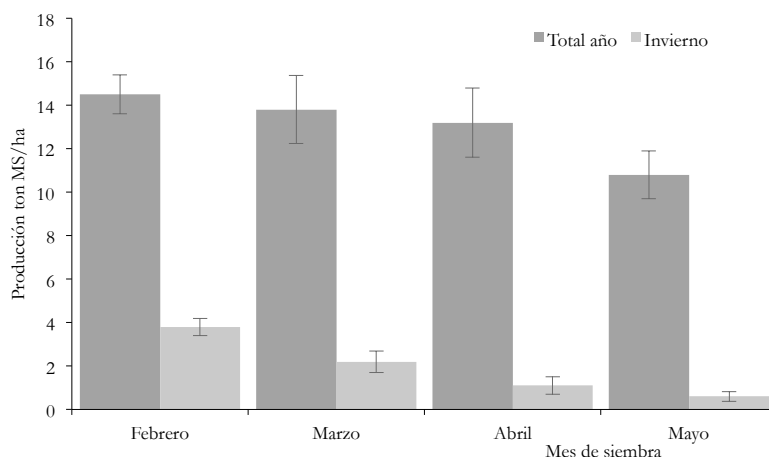


Figura 3.2. Efecto de la época de siembra en el rendimiento invernal y anual (ton MS/ha) de *Lolium multiflorum* Lam. var. *Westervoldicum*. Coeficiente de variación: 8,37%

La dosis de semilla a emplear es 30 kg/ha en ballicas diploides y 35 kg/ha en ballicas tetraploides, en siembras de cero labranza. En establecimiento convencional con preparación de suelos, la dosis se reduce a 25 kg/ha en diploides y 30 kg/ha en tetraploides. Un factor determinante en el rendimiento de esta pastura es la calidad de la semilla. Antes de sembrar se debe verificar el origen y calidad de la semilla. Usar semilla de mala calidad puede generar una reducción superior al 40% en el rendimiento anual de la pastura.

Con el objetivo de lograr un producto diferenciador, las compañías productoras, distribuidoras y comercializadoras de semillas forrajeras han desarrollado mezclas de cultivares, con las que intentan ofrecer un producto con características diferentes a los de los componentes individuales. Estas mezclas, en algunos casos, logran generar una producción entre un 2% y un 5% superior a la de los cultivares sembrados individualmente, producto de la sinergia que genera esta asociación. Además, la mezcla permite tener una mayor diversidad, lo que podría ser útil bajo condiciones de estrés hídrico, temperatura o mal uso de la pastura durante su ciclo productivo (Demanet, 2014).

Con el objetivo de adelantar la utilización otoñal o invernal de la pastura en al menos 15 días, ésta especie se establece con avena, trigo o triticale de ciclo primaveral. En siembras asociadas con estos cereales, la dosis de semilla de ballica se mantiene y se adicionan 80 kg de *Avena sativa*/ha ó 40 kg de *Avena strigosa*/ha. Al ser reemplazada la avena por triticale o trigo de hábito primaveral la dosis de semilla de estos cereales debe ser 80 kg/ha. En establecimientos asociados con *Avena sativa* L., el aporte de los componentes cambia según avanza la temporada, con niveles mínimos de aporte del cereal (< 5%) en primavera (Figura 3.3).

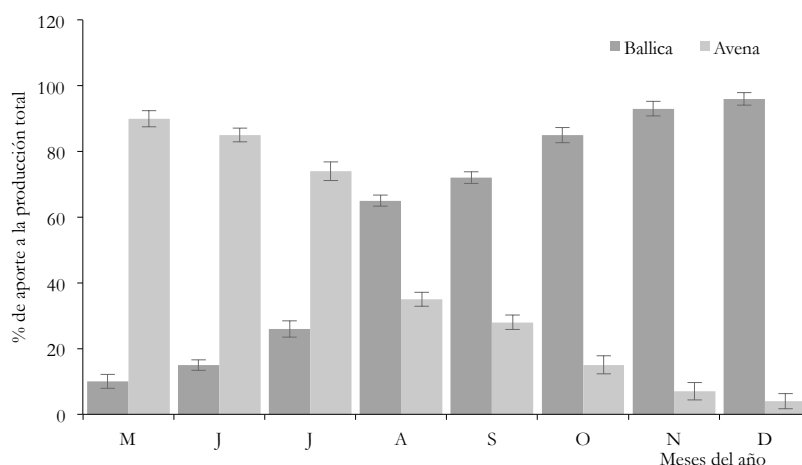


Figura 3.3. Aporte porcentual de los componentes de la mezcla *Avena sativa* L. - *Lolium multiflorum* Lam. var. *Westervoldicum*. Coeficiente de variación: 8,77%

Los cultivares comercializados en el país provienen de Europa, Nueva Zelanda y Argentina. La mayoría es tetraploide (solo uno es diploide), no poseen hongos endófitos, presentan diferente fecha de floración y buen contenido de carbohidratos solubles. En su máxima expresión de crecimiento, las hojas son anchas y de color verde intenso, lo que permiten obtener un forraje de alta calidad. En cinco años de evaluación en condiciones de secano, se midieron 16 cultivares. El mayor rendimiento de materia seca se obtuvo en el año 2002 con 15,51 ton MS/ha, estadísticamente similar a los años 2003 y 2012 (Tabla 3.1). El cultivar KLM 968 M alcanzó la mayor producción con 15,35 ton MS/ha, valor que fue estadísticamente similar a otros nueve cultivares, entre los cuales se encuentra el cultivar tetraploide Tama, que durante más de 35 años ha permanecido en el mercado nacional y ha sido utilizado como testigo en los ensayos de evaluación de esta especie (Tabla 3.2).

Lolium multiflorum Lam. var. *Westervoldicum* se utiliza en pastoreo, *soiling* y corte para ensilaje, henilaje o heno. El manejo de pastoreo se realiza con cerco eléctrico en franjas, para evitar pérdidas en la producción. La intensidad de pastoreo es diferente a la que se emplea con *Lolium perenne* L. y se recomienda siempre dejar un residuo de entre 7 y 10 cm de altura sin disturbar, con el objetivo de lograr una mayor velocidad de recuperación post corte.

Tabla 3.1. Rendimiento promedio anual de *Lolium multiflorum* Lam. var. *Westervoldicum* en el secano de la zona templada de Chile. Años 2001, 2002, 2003, 2009 y 2012.

Año	Producción (ton MS/ha)
2002	15,51 a
2012	14,36 ab
2003	13,54 ab
2009	11,90 bc
2001	10,85 c

Medias que no comparten una letra en común son diferentes según Prueba de Tukey ($p > 0,05$)

Coeficiente de variación: 12,82%

Tabla 3.2. Rendimiento promedio (ton MS/ha) de 16 cultivares de *Lolium multiflorum* Lam. var. *Westewoldicum* en el secano del área templada de Chile. Temuco. Años 2001, 2002, 2003, 2009 y 2012.

Cultivares	Producción (ton MS/ha)
KLM 968 M	15,35 a
Montblanc	15,00 ab
Domino	14,92 ab
Galaxy	14,72 abc
KLM 966 G	14,45 abcd
GRAE 11	13,63 abcde
Winter Star	13,23 abcde
GRAI 06	12,86 abcde
Tama	12,62 abcde
Bill Max	12,62 abcde
Andy	12,56 bcde
Pelotón	12,24 bcde
Adrenalina	12,23 bcde
Barturbo	12,12 bcde
Major	12,05 bcde
Winter Star II	11,12 e

Medias que no comparten una letra en común son diferentes según Prueba de Tukey ($p > 0,05$)

Coefficiente de variación: 15,03%

Además del pastoreo invernal, esta pastura hace un importante aporte como forraje, en especial ensilaje, que se elabora en la primavera de cada año. El nivel de rendimiento que es posible alcanzar en el corte de ensilaje supera las tres toneladas de materia seca por hectárea y su calidad es óptima cuando se cosecha en estado de bota o en plena aparición de espiga. En estas condiciones, el ensilaje se realiza bajo la modalidad de premarchitamiento (deshidratado) con aplicación de aditivos biológicos. Estos contienen en su formulación *Lactobacillus plantarum* y *Lactobacillus buchneri*, aumentando así la carga de bacterias que producen la fermentación ácido láctica y reduciendo el impacto aeróbico que se genera en los ensilajes, una vez que son abiertos para su utilización.

Las características de los cultivares son diversas y determinan que en un mismo estado fenológico las plantas posean diferente valor nutritivo. Existe una gran diferencia entre los cultivares tetraploides y diploides y los que presentan alto o bajo contenido de carbohidratos solubles. En estado vegetativo las plantas poseen un nivel de proteína del 18 al 28%, 2,5 a 2,7 Mcal/kg de energía metabolizable, una digestibilidad superior al 70% y una FDN entre 36 y 45% (Demanet, 2014).

Estudios realizados por Anrique *et al.* (2008) indican el buen valor nutritivo que posee esta especie en el periodo invernal, ya que logra obtener un nivel de proteína superior a 23% y un contenido de energía metabolizable de 2.8 Mcal/kg (Tabla 3.3).

Tabla 3.3. Calidad bromatológica de *Avena sativa* L. y la asociación *Lolium multiflorum* Lam. var. *Westewoldicum* + *Avena sativa* L. evaluada en el periodo de invierno en la zona templada de Chile.

Parámetro	Avena	Ballica + Avena
Materia seca (%)	13,81	12,05
Cenizas totales (%)	10,62	11,42
Proteína cruda (%)	19,87	23,24
Fibra cruda (%)	22,64	24,22
FDA (%)	23,96	29,90
FDN (%)	40,37	44,03
Energía metabolizable (Mcal/kg)	2,89	2,81
Extracto etéreo (%)	3,68	2,66
Calcio (%)	0,38	0,62
Fósforo (%)	0,32	0,40
Magnesio (%)	0,15	0,42

Fuente: Anrique *et al.*, 2008

***Lolium multiflorum* Lam. var. *Italicum* (ballica bianual)**

Perteneciente a la familia Poaceae, sub familia Pooideae, tribu Poeae, sub tribu Loliinae y género *Lolium*, corresponde a una especie de ciclo bianual de rápido crecimiento inicial y es utilizada en reemplazo de *Lolium multiflorum* Lam. var. *Westervoldicum*, ya que cumple el mismo objetivo productivo y ha logrado rendimientos similares que, en algunos casos, son incluso superiores a los cultivares anuales en el año de establecimiento (Muslera & Ratera, 1991; Langer, 1994; Demanet, 1994; Demanet, 2014).

Según la localidad, humedad del suelo y objetivo de la pastura, esta especie puede ser sembrada en dos periodos muy bien definidos: febrero – marzo o agosto – septiembre. En el momento de la siembra la temperatura de suelo debe ser superior a 8°C en ambos casos la humedad suficiente que permita la germinación de al menos el 70% de las semillas sembrada en el primer mes post siembra con el objetivo de lograr una población inicial superior a 700 plantas por metro cuadrado. En estas condiciones, es posible lograr una alta densidad de la pastura, en sus primeros estados de desarrollo y una buena competencia con las especies residentes (Muslera & Ratera, 1991; Demanet, 2014)

Al igual que las ballicas de comportamiento anual, la siembra de *Lolium multiflorum* Lam. var. *Italicum*, se realiza en sistema de cero labranza, con el objetivo de contar con un suelo firme en las primeras utilizaciones bajo pastoreo. Las siembras con roturación y movimiento de suelo, generan en invierno problemas de destrucción de la pastura y pérdida de plantas y rendimiento. En siembras cero labranza con alta cantidad de residuos orgánicos, es posible que se produzcan ataques de babosas en las primeras etapas de emergencia de las plántulas. Estos pueden ser controlados mediante la aplicación de molusquicidas en formulación granular, que se asperjan sobre la pastura. En siembras con roturación de suelo (convencional), tiene un papel fundamental el paso de rodón antes y después de la siembra, ya que aminora los problemas generados por los primeros pastoreos.

Esta especie puede ser sembrada sola y en mezcla con avena y *Trifolium pratense* L. La mezcla se establece en otoño, en áreas de secano. En sectores de riego y áreas de primavera y verano templado se establecen también en el mes de septiembre, pero sin la inclusión de avena.

La presencia en el mercado de semillas con diferente tamaño y peso (diferente número de semillas por kilo) genera que las dosis de semilla cambien según sean ballicas diploides (semillas pequeñas) o ballicas tetraploides (semillas grandes). Cuando se siembra sola la dosis de semilla fluctúa entre 25 y 30 kilos/ha según el tamaño de la semilla. En asociación con avena y trébol rosado la dosis de ballica se mantiene y se incorporan 40 a 60 kilos de semilla de avena/ha y 10 kilos de semilla de trébol rosado/ha (Demanet, 2014).

Los cultivares que son utilizados en la zona templada de Chile corresponden a tipos de crecimiento erecto, diploides y tetraploides, y con floración precoz e intermedia (Figura 3.4) (Demanet, 2013; Demanet, 2014).



Figura 3.4. *Lolium multiflorum* Lam. var. *Italicum* (Ballica bianual)

Uno de los factores que limita el crecimiento, producción y persistencia de los materiales que se utilizan en el país es la sensibilidad de las plantas a la acidez de los suelos. La baja tolerancia a las condiciones de pH ácido y alto contenido en aluminio limita el desarrollo radical reduce la presencia de pelos radicales e impide la correcta exploración del suelo por las raíces, generando raíces gruesas y escasas incapaces de absorber los nutrientes disponibles en la solución del suelo. Los cultivares poseen una respuesta diferente a la concentración elevada de aluminio, alcanzando en algunos casos niveles de reducción del tamaño radical cercanos al 50% (Figura 3.5).

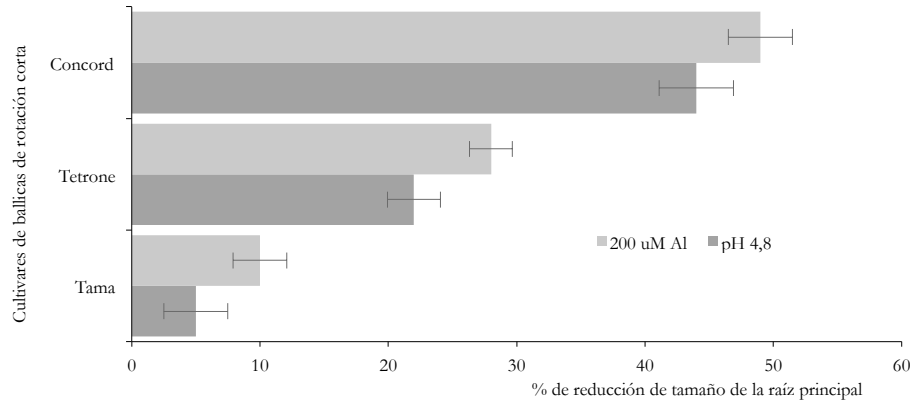


Figura 3.5. Efecto de la acidez en la reducción del tamaño radical de tres cultivares de ballicas de rotación. (Fuente: adaptado de Gallardo y Borie, 1999).

En un periodo de 18 años (1993 – 2012), se evaluaron 67 cultivares de esta especie en el secano de la zona templada. La mayor producción se obtuvo en el año 2012 (14,48 ton MS/ha), estadísticamente similar a los años 2002, 2003 y 2006 (Tabla 3.4). Este rendimiento es superior al reportado por Demanet (1994), en condiciones comparables ya que corresponde a la misma zona agroecológica. La mejora genética de esta especie, permite hoy lograr rendimientos superiores a 16 ton MS/ha (Demanet, 2014) e incluso superar las 20 Ton MS/ha (Stewart *et al.*, 2014).

Tabla 3.4. Rendimiento promedio anual (ton MS/ha) de *Lolium multiflorum* Lam. var. *Italicum* en el secano de la zona templada de Chile. Periodo 1993 – 2012.

Año	Producción (ton MS/ha)
2012	14,48 a
2003	14,23 ab
2006	13,66 abc
2002	13,39 abc
2009	12,39 bcde
1993	11,14 cdef
2004	11,13 defg
2005	11,08 defgh
2008	10,77 efghi
1998	10,60 hij
1994	10,03 hij
1997	9,93 hij
1996	9,85 hij
2010	9,72 hij
1999	9,44 ij
2001	8,98 ij
2000	8,92 ij
1995	8,91 ij

Medias que no comparten una letra en común son diferentes según Prueba de Tukey ($p > 0,05$)
Coeficiente de variación: 18,03%

El ranking BLUP (*Best Linear Unbiased Prediction*) permitió agrupar los años por nivel de producción y en esta especie indica que existe un 61% de probabilidad de que en la zona templada se registre un valor de producción de medio a alto (Tabla 3.5).

Tabla 3.5. Agrupación de años según nivel de rendimiento de *Lolium multiflorum* Lam. var. *Italicum*, utilizando el ranking BLUP (*Best Linear Unbiased Prediction*). Secano del área templada de Chile. Periodo 1993 – 2012.

Nivel de producción	N° Años	Producción (ton MS/ha)			Significancia de BLUP
		Promedio	Máximo	Mínimo	
Alta	5	13,63	14,48	12,39	$P \leq 0.05$
Media	6	10,79	11,14	10,03	$P > 0.05$
Baja	7	9,39	9,93	8,91	$P \leq 0.05$
Total	18				

De los 67 cultivares evaluados en el periodo 1993 – 2012, 65 cultivares presentaron un rendimiento estadísticamente similar (96%) (Tabla 3.6). Este resultado demuestra que el material genético medido en estos años tuvo un comportamiento productivo similar, aun cuando su procedencia fue diversa.

Tabla 3.6. Rendimiento promedio (ton MS/ha) de 67 cultivares de *Lolium multiflorum* Lam. var. *Italicum* en el secano del área templada de Chile. Temuco. Periodo 1993 – 2012.

Cultivares	Producción (ton MS/ha)	Cultivares	Producción (ton MS/ha)
KLM 138	13,60 a	Mariner	10,94 abc
Warrior	12,92 ab	Fastyl	10,92 abc
Hurricane	12,69 ab	Maverick	10,91 abc
Barbara	12,64 ab	Tetrone	10,89 abc
Bolero	12,54 ab	Barspectra	10,89 abc
Prompt	12,51 ab	Flanker	10,84 abc
Tonyl	12,00 ab	AGRIM 107	10,84 abc
Howard	11,92 ab	Mondelo	10,83 abc
Montblanc	11,91 ab	Rustyl	10,82 abc
Tabu	11,89 ab	Prospect	10,80 abc
NZA -911	11,81 abc	GRAEL 10	10,78 abc
Zorro	11,65 abc	Atlantis	10,74 abc
KLM 510	11,62 abc	Fortyl	10,74 abc
Domino	11,61 abc	GRAL 03	10,72 abc
NZA 901	11,61 abc	Selva	10,71 abc
Monarque	11,51 abc	Sikem	10,63 abc
Barmultra	11,46 abc	Ansyl	10,61 abc
Edison	11,46 abc	Jack	10,59 abc
AGRIM 110	11,45 abc	Roberta	10,44 abc
Bartissimo	11,41 abc	Tribune	10,40 abc
Molisto	11,38 abc	Idyl	10,32 abc
Abercomo	11,36 abc	Galaxy	10,30 abc
Bartali	11,33 abc	Aberoscar	10,22 abc
Gypsil	11,24 abc	Adin	10,20 abc
Bartolini	11,22 abc	Conker	10,18 abc
Exalta	11,22 abc	Marbella	10,17 abc
Sabalan	11,20 abc	GRACR 08	10,15 abc
Ajax	11,19 abc	Geyser	10,09 abc
Energyl	11,11 abc	Etna	10,00 abc
Concord	11,11 abc	LM 151 T	9,57 abc
Barzini	11,05 abc	Avance	9,46 abc
Emerson	11,03 abc	Tonic	8,88 bc
Jeanne	10,96 abc	Crusader	8,23 c
Regitze	10,96 abc		

Medias que no comparten una letra en común son diferentes según Prueba de Tukey ($p > 0,05$)

Coefficiente de variación: 20,98%

La agrupación de cultivares según el ranking BLUP ratificó la similitud de rendimiento lograda por la mayoría de los cultivares, ya que el 95% de los cultivares se ubicaron en el rango de producción media y alta (Tabla 3.7).

Tabla 3.7. Clasificación de cultivares de *Lolium multiflorum* Lam. var. *Italicum* de acuerdo con el nivel de rendimiento, según el ranking BLUP (*Best Linear Unbiased Prediction*), en el secano del área templada de Chile. Periodo 1993 – 2012.

Nivel de producción	N° cultivares	Producción (ton MS/ha)			Significancia de Blup
		Promedio	Máximo	Mínimo	
Alta	2	13,26	13,60	12,92	$P \leq 0.05$
Media	61	11,09	12,69	10,00	$P > 0.05$
Baja	4	9,04	9,57	8,23	$P \leq 0.05$
Total	67				

En esta especie es adecuado mantener un sistema de pastoreo en franjas, con un fuerte control del residuo, con el objetivo de lograr una rápida recuperación de la pastura post utilización, dado que los carbohidratos de reserva se ubican en la base de los macollos. La altura de residuo sin disturbar debe ser de 7 a 10 cm. En siembras asociadas a trébol rosado, el residuo debe disminuir a 5 cm con el objetivo de promover la contribución de la leguminosa a la composición botánica de la pastura (Langer, 1994; Demanet, 1994)

Junto al pastoreo, uno de los objetivos de esta especie es la conservación de forraje, en especial mediante ensilaje, que tiene lugar en el periodo de primavera. El nivel de rendimiento que es posible alcanzar en el corte para ensilaje supera las tres toneladas de materia seca por hectárea y su calidad, es óptima cuando el material se cosecha en estado de bota o plena aparición de espiga. En estas condiciones el ensilaje se realiza bajo la modalidad de pre marchito (pre deshidratado), con aplicación de aditivos biológicos que, en su formulación, posean *Lactobacillus plantarum* y *Lactobacillus buchneri*, lo que permiten aumentar la carga de bacterias que producen la fermentación ácido láctica y, reducen el impacto aeróbico, que se genera en los ensilajes una vez que son abiertos para su utilización.

En relación al valor nutritivo de esta especie, la calidad del producto consumido por los animales depende del manejo de la pastura. En sistemas intensivos, donde se respete los tiempos de rezago y se mantenga un sistema de pastoreo infrecuente – intenso, la pastura ofrecerá al animal un forraje con un 16 a 22% de proteína cruda; 2,4 a 2,6 Mcal/kg de energía metabolizable (Tabla 3.8), 76 a 80% de digestibilidad de la materia seca y 38 a 42% de FDN.

Tabla 3.8. Porcentaje de materia seca y contenido de proteína y energía de *Lolium multiflorum* Lam. var. *Italicum*, medido bajo diferentes tipos de uso.

Tipo de utilización	% MS	% Proteína	EM*
Pastoreo	11,8	24,2	2,59
Soling	12,7	22,9	2,57
Ensilaje corte directo	22,5	16,4	2,38
Ensilaje pre marchito	27,2	17,7	2,54
Henilaje	38,4	16,5	2,59
Heno	86,1	15,1	2,45

*EM: Energía metabolizable Mcal/kg

***Lolium* × *boucheanum* Kunth syn. *Lolium* × *hybridum* Hausskn (Ballica híbrida)**

El género *Lolium* consta de nueve especies, que incluyen *inbreeding* y *outcrossing* entre especies. El cruzamiento inter específico más importante es el generado entre *Lolium multiflorum* Lam. y *Lolium perenne* L. (Guan *et al.*, 2014) y cuya denominación botánica se menciona como *Lolium* × *boucheanum* Kunth syn. *Lolium* × *hybridum* Hausskn. Este híbrido combina las características de las líneas parentales (Stewart, *et al.*, 2014) y su presencia en la zona templada se ha expandido en las últimas décadas y ha desplazado en el mercado a las especies gramíneas de rotación debido a la alta capacidad productiva, persistencia y arquitectura de sus plantas (Figura 3.6).

La mayor persistencia de este tipo de ballicas (superior a dos años) y el nivel productivo alcanzado bajo las condiciones de la zona templada de Chile, hicieron de esta especie la opción para áreas de rotación, donde

los sistemas ganaderos necesitan de un producto que cumpla con la condición de uso en pastoreo invernal y conservación de forraje de calidad en primavera y verano.



Figura 3.6. *Lolium × boucheanum* Kunth syn. *Lolium × hybridum* Hausskn (Ballica híbrida).

Esta especie ocupa un nicho productivo de gran importancia para la ganadería intensiva de la zona templada. Permite generar la rotación perfecta con cultivos suplementarios como brásicas y *Zea mays* L., con los que se han elaborado modelos productivos intensivos de alto rendimiento anual (Demanet, 2014).

Se siembra en dos periodos del año: febrero – marzo o agosto – septiembre. La fecha de establecimiento está definida por la temperatura y humedad del suelo, localidad y objetivo de la pastura. Para lograr que en el primer mes de siembra se alcance una población adecuada es necesario que el suelo, en el momento de la siembra, tenga una temperatura de al menos 8°C. En esta especie es importante lograr una adecuada densidad de plantas en los primeros 30 días post emergencia, dado que en estas condiciones consigue competir con las especies residentes.

Lolium × boucheanum Kunth syn. *Lolium × hybridum* Hausskn es una especie que se asocia con leguminosas como *Trifolium repens* L. o *Trifolium pratense* L., dependiendo de la arquitectura del cultivar. La dosis depende del tamaño de la semilla, época de siembra y calidad de la preparación de suelo. En cultivares diploides de semilla pequeña, la dosis de semilla es 25 kilos por hectárea y en cultivares tetraploides la dosis es 30 kilos por hectárea. Con estas dosis, se pretende lograr que, en la primera etapa de desarrollo de la pastura, se establezca una población de al menos 700 plantas por metro cuadrado (7 millones de plantas por hectárea). En asociación con *Trifolium repens* L. es necesario mantener la dosis de semilla de ballica y adicionar a la mezcla 3 kilos de semilla de *Trifolium repens* L. por hectárea.

Desde la introducción del cultivar Belinda (Feast II) esta especie superó en ventas a los cultivares de ballicas bianuales que habían sido utilizados por más de tres décadas como alternativa forrajera para pastoreo y conservación de forraje, solos o asociados a avena y trébol rosado.

En un periodo de 15 años (1998 - 2012) se evaluaron 33 cultivares de esta especie en el secano de la zona templada. El año en que se evidenció el máximo rendimiento (14,78 ton MS/ha) fue 2002, aun cuando no se detectaron diferencias significativas con otros cinco años. El valor alcanzado es cercano al presentado por las ballicas perennes y ballicas de rotación, resultado que era de esperar, dado el origen de esta hibridación (Tabla 3.9).

La probabilidad de que, a través de los años, se registre un nivel de rendimiento medio - alto, es de 73,3% y sólo un 26,7% de los años tienen la probabilidad de presentar una baja producción (Tabla 3.10).

Tabla 3.9. Rendimiento promedio anual de *Lolium × boucheanum* Kunth syn. *Lolium × hybridum* Hausskn en el secano de la zona templada de Chile. Periodo 1998 – 2012.

Años	Producción (ton MS/ha)
2002	14,78 a
2004	14,41 a
2003	14,15 a
2000	12,48 abc
1998	12,39 abc
2009	12,14 abc
1999	11,26 bcd
2011	11,23 bcde
2005	10,86 cdef
2006	10,30 cdefg
2012	10,25 cdefg
2008	9,84 cfg
2001	9,77 cfg
2010	9,68 g
2007	8,16 h

Medias que no comparten una letra en común son diferentes según Prueba de Tukey ($p > 0,05$)
Coeficiente de variación: 18,20%

Tabla 3.10. Clasificación de años según nivel de rendimiento de *Lolium × boucheanum* Kunth syn. *Lolium × hybridum* Hausskn, según el ranking BLUP (*Best Linear Unbiased Prediction*), en el secano del área templada de Chile. Periodo 1998 – 2012.

Nivel de producción	N° Años	Producción (ton MS/ha)			Significancia de BLUP
		Promedio	Máximo	Mínimo	
Alta	4	13,96	14,78	12,48	$P \leq 0,05$
Media	7	11,20	12,39	10,25	$P > 0,05$
Baja	4	9,36	9,84	8,16	$P \leq 0,05$
Total	15				

Los cultivares analizados no presentaron grandes diferencias de rendimiento. El 79% (26) de los cultivares medidos, presentaron una producción estadísticamente similar, con un rendimiento máximo de 14,32 ton MS/ha (Tabla 3.11). La agrupación de cultivares según su nivel de rendimiento evidenció que el 84% de ellos tuvieron una producción medio – alta (Tabla 3.12).

La penetración de esta especie en el mercado de la zona templada de Chile no es reciente. Sin embargo, su utilización masiva data de no más allá de 17 años. Esto ha contribuido a que los materiales genéticos evaluados en el país sean homogéneos en relación a productividad, debido a las exigencias del mercado local y al interés que existe en el uso de este recurso forrajero.

El nivel de carbohidratos solubles en la planta es un tema que está incorporado en el desarrollo de los nuevos cultivares de ballica. Su mayor concentración en las plantas permite lograr más y mejor digestibilidad y mayor consumo voluntario por parte del animal, con el consecuente incremento en la producción de leche y carne. Además, el uso de las proteínas por parte de las bacterias ruminales es más eficiente, por lo que la pérdida de nitrógeno en las heces es menor. En las ballicas destinadas a corte para ensilaje, los principales factores que pueden influir en el proceso de fermentación son el contenido en carbohidratos solubles, nitratos y porcentaje de materia seca. Entre estos, es el uso del nitrógeno uno de los más importantes, puesto que el contenido en materia seca y de carbohidratos solubles están afectados por las características genéticas y el uso de fertilización nitrogenada. Considerando la economía de nitrógeno y la creciente demanda ambiental de niveles menores de contaminación por este elemento se han evaluado cultivares que logran un nivel superior de carbohidratos solubles en el momento de su utilización.

Tabla 3.11. Rendimiento promedio de 33 cultivares de *Lolium* × *boucheanum* Kunth syn. *Lolium* × *hybridum* Hausskn en el secano del área templada de Chile. Temuco. Periodo 1998 – 2012.

Cultivares	Producción (ton MS/ha)
Tabu	14,32 a
KLM 138	13,45 ab
Bolero	13,14 abc
Tonyl	13,11 abc
Warrior	12,99 abcd
Flanker	12,62 abcd
Belinda	12,61 abcd
Horizon	12,49 abcd
KLM 510	12,29 abcde
Greenstone	12,26 abcde
Shogun	12,07 abcdef
Delicial	11,91 abcdef
Ohau	11,87 abcdef
Delish	11,77 abcdef
Bison	11,72 abcdef
Crusader	11,72 abcdef
Maverick	11,70 abcdef
Aberstorm	11,68 abcdef
Aberlinnet	11,46 abcdef
Maverick GII	11,37 abcdef
Aberexcel	11,27 abcdef
Supreme	11,25 abcdef
Sterling	11,21 abcdef
Galaxy	11,12 abcdefg
Marbella	11,07 abcdefg
Harper	10,75 abcdefg
Boxer	9,94 bcdefgh
HE 47AZ1	9,50 bcdefgh
Storm	9,46 defgh
Geysar	9,31 efgh
Solid	9,10 efgh
Mondelo	9,00 gh
Brutus	8,21 h

Medias que no comparten una letra en común son diferentes según Prueba de Tukey ($p > 0,05$)
 Coeficiente de variación: 21,40%

Tabla 3.12. Clasificación de cultivares de *Lolium* × *boucheanum* Kunth syn. *Lolium* × *hybridum* Hausskn, de acuerdo con el nivel de rendimiento, según el ranking BLUP (*Best Linear Unbiased Prediction*), en el secano del área templada de Chile. Periodo 1998 – 2012.

Nivel de producción	N° Cultivares	Producción (ton MS/ha)			Significancia de BLUP
		Promedio	Máximo	Mínimo	
Alta	3	13,64	14,32	13,14	$P \leq 0.05$
Media	25	11,67	13,11	9,5	$P > 0.05$
Baja	5	9,01	9,46	8,21	$P \leq 0.05$
Total	33				

En la medición realizada en la Estación Experimental Maquehue de la Universidad de La Frontera, se puso de manifiesto que existen diferencia entre cultivares en el contenido de carbohidratos solubles (Figura 3.7), así como el efecto negativo que produce sobre este parámetro el incremento del uso de nitrógeno en la fertilización de las pasturas (Figura 3.8).

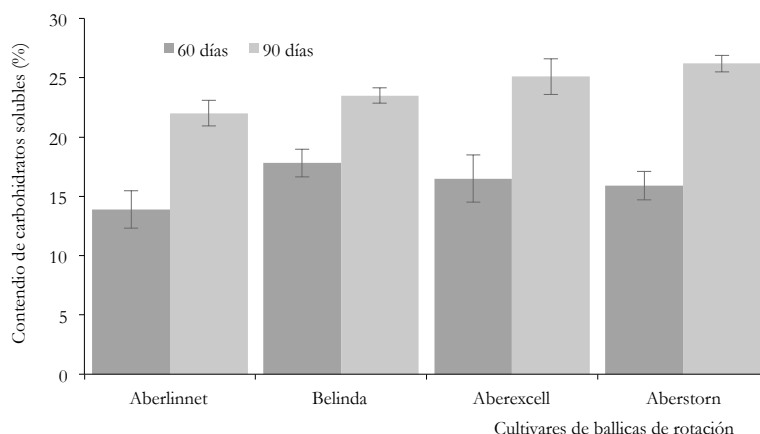


Figura 3.7. Contenido de carbohidratos solubles de diferentes cultivares de *Lolium × bouceanum* Kunth syn. *Lolium × hybridum* Hausskn medido en dos tiempos de rezago. Estación Experimental Maquehue. Universidad de La Frontera. Temuco. Promedio de tres temporadas. 2005 -2009.

Coefficiente de variación: 7,89%

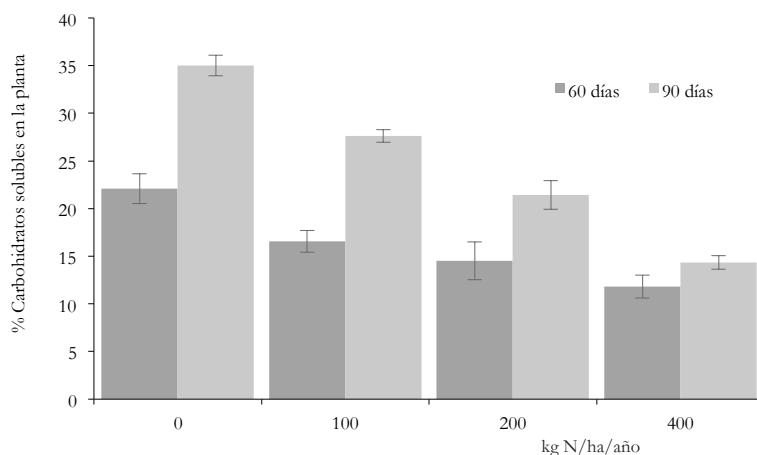


Figura 3.8. Efecto de la aplicación de nitrógeno en el contenido de carbohidratos solubles en *Lolium × bouceanum* Kunth syn. *Lolium × hybridum* Hausskn medido en dos tiempos de rezago. Estación Experimental Maquehue. Universidad de La Frontera. Temuco. Promedio de tres temporadas. 2005 -2009.

Coefficiente de variación: 8,21%

***Lolium rigidum* (Gaudin) Weiss ex Nyman (Ballica Anual de Resiembra)**

Corresponde a una especie de la familia Poaceae, sub familia Pooideae, tribu Poeae, sub tribu Loliinae y género *Lolium*, de ciclo anual de resiembra. Esta adaptada a zonas de clima mediterráneo, con largo periodo de sequía de verano (Figura 3.9). En Australia se utiliza preferentemente en zonas con más de 300 mm de precipitación anual, siendo un componente habitual de las praderas de terófitas.

En Chile se ubica desde el secano mediterráneo central hasta el área de secano interior de la Región de La Araucanía, constituyendo una alternativa interesante para pastoreo invernal y producción de abundante forraje de primavera.

Se adapta a distintos tipos de suelos y posee buen crecimiento en suelos rojo-arcillosos y algo húmedos, pero con buen drenaje superficial. Tolerancia un amplio rango de pH de 5 a 8, presentando un crecimiento óptimo entre 5,8 y 6,8.



Figura 3.9. *Lolium rigidum* (Gaudin) Weiss ex Nyman en periodo de resiembra en el área de transición de mediterráneo a templado (ballica anual de resiembra).

El establecimiento de esta especie se lleva a cabo en otoño, entre los meses de marzo a mayo: La fecha exacta depende de las condiciones de precipitación otoñal y la forma de establecimiento es cero labranza o con preparación de suelos.

La dosis de semilla depende de las especies acompañantes, pero en general es 30 kilos/ha (Tabla 3.13).

Tabla 3.13. Dosis de semilla (kg/ha) de *Lolium rigidum* (Gaudin) Weiss ex Nyman, sembrado solo o en asociación con avena y trébol encarnado.

Asociación	<i>L. rigidum</i>	Avena	Trébol encarnado
<i>Lolium rigidum</i>	30		
<i>L. rigidum</i> + Avena	30	80	
<i>L. rigidum</i> + Avena + Trébol encarnado	25	80	20
<i>L. rigidum</i> + Trébol encarnado	25		25

A nivel mundial existen diversos cultivares, pero el único que ha permanecido en el país a lo largo del tiempo es Wimmera, cuyo origen es Australia. Este cultivar se ha transformado en un serio problema en los sistemas que combinan la ganadería con la siembra de cereales, debido a la resistencia de este a los herbicidas graminicidas.

En evaluaciones realizadas en el secano de transición de mediterráneo a templado se determinó que *Lolium rigidum* cv. Wimmera presenta una producción igual o superior a *Lolium multiflorum*, en siembra de otoño y sometido a diferentes frecuencias de uso (Figura 3.10).

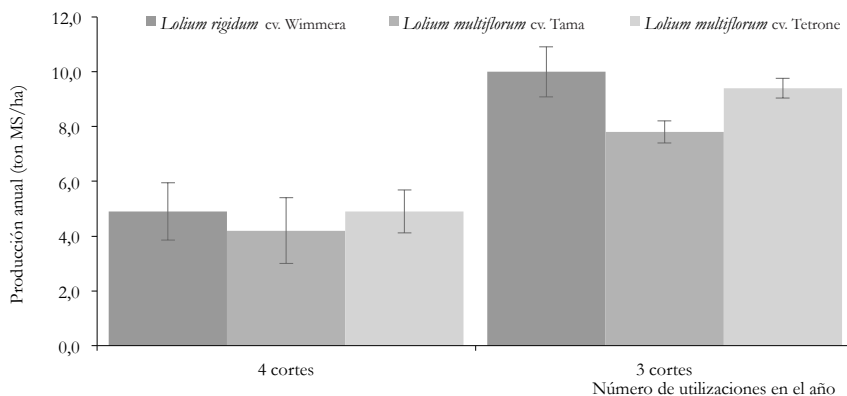


Figura 3.10. Producción de ballicas de rotación en el secano interior de la Región de La Araucanía. Temporada 1989/90. Traiguén. Fuente: Demanet, *et.al.* (1990).

Coefficiente de variación: 9,87%

Por otra parte, al igual que en la mayoría de las ballicas, la asociación con una leguminosa permite mejorar la calidad del forraje producido. En este caso, la mezcla con *Trifolium incarnatum* admite una buena complementación dado que ambas presentan crecimiento invernal y desarrollan su mayor producción en primavera. Sin embargo, el aporte del trébol no es superior al 30%, dada la agresividad de la ballica (Figura 3.11).

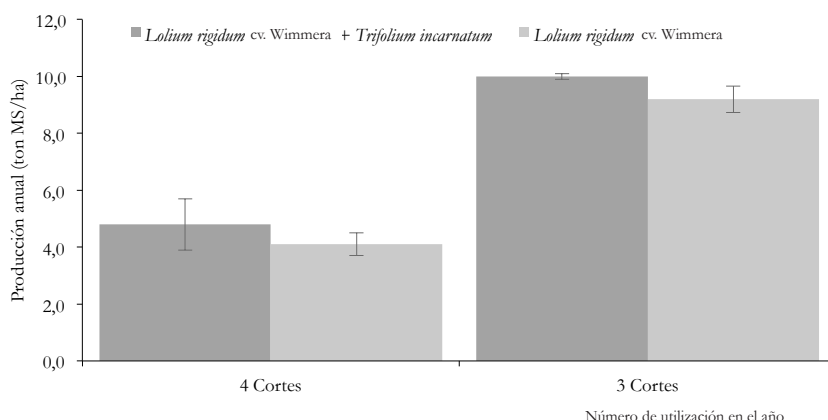


Figura 3.11 Producción de *Lolium rigidum* cv. Wimmera solo o asociado con *Trifolium incarnatum* en el secano interior de la Región de La Araucanía. Temporada 1989/90. Traiguén. Fuente: Demanet *et al.*, (1990).

Coefficiente de variación: 7,56%

Como se observa en la Figura 3.11 el nivel de rendimiento obtenido por la asociación de ballica de resiembra anual y trébol encarnado es inferior a la obtenida por la ballica sembrada sola, situación que está relacionada con la fertilización nitrogenada, sin embargo, esa reducción se compensa con el mayor contenido en proteína que logra la mezcla (Demanet *et al.*, 1990).

***Lolium perenne* L. (ballica perenne)**

Especie de la familia Poaceae, sub familia Pooideae, tribu Poeae, sub tribu Loliinae y género *Lolium*, es la planta forrajera exótica de uso forrajero más antigua en el país. Se introdujo desde Inglaterra a inicios del siglo XIX, a través de semillas presentes en la paja de un cargamento de loza fina proveniente de dicho país. La semilla se multiplicó en forma rápida y se establecieron las primeras pasturas en el Valle del Aconcagua, en la localidad de Ocoa (32° 55' LS y 71° 12' LO), donde su expansión en estos casi 200 años fue relativamente rápida a toda el área mediterránea y templada de Chile (Águila, 1997).

Esta especie exótica se ha naturalizado en diversas zonas de la región templada de Chile, y su ubicuidad es grande, ya que se encuentra en la alta montaña de la Cordillera de Los Andes, planicies próximas al mar, áreas de secano y riego de la zona mediterránea, sectores de riego de todos los valles transversales, áreas de cultivos de cereales y en toda la zona templada. Ha logrado sobrevivir a condiciones extremas, desarrollando incluso mecanismos de resistencia a herbicidas graminicidas de uso habitual en cultivos de cereales, convirtiéndose en una maleza difícil de erradicar (Dekker & Duke, 1995; Devine & Shukla, 2000; Yannicari *et al.*, 2012).

Se trata de una planta perenne, con hojas glabras y envés brillante (Figura 3.12). Su hábito de crecimiento es achaparrado y se caracteriza por presentar alta densidad de macollos bajo condiciones de adecuada fertilidad y buen manejo de pastoreo. Existen ecotipos y cultivares que presentan diferente arquitectura, lo que permite observar en el campo una amplia gama de formas y colores. Las hojas son abundantes y plegadas en forma de V, de tamaño variable entre 4 y 30 centímetros, con aurículas pequeñas y lígula glabra, membranosa y transparente de 2 mm de longitud. La inflorescencia es erecta, en forma de espiga, con espiguillas sésiles dispuestas en posición alternante a lo largo del tallo, lo que genera una forma ondulada. Las espigas son rectas o ligeramente dobladas, delgadas, aplastadas, de tamaño variable (4 a 30 cm), color verde purpura y raquis suave. Se diferencia de otras especies de *Lolium* por la falta de barbas en las espiguillas (Langer, 1981; Guillet, 1984; Muslera & Ratera, 1991; Lambrechtsen, 1992; Carambula, 1997).



Figura 3.12. *Lolium perenne* L. (ballica perenne).

El establecimiento de esta especie se realiza bajo sistema de labranza convencional o cero labranza. En ambas opciones se considera la aplicación de barbecho químico en época y dosis correcta. La aplicación se hace al menos 60 días antes de la siembra y la dosis depende de la densidad y composición del tapiz vegetal y del producto a utilizar (Tabla 3.14).

Tabla 3.14. Algunas opciones de productos para practicar un barbecho químico.

Nombre Comercial	Ingrediente Activo	Nombre químico	Eq. Ácido (g/L)	Concentración	L/ha
Roundup	Glifosato	Sal monoamónica de N-fosfonometil glicina	360	396 g/L	4
Rango 480 SL	Glifosato	Sal isopropilamina de N-fosfonometil glicina	360	480 g/L	4
Panzer	Glifosato	Sal isopropilamina de N-fosfonometil glicina	360	480 g/L	4
Glyruk	Glifosato	Sal isopropilamina de N-fosfonometil glicina	360	480 g/L	4
Glifosato Dupont	Glifosato	Sal isopropilamina de N-fosfonometil glicina	360	480 g/L	4
Atila	Glifosato	Sal isopropilamina de N-fosfonometil glicina	360	480 g/L	4
Roundup Full II	Glifosato	Sal potásica de N-fosfonometil glicina	540	622 g/L	3
Rango Full	Glifosato	Sal potásica de N-fosfonometil glicina	540	622 g/L	3
Panzer Gold	Glifosato	Sal dimetilamina N-fosfonometil glicina	480	608 g/L	3
Touchdown IQ	Glifosato	Sal potásica de N-fosfonometil glicina	500	500 g/L	3

El barbecho con glifosato se puede acompañar con productos que permitan ampliar el espectro de control, en especial de plantas de hoja ancha. Algunas opciones que no poseen efecto residual sobre la pastura son la aplicación de Fluoroxypyr (0,5 L Starane/ha) o Safflofenacilo (30 g Heat/ha). Ante aplicaciones tardías de glifosato o errores de dosis es factible aplicar sobre la vegetación, antes de la siembra *Dibromuro de Diquat*, *Dicloruro de Paraquat* o la mezcla de ambos en dosis de 3 litros/ha.

La siembra de *Lolium perenne* L. se puede realizar en dos periodos del año: febrero – marzo o agosto – septiembre, fechas que son definidas por la localidad, temperatura y humedad del suelo. La siembra con temperatura del suelo superior a 8°C permite una adecuada emergencia y densidad de plantas en los primeros 30 días post siembra, situación favorable para que las especies residentes se desplacen a un plano secundario.

Para lograr que esta pastura otorgue a los animales un adecuado balance energía - proteína se requiere la incorporación de una leguminosa cuya arquitectura se complemente con la estructura de esta planta. La especie que logra la mejor armonía con *Lolium perenne* L. es *Trifolium repens* L., que no sólo aporta a la mezcla proteínas, sino que también contribuye a través de la fijación biológica con nitrógeno, elemento fundamental para la expresión del potencial productivo de *Lolium perenne* L.

La definición de la dosis de semilla se relaciona con el tamaño de la semilla, época de siembra y calidad de la cama de la semilla. En cultivares diploides cuya semilla es de tamaño pequeño a la siembra sólo requiere 20 kg semilla/ha y en cultivares de tipo tetraploide, de semilla con mayor tamaño, la dosis de siembra es de 25 kg semilla/ha. Con estas dosis se pretende lograr, en la primera etapa de desarrollo de la pastura, una población de al menos 700 plantas por metro cuadrado (7 millones de plantas por hectárea). En asociación con *Trifolium repens* L., se mantiene la dosis de gramínea y se adicionan 3 kg de semilla de trébol/ha.

La determinación del cultivar o mezcla de cultivares que se van a utilizar en el establecimiento de una pastura de *Lolium perenne* L. constituye, hoy en día, una decisión de alta complejidad, dado que en el mercado mundial y nacional, existe una amplia oferta que se diferencian según ploidía, precocidad, presencia de endófito, contenido de carbohidratos solubles y tolerancia a royas. Entre estos cultivares también existen diferencias en arquitectura, tolerancia a pisoteo, palatabilidad, eficiencia de uso del nitrógeno, tolerancia a la acidez del suelo y contenido de aluminio (Demanet, 2014)

En Chile la oferta de cultivares es variada y responde a las necesidades de un mercado altamente exigente y que requiere opciones diferentes para las diversas condiciones de suelo y manejo que se desarrollan en la zona templada. Entre los años 1990 y 2014 la oferta de cultivares se incrementó de 4 a 36 que, en su mayoría, provienen de Nueva Zelanda (61%) (Tabla 3.15.).

Tabla 3.15. Origen de los cultivares de *Lolium perenne* L. comercializados en Chile.

País	Nº	%
Argentina	1	3
Europa	1	3
Estados Unidos	12	33
Nueva Zelanda	22	61
Total	36	100

Fuente: adaptado de Demanet (2014)

Las diferencias entre cultivares tiene que ver con su origen, ya que aquellos provenientes de la cuenca del mediterráneo poseen un buen crecimiento de invierno y escasa producción en verano; sin embargo, aquellos que provienen del norte de Europa son activos en primavera y verano y en invierno presentan un exiguo crecimiento y producción de materia seca.

No es casualidad que en el país exista una mayor oferta de cultivares procedentes de Nueva Zelanda. Este tipo de cultivares han sido originados, en su mayoría, a partir de materiales de la cuenca mediterránea, situación que le confiere la particularidad de presentar una interesante producción de invierno, en especial a partir del mes de agosto. Con el desarrollo de los sistemas ganaderos estacionales estos cultivares son cada día mas necesarios en el país.

El primer cultivar de *Lolium perenne* L. desarrollado en Chile se generó en la década de los 50, a partir de una selección de ecotipos del material original ingresado al país desde Inglaterra. Su multiplicación se realizó en la provincia de Ñuble, en un sector cercano a la ciudad de Chillán (36° 36'LS; 72° 06'LO). Se distribuyó y comercializó como Santa Elvira, nombre del potrero en el que se multiplicó durante mucho tiempo en la Estación Experimental Quilamapu del Instituto de Investigaciones Agropecuarias, dependiente del Ministerio de Agricultura (Águila, 1997). Su distribución fue masiva, abarcando todos los sectores de producción ganadera del país. En el mercado nacional ha permanecido como cultivar desde hace más de 50 años y aún es requerida por los productores de las zonas de secano de la precordillera de la zona norte del área templada de Chile (Demanet, 1994).

Los elementos diferenciadores que más destacan entre los cultivares comercializados a nivel nacional son la ploidía, presencia de hongos endófitos y precocidad (Tabla 3.16).

La ploidía está referida al número de cromosomas. En *Lolium perenne* L. los diploides presentan 7 cromosomas y tetraploides 14. Los cultivares diploides se caracterizan por presentar hojas finas, crecimiento achaparrado y alta densidad de macollos. Son especialmente utilizados en sistemas pastoriles donde la intensidad y frecuencia de uso no es controlada. Este tipo de cultivares soporta mejor condición de estrés relacionadas con humedad, temperatura y acidez que los cultivares tetraploides. En su mayoría proceden de Nueva Zelanda y suelen

presentar una curva de crecimiento desplazada hacia la primavera, con un interesante nivel de crecimiento en el periodo de transición entre invierno y primavera.

Tabla 3.16. Elementos diferenciadores entre cultivares de *Lolium perenne* L. comercializados en Chile

Parámetro	Nº Cultivares	%
Ploidía		
Diploide	26	72
Tetraploide	10	28
Presencia de endófitos		
Sin endófito	13	36
Variable	3	8
Con endófitos	20	56
Floración		
Precoz	13	36
Intermedia	14	39
Tardía	9	25

Fuente: adaptado de Demanet (2014)

Las plantas diploides, debido a su mayor capacidad de macollamiento y desarrollo rápido de una cobertura vegetal densa, permiten desarrollar programas de pastoreo intenso sin generar pérdidas importantes en el tapiz vegetal. En asociaciones de *Lolium perenne* L. diploide con *Trifolium repens* L. los cultivares de **trébol que mejor** se adaptan a esta mezcla son aquellos de hoja pequeña e intermedia con los que logra obtener una mezcla especialmente armónica.

Los cultivares tetraploides se caracterizan por generar un forraje de buen valor nutritivo, alta palatabilidad y digestibilidad. Las plantas en su mayoría de crecimiento erecto generan pocos macollos y suelen exhibir una fuerte sensibilidad a pastoreos intensos y frecuentes. Este tipo de cultivares logra una buena asociación con cultivares de *Trifolium repens* L. de hoja grande y peciolo largos.

Las semillas de *Lolium perenne* L. son comercializadas en el mercado nacional y mundial con y sin hongo endófito. Este hongo corresponde a *Epichloë festucae* var. *lolii* Leuchtm., Schardl & M.R. Siegel, que anteriormente recibía la denominación de *Acremonium lolii* y *Neotyphodium lolii*; sin embargo, después de una revisión taxonómica a partir de 2014 se ubicó en el género *Epichloë*. La presencia de este hongo en la semilla y posterior ubicación en la planta permite la protección de la pastura a los ataques del gorgojo barrenador del tallo de las ballicas (*Listronotus bonariensis* (Kuschel)) (Figura 3.13) y otros insectos.



Figura 3.13. Estado adulto de *Listronotus bonariensis* (Kuschel)

Epichloë festucae var. *lolii* produce diversos alcaloides beneficiosos para la protección de las plantas y otros que generan problemas de salud en los animales. Este hongo vive en simbiosis con la ballica, en la que la planta provee al hongo los nutrientes y un medio de dispersión a través de las semillas y el endófito promueve la síntesis de metabolitos secundarios que confieren protección a la planta (Schardl *et al.*, 2013). Las plantas que contienen el hongo no muestran signos y este se propaga solamente a través de las semillas. El micelio del hongo se ubica en toda la planta, pero especialmente se concentra en la parte basal, vaina de las hojas, tallos y semillas. La viabilidad del endófito disminuye gradualmente cuando la semilla se almacena a temperatura ambiente y la humedad es moderada a alta. Esto genera que después de dos años, pocas semillas tengan el endófito viable.

Los principales alcaloides producidos por *Epichloë festucae* var. *lolii* son lolitreno, ergovalina y peramina. El principal lolitreno corresponde a lolitrem B, neurotoxina que al ser consumida por el ganado produce lo que se conoce como “temblor muscular de las ballica” (*ryegrass staggers*). La ergovalina es un vasoconstrictor causante de la festucosis del ganado y de la disminución de los niveles de prolactina en vacas lecheras. Desde el punto de vista de la protección de las plantas, el principal alcaloide es la peramina que posee propiedades insecticidas (Clay & Schardl, 2002). La concentración de cada alcaloide cambia dependiendo del metabolismo de la planta y las condiciones ambientales (Schardl *et al.*, 2013).

Las opciones de endófitos modificados con baja concentración o carentes de *Lolitre B* son diversas y entre ellos se encuentran los denominados AR1, Endo 5, NEA2, NEA, AR37, Edge y Happen. Además, en festuca existe el hongo Max P que posee un bajo contenido de Lolina y moderado nivel de peramina. (Tabla 3.17).

Tabla 3.17. Presencia de alcaloides en diferentes tipos de hongos endófitos

Tipo de endófito	Especie	Lolitre B	Ergovalina	Peramina	Lolina	Janthitrem
Natural	<i>Epichloë festucae</i> var. <i>Lolii</i>	moderado/alto	moderado/alto	moderado/alto	no	no
AR1	<i>Epichloë festucae</i> var. <i>Lolii</i>	no	no	alto	no	no
Endo 5/AR6	<i>Epichloë festucae</i> var. <i>Lolii</i>	no	bajo/moderado	moderado	no	no
NEA2 o NEA	<i>Epichloë festucae</i> var. <i>Lolii</i>	bajo/moderado	bajo/moderado	moderado	no	no
AR37	<i>Epichloë festucae</i> var. <i>Lolii</i>	no	no	no	no	alto
GrubOUT U2	<i>Epichloë uncinata</i>	no	no	no	alto	no
Max P/Max Q/AR542	<i>Epichloë coenophiala</i>	no	no	moderado	bajo	no

Bajo condiciones de ausencia de *Listronotus bonariensis* (Kuschel) es factible utilizar cultivares con semillas sin endófito. Sin embargo, ante un posible ataque de este insecto, es necesario el uso de semillas con endófito AR1, Endo 5, NEA2 o AR37. Las ballicas con alto o bajo contenido en endófito natural pueden causar, en algún periodo de la vida útil de la pastura, problemas de temblor muscular en los animales, por presencia de exceso de lolinas en las plantas. Esto determina que la siembra de dichos cultivares no es apropiada para los sistemas de producción animal.

La respuesta de los insectos a estas cepas de hongos endófitos es variable y depende de la viabilidad del hongo en la semilla y la reacción de la planta ante su presencia. Los niveles de endófitos en la semilla, generalmente, disminuyen en semillas almacenadas durante más de un año en condiciones ambientales normales. La viabilidad del endófito puede ser mantenida al almacenar las semillas en condiciones de baja humedad y temperatura. Si existen dudas acerca de la presencia de endófitos en las semillas es factible enviarlas a laboratorios especializados y determinar el nivel de endófito viable.

La utilización de cultivares cuyas semillas carecen del hongo endófito, o poseen un nivel bajo del mismo, obliga a la aplicación de un insecticida a la semilla con el objetivo de proteger a las plántulas en los primeros estados de desarrollo de ataques del gorgojo argentino barrenador del tallo de las ballicas. La opción más efectiva, es el uso de Imidacloprid neonicotinoide neuroactivo diseñado a partir de la nicotina. La dosis de aplicación es 800 cc de producto comercial/100 kilos de semilla.

El fotoperiodo y la vernalización son los dos factores ambientales clave de la inducción de la floración de *Lolium perenne* L. La transición del crecimiento vegetativo al reproductivo solo ocurrirá después de un período extendido de vernalización, seguido de un aumento en la duración y la temperatura del día (Martin *et al.*, 2004). Gran parte de la producción y calidad de *Lolium perenne* L. depende del momento de la floración. Así, los

cultivares se clasifican, de acuerdo a este parámetro, en muy precoces, precoces, intermedios, tardíos y muy tardíos, estando todos referidos a un cultivar universalmente reconocido como es el cultivar Nui (Tabla 3.18.)

Tabla 3.18. Clasificación según precocidad de cultivares de *Lolium perenne* L. los días de floración están referido a la fecha de floración del cultivar Nui.

Clasificación	Días de floración respecto al cv. Nui
Muy precoz	-20 a - 10
Precoz	-1 a - 10
Intermedia	0 a + 10
Tardía	+ 11 a + 20
Muy tardía	+21 a + 35

La clasificación por precocidad es diferente en cada localidad y área del mundo. Existe una cierta similitud en el comportamiento relativo de cada cultivar, pero puede ocurrir un desplazamiento mayor o menor en los días de floración según sean las condiciones ambientales de cada zona (Tabla 3.19).

Tabla 3.19. Clasificación de algunos cultivares de *Lolium perenne* L. según fecha de floración en la zona templada de Chile.

Cultivar	Fecha de floración	Días respecto a Nui	Clasificación
Meridien	10.10	-10	Precoz
Nui	20.10	0	0
Nevis	22.10	+2	Intermedia
Vital	22.10	+2	Intermedia
Yatsyn 1	24.10	+4	Intermedia
Bronsyn	25.10	+5	Intermedia
Samson	25.10	+5	Intermedia
Anita	02.11	+13	Tardía
Reveille	02.11	+13	Tardía
Napoleon	04.11	+15	Tardía
Tetramax	04.11	+15	Tardía
Aries	04.11	+15	Tardía
Quartet	12.11	+23	Muy Tardía
Pastoral	22.11	+33	Muy Tardía
Gwendal	28.11	+39	Muy Tardía
Jumbo	Sin floración	Sin floración	Muy Tardía

La precocidad es un factor que en los sistemas productivos es determinante. Así, en los sistemas estacionales de leche y carne, en los que existe concentración de las pariciones a finales de invierno, es necesario la incorporación de cultivares muy precoces, precoces o intermedios que generen crecimiento en el mes de agosto. Por otra parte, los sistemas de producción de leche y carne con estabulación invernal requieren mantener la calidad bromatológica y palatabilidad del forraje durante la primavera, para lo cual se ajustan los cultivares intermedios, tardíos o muy tardíos.

Un factor que limita el potencial productivo de los cultivares de *Lolium perenne* L. es su ubicación en suelos ácidos. El crecimiento y desarrollo de los cultivares de *Lolium perenne* L. en suelos ácidos esta condicionado a las características químicas de cada uno de ellos, como son la presencia de aluminio intercambiable, manganeso y deficiencias de elemento esenciales como fósforo, calcio o magnesio.

La fitotoxicidad por aluminio genera en las plantas una reducción de la elongación de la raíz principal, engrosamiento de ésta y disminución de raicillas laterales capaces de absorber agua y nutrientes. Este efecto se produce por el desplazamiento del calcio por el aluminio en la pared de las células de las raíces, causando un desorden en la estructura celulósica y con ello un colapso en la absorción de agua y nutrientes.

Junto a la corrección de la acidez del suelo a través del uso de enmiendas es deseable utilizar cultivares que genéticamente tengan la capacidad de tolerar pH ácido y alto contenido de aluminio en la solución del suelo. Un

estudio realizado por Gallardo y Borie (1999), demostraron que en condiciones de pH ácido y alta concentración de aluminio los cultivares de *Lolium perenne* L. presentan distinto comportamiento (Figura 3.14.)

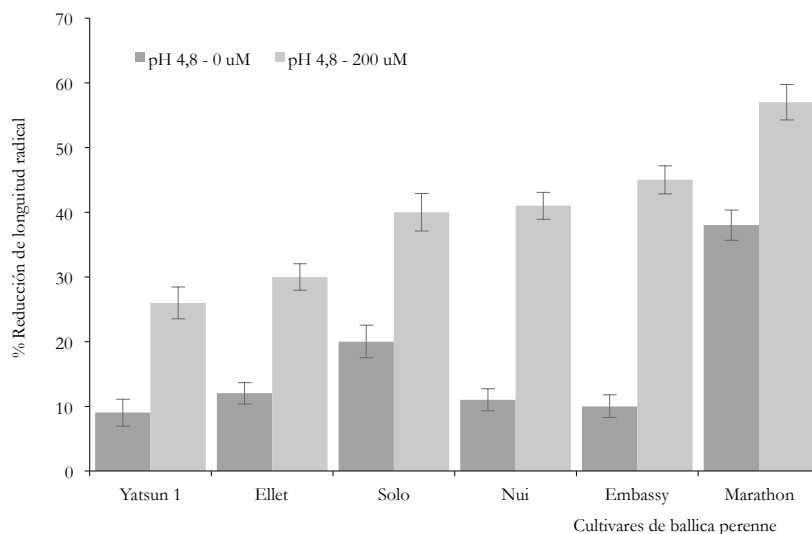


Figura 3.14. Reducción porcentual de la longitud de las raíces de cultivares de *Lolium perenne* L. por efecto del pH y el contenido de aluminio en la solución del suelo (adaptado de Gallardo y Borie, 1999).
Coeficiente de variación: 5,89%

El rendimiento de la pastura está determinado por la zona agroecológica, nivel de fertilidad del suelo, nutrición de las plantas y manejo del pastoreo. Bajo condiciones adecuadas de nutrición, la pastura puede alcanzar un nivel de rendimiento superior a 16 ton MS/ha. El crecimiento se concentra en primavera con más de 60% de la producción anual. Durante el invierno el rendimiento fluctúa entre 1.400 y 2.000 kilos de materia seca por hectárea (Demanet, 2014).

En 20 años se evaluaron 100 cultivares de *Lolium perenne* L. en la Estaciones Experimentales Maipo, Las Encinas y Maquehue todas ubicadas en un Andisol de Temuco. Los datos obtenidos en dichas evaluaciones fueron analizados estadísticamente, a través de un diseño de bloques divididos parcialmente balanceados, con celdas vacías en las subclases y los resultados que presentaron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) fueron analizados mediante la Prueba de Comparación Múltiple de Tukey, a un nivel de significación del 5 %. Además, se determinó el el ranking BLUP (*Best Linear Unbiased Prediction*), el cual agrupó los factores en tres categorías (alto, medio y bajo) en base a la comparación con el promedio de las evaluaciones.

La información obtenida se analizó en relación a las diferencias entre años y cultivares. La diferencia entre años tuvo por objetivo ver la frecuencia con que repiten los resultados en el tiempo, determinar el nivel de similitud que existe entre los cultivares evaluados y definir el potencial productivo de estos en la zona templada.

El mayor rendimiento se obtuvo en el año 2004, significativamente superior al resto de los años con un valor de 14,98 ton MS/ha. La menor producción se registró en el año 1994, con 9,63 ton MS/ha, valor estadísticamente similar a 10 de los otros años (Tabla 3.20).

Al agrupar los años según el promedio general, los rendimientos anuales se compararon a partir del ranking BLUP, generando grupos de alta, media y baja producción. Esto determinó un grupo de 14 años estadísticamente similares y sin diferencias entre sí, con un promedio de producción de 11,09 ton MS/ha. Tres años presentaron rendimientos significativamente inferiores con 9,90 ton MS/ha y fueron clasificados como bajos, mientras que otros tres años registraron valores significativamente superiores con un promedio de 13,72 ton MS/ha, clasificado como de alta producción (Tabla 3.21)

Tabla 3.20. Rendimiento promedio anual de *Lolium perenne* L. en el secano de la zona templada de Chile. Periodo 1993 – 2012.

Año	Producción (ton MS/ha)
2004	14,98 a
2002	13,92 b
2006	12,27 c
2011	11,91 cd
1997	11,71 cde
2003	11,43 cdef
2008	11,39 cdefg
2005	11,28 cdefgh
2001	11,12 defgh
2012	11,06 defghi
1998	11,02 fghij
1995	11,00 fghij
2010	10,88 ghij
2000	10,84 ghij
1999	10,63 hij
2009	10,62 hij
2007	10,37 hij
1996	10,06 ij
1993	10,03 ij
1994	9,63 j

Medias que no comparten una letra en común son diferentes según Prueba de Tukey ($p > 0,05$)
 Coeficiente de variación: 11,5%

Tabla 3.21. Rendimiento de *Lolium perenne* L. clasificado por años, según el ranking BLUP (*Best Linear Unbiased Prediction*), en el secano del área templada de Chile. Periodo 1993 – 2012.

Nivel de producción	Nº Años	Producción (ton MS/ha)			Significancia de BLUP
		Promedio	Máximo	Mínimo	
Alta	3	13,72	14,98	12,27	$P \leq 0,05$
Media	14	11,09	11,91	10,37	$P > 0,05$
Baja	3	9,90	10,06	9,63	$P \leq 0,05$
Total	20				

De acuerdo a estos antecedentes, es posible predecir que en el 70% de los años se va a presentar una producción similar a la media, el 15% se ubicaran sobre el promedio mientras que el otro 15% se ubicará bajo el valor esperado. Esta información es relevante, dado que, en condiciones de la zona templada, existe una alta probabilidad (85%) de que se logre el rendimiento esperado, ya que solo en un 15% de los años la producción fue inferior.

Del análisis de los cultivares se desprende que de los 100 cultivares medidos en 20 años, Banquet II presentó el mayor rendimiento con 14,48 ton MS/ha, valor similar a otros 35 cultivares (Tabla 3.22).

Los resultados de la comparación de los cultivares realizada a través del ranking BLUP, evidenció que 64 cultivares de *Lolium perenne* L. presentaron una producción media significativamente diferente a 19 cultivares que registraron una producción alta (12,77 ton MS/ha) y 17 con producción baja (10,08 ton MS/ha). Esto implica que el 83% de los cultivares posee un comportamiento igual o superior a la media y sólo un 17% de ellos se ubicó bajo el nivel mínimo aceptable para la zona templada (Tabla 3.23).

Las producciones logradas en este periodo de 20 años con 100 cultivares de *Lolium perenne* L. fueron similares a las encontradas por Fuentealba (1998), Gómez (2001), Pérez (2000) y Meza (2009), con esta misma especie y en condiciones similares de suelo y clima.

Tabla 3.22. Rendimiento promedio de 100 cultivares de *Lolium perenne* L. en el secano del área templada de Chile. Temuco. Periodo 1993 – 2012.

Cultivar	Producción (ton MS/ha)	Cultivar	Producción (ton MS/ha)
Banquet II	14,48 a	Vista	11,22 cdefghijklm
Bealey	13,88 ab	Quartet	11,19 cdefghijklm
NZA 891	13,30 abc	Alto	11,19 cdefghijklm
Impact	13,02 abcd	Belramo	11,18 cdefghijklm
HE 48-1	13,01 abcde	Colorado	11,13 cdefghijklm
AGRLP 114	12,89 abcdef	Husky	11,11 cdefghijklm
NZA 924	12,84 abcdefg	LP 147	11,09 cdefghijklm
KLP 507	12,82 abcdefgh	One 50	11,08 cdefghijklm
NZA 892	12,70 abcdefgh	Sampo	11,07 cdefghijklm
Banquet I	12,70 abcdefgh	Labrador	11,05 cdefghijklm
Bronsyn	12,68 abcdefgh	Mongita	11,02 cdefghijklm
Kingston	12,49 abcdefgh	Solo	10,96 cdefghijklm
Cannon	12,45 abcdefghi	Spira	10,93 cdefghijklm
LP 149	12,32 abcdefghi	Sisu	10,91 cdefghijklm
NZA 894	12,29 abcdefghi	Amarillo	10,86 cdefghijklm
Yatsyn 1	12,27 abcdefghij	DP 8414	10,85 cdefghijklm
NZA 925	12,23 abcdefghij	Napoleón	10,84 cdefghijklm
Laguna	12,21 abcdefghij	Tetramax	10,84 cdefghijklm
Formax	12,10 abcdefghij	Tivoli	10,82 cdefghijklm
Kerval	12,06 abcdefghijk	Vital	10,80 cdefghijklm
Trojan	11,96 abcdefghijkl	Meba	10,77 cdefghijklm
Ideal	11,94 abcdefghijklm	Anduril	10,74 cdefghijklm
Proton	11,93 abcdefghijklm	Marylin	10,73 cdefghijklm
Herbie	11,76 abcdefghijklm	Tolosa	10,73 cdefghijklm
Ellet	11,75 abcdefghijklm	Pimpernel	10,68 cdefghijklm
Marathon plus	11,74 abcdefghijklm	Lasso	10,65 cdefghijklm
Respect	11,72 abcdefghijklm	Pomposo	10,58 cdefghijklm
Captain	11,68 abcdefghijklm	PG 1113	10,56 cdefghijklm
Anita HE	11,64 abcdefghijklm	Canasta	10,54 cdefghijklm
LP 150	11,63 abcdefghijklm	Reville	10,49 cdefghijklm
Samson	11,62 abcdefghijklm	PG - 86	10,49 cdefghijklm
Clermont	11,62 abcdefghijklm	Derramage	10,47 cdefghijklm
Pandora	11,62 abcdefghijklm	PG - 101	10,46 cdefghijklm
Elgon	11,61 abcdefghijklm	Anita LE	10,43 cdefghijklm
Marathon HE	11,60 abcdefghijklm	Duet	10,42 cdefghijklm
Commando	11,59 abcdefghijklm	Expo	10,39 cdefghijklm
Moy	11,59 cdefghijklm	Borvi	10,37 cdefghijklm
Supreme	11,58 cdefghijklm	DP 84478	10,35 cdefghijklm
Vedette	11,50 cdefghijklm	Gwendal	10,25 cdefghijklm
Nevis	11,50 cdefghijklm	Aubisque	10,22 cdefghijklm
PG - 85	11,47 cdefghijklm	Cheops	10,09 cdefghijklm
Nui	11,41 cdefghijklm	Trani	10,06 cdefghijklm
Meridian	11,40 cdefghijklm	LP - 92109	10,05 cdefghijklm
Jumbo	11,39 cdefghijklm	Impala	10,04 cdefghijklm
Anita	11,36 cdefghijklm	Monet	10,01 cdefghijklm
Quartet II	11,30 cdefghijklm	Rosaline	9,88 cdefghijklm
Aries	11,29 cdefghijklm	Luna	9,81 ijklm
Extreme	11,27 cdefghijklm	Fetione	9,76 ijklm
Marathon	11,26 cdefghijklm	Pastoral	9,73 ijklm
LP 163	11,25 cdefghijklm	KLP 947	9,46 l

Medias que no comparten una letra en común son diferentes según Prueba de Tukey ($p > 0,05$)
Coeficiente de variación: 11,4%

Tabla 3.23. Clasificación de cultivares de *Lolium perenne* L., según su nivel de rendimiento de acuerdo al ranking BLUP (*Best Linear Unbiased Prediction*), en el secano del área templada de Chile. Periodo 1993 – 2012.

Nivel de producción	Nº Cultivares	Producción (ton MS/ha)			Significancia de BLUP
		Promedio	Máximo	Mínimo	
Alta	19	12,77	14,48	12,10	$P \leq 0,05$
Media	64	11,20	12,06	10,46	$P > 0,05$
Baja	17	10,08	10,43	9,46	$P \leq 0,05$
Total	100				

La mejora genética de la especie y el desarrollo de programas de nutrición vegetal equilibrados, bajo las condiciones de la zona templada, permitieron la expresión del rendimiento de esta especie, logrando rendimientos similares, e incluso superiores, a los descritos por Stewart *et al.* (2014) en Nueva Zelanda, sin embargo, son inferiores al potencial productivo que Thom (2000) menciona para esta especie: 22 a 24 ton MS/ha.

Desde el año 1994 hasta el 2010 se realizaron estudios con mezclas de cultivares de *Lolium perenne* L. con el objetivo de definir el efecto sinérgico que podrían tener estas mezclas en la producción y persistencia de las pasturas. Los resultados logrados fueron concordantes con la información generada en Irlanda por Gilliland *et al.* (2011), que encontraron que la mezcla de cultivares reducía el rendimiento total, pero aumentaba la estabilidad de la pastura, respecto al establecimiento de los componentes separados. Estos estudios muestran que en el desarrollo de una mezcla es determinante la elección correcta de sus componentes, ya que cultivares muy agresivos dominan las primeras etapas de crecimiento y reducen la posibilidad de participación de los componentes más persistentes (Donald, 1963; Woodford, 1966; McBratney, 1978; Culleton *et al.*, 1986).

En el año 2004 se obtuvo la mayor producción promedio de cultivares, con 16,96 ton MS/ha, significativamente diferente al resto de los años. Al agrupar los años de evaluación y someterlos al ranking BLUP, se determinó que a través de los años se puede generar un rendimiento aceptable (medio y alto) con una probabilidad del 86,7%. La probabilidad de un año con bajo nivel productivo es del 13,3%, lo que significará que la producción fuera inferior a 10 ton MS/ha (Tabla 3.24).

Tabla 3.24. Rendimiento promedio anual de mezclas de cultivares de *Lolium perenne* L. en el secano de la zona templada de Chile. Periodo 1994 – 2010.

Año	Producción (ton MS/ha)
2004	16,96 a
2002	14,75 b
1995	13,44 bc
2001	13,04 cd
2005	12,23 cde
2003	12,08 cde
2008	11,93 cdef
2009	11,17 cdefg
2006	11,17 efg
2000	11,06 efg
1996	10,96 efg
2010	10,87 efg
1999	10,31 fg
1994	10,17 fg
2007	7,95 g

Medias que no comparten una letra en común son diferentes según Prueba de Tukey ($p > 0,05$)
Coeficiente de variación: 14,07%

Esta probabilidad fue determinada a partir de los resultados obtenidos durante 11 años, de un total de 15 (73,3%), en los que se registraron producciones consideradas de nivel medio que corresponde a una producción aceptable de 11,66 ton MS/ha. Sólo cuatro años (26,7%) el rendimiento de las mezclas de cultivares de *Lolium perenne* L. se salió de la media: en dos años se logró una producción superior a la media y en otros dos años el nivel de producción fue considerado bajo (Tabla 3.25).

Tabla 3.25. Rendimiento de mezclas de *Lolium perenne* L. clasificado por número de años, según el ranking BLUP (*Best Linear Unbiased Prediction*), en el secano del área templada de Chile. Periodo 1994 – 2010.

Nivel de producción	Nº Años	Producción (ton MS/ha)			Significancia de BLUP
		Promedio	Máximo	Mínimo	
Alta	2	15,86	16,96	14,75	$P \leq 0,05$
Media	11	11,66	13,44	10,31	$P > 0,05$
Baja	2	9,06	10,17	7,95	$P \leq 0,05$
Total	15				

La mezcla de cultivares que produjo el mayor rendimiento en los 15 años de medición fue la constituida por Aries (50%) y Quartet (50%), aunque estadísticamente fue similar a otras 38 mezclas. Estos valores se encuentran dentro de las producciones medias, de los componentes separados (Tabla 3.26), lo que significa que los resultados obtenidos en esta investigación concuerdan con los encontrados por Gilliland *et al.* (2011) y son similares a los logrados por Trenbath (1974).

Tabla 3.26. Rendimiento promedio de 46 mezclas de cultivares de *Lolium perenne* L. en el secano del área templada de Chile. Temuco. Periodo 1994 – 2010.

Mezclas de ballicas perennes	Producción (ton MS/ha)
50% Aries + 50% Quartet	13,88 a
50% Quartet + 50% Pastoral	13,75 a
30% Aries + 35% Quartet + 35% Pastoral	13,57 ab
Kingston 70% + Calibra 30%	13,57 abc
50% Quartet + 50% Gwendal	13,54 abc
50% Elgon + 50% HE 48-1	13,49 abc
50% Elgon + 50% Marilyn	13,45 abc
Kingston 50% + Impresario 50%	13,41 abcd
Kingston 30% + Calibra 70%	13,37 abcd
30% Aries + 35% Quartet + 35% Gwendal	13,32 abcd
50% HE 48-1 + 50% Molisto	13,27 abcd
25% Aries + 25% Quartet + 25% Gwendal + 25% Pastoral	13,23 abcd
50% Elgon + 50% Captain	13,23 abcd
50% Proton + 50% Molisto	13,18 abcd
50% Elgon + 50% Molisto	13,12 abcd
Pastoral + Banquet	13,11 abcde
50% Elgon + 50% Laguna	13,10 abcdef
Foxtrot 30% + Calibra 70%	13,07 abcdef
30% Maverick + 40% Aries + 30% Quartet	13,04 abcdef
Foxtrot 70% + Calibra 30%	13,01 abcdef
50% Elgon + 50% Belramo	12,98 abcdef
50% Elgon + 50% Herbie	12,81 abcdef
50% Aries + 50% Maverick	12,80 abcdef
Kerval + Quartet	12,71 abcdef
50% Elgon + 50% Mongita	12,71 abcdef
66% Reveille + 33% Sambin	12,48 abcdef
Pastoral + Quartet	12,45 abcdef
Kerval + Banquet	12,23 abcdef
66% Fantoom + 33% Reveille	11,75 abcdef
50% Reveille + 50% Sambin	11,68 abcdef
66% Reveille + 33% Fantoom	11,56 abcdef
66% Reveille + 33% Gallico	11,49 abcdef
50% Anaconda+50% Sambin	11,48 abcdef
50% Rosalin + 50% Gallico	11,34 abcdefg
Cannon + Kingston	11,32 abcdefg
66% Reveille + 33 % Francés	11,31 abcdefg
50% Anaconda+50% Gallico	11,07 abcdefg
50% Rosalin + 50% Sambin	11,07 abcdefg
50% Elgon + 50% Esmeralda	10,85 abcdefg
50% Rosalin + 50% HE 4999	10,23 bcdefg
50% LP 4754 + 50% Esmeralda	9,87 cdefg
50% Rosalin + 50% Esmeralda	9,86 cdefg
50% Elgon + 50% HE 4999	9,79 defg
60% Elgon + 40% Sambin	9,53 efg
50% Elgon + 50% Rosalin	9,43 fg
Sugar Mix (Foxtrot + Calibra)	8,46 g

Medias que no comparten una letra en común son diferentes según Prueba de Tukey ($p > 0,05$)

Coefficiente de variación: 16,39%

En relación a las mezclas de cultivares de *Lolium perenne* L., el ranking permitió predecir que, de 46 opciones evaluadas, 31 se ubicaron en un nivel medio de producción (67,3%) y siete mezclas se ubicaron sobre la media generando un grupo de alta producción (Tabla 3.27).

Tabla 3.27. Clasificación de mezclas de cultivares de *Lolium perenne* L., de acuerdo con el nivel de rendimiento, según el ranking BLUP (*Best Linear Unbiased Prediction*), en el secano del área templada de Chile. Periodo 1994 – 2010.

Nivel de producción	N° Cultivares	Producción (ton MS/ha)			Significancia de BLUP
		Promedio	Máximo	Mínimo	
Alta	7	13,61	13,88	13,45	$P \leq 0.05$
Media	31	12,47	13,41	11,07	$P > 0.05$
Baja	8	9,75	10,85	8,46	$P \leq 0.05$
Total	46				

La información obtenida permite deducir que las mezclas de cultivares de *Lolium perenne* L. son estables en el tiempo y logran mantener un nivel de rendimiento a través de los años, independiente de la humedad, temperatura y radiación que se presenten en el área, tal como se había sugerido previamente (McBratney, 1978).

Es importante tener en cuenta que el rendimiento de las pasturas de *Lolium perenne* L. es una consecuencia multifactorial, que depende de la protección que hacen los endófitos frente a los ataques de insectos, la corrección de fertilidad (pH, saturación de aluminio, fósforo y suma de bases), la aplicación de normas de uso correctas (frecuencia e intensidad) y una nutrición equilibrada. Sin embargo, en el logro de la expresión del potencial de producción, un factor determinante es el control de la temperatura y humedad del suelo, que según Rawnsley *et al.* (2007) son la clave para maximizar la producción y persistencia de las pasturas, más aún si se cumple con los requerimientos de luminosidad (Clark *et al.*, 2001).

Al igual que todas las especies ubicadas en áreas templadas, *Lolium perenne* L. concentra su producción en primavera (Figura 3.15). Más del 60% de la producción anual se genera en primavera, lo que provoca un exceso de oferta de forraje en esta época del año que no es posible utilizar en su totalidad y obliga a generar procesos de conservación para almacenar el forraje excedentario.

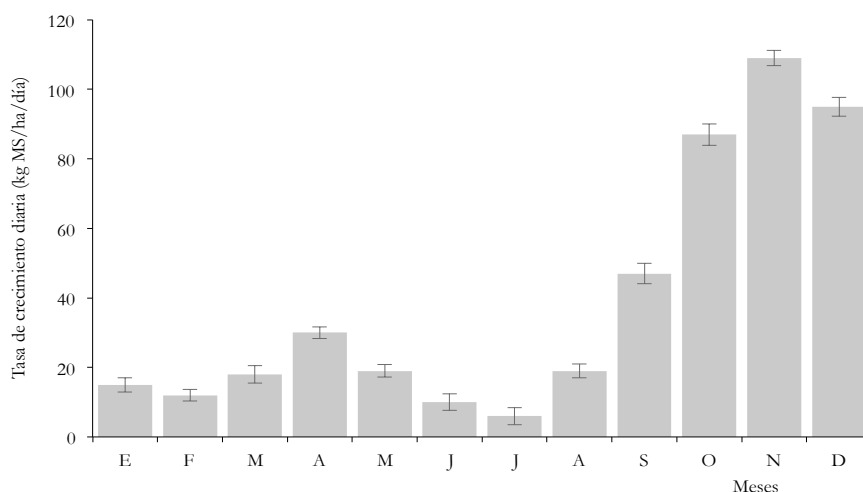


Figura 3.15. Curva de crecimiento anual de una pastura de *Lolium perenne* L. + *Trifolium repens* L. en el área templada. Región de Los Ríos, Chile. Promedio de 12 años.

Coefficiente de variación: 6,32%

Lolium perenne L. es una especie cuya estructura y arquitectura está adaptada al pastoreo y no al corte. La extracción del forraje excedentario de primavera –verano para la elaboración de ensilaje, heno o henilaje solo debe ser realizada a partir del tercer año post siembra. Además, el programa de nutrición basado en un sistema pastoril se debe modificar considerando los nutrientes extraídos en el corte.

El valor nutricional de la pastura de *Lolium perenne* L. + *Trifolium repens* L. se modifica según el contenido de nutrientes que aporta el suelo y las condiciones de temperatura de suelo y ambiente a la cual están sometida

las plantas. En un estudio desarrollado en un andisol de la zona templada se pudieron determinar los cambios en el valor nutricional de una pastura a través del año, las variaciones en la composición química de la pastura relacionadas con las condiciones climáticas imperantes en cada estación del año y los cambios en el estado fenológico de las plantas constituyentes del pastizal (Tabla 3.28).

Tabla 3.28. Variación mensual en el contenido de nutrientes de una pastura de *Lolium perenne* L. + *Trifolium repens* L. en un Andisol de la zona templada. Región de Los Ríos, Chile. Promedio de 12 años.

Nutriente	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
N (%)	2,58	3,14	3,26	3,38	3,34	3,36	3,23	3,64	3,99	3,67	2,83	2,70
P (%)	0,36	0,41	0,44	0,44	0,46	0,46	0,41	0,45	0,51	0,48	0,43	0,39
K (%)	1,67	1,90	2,70	2,56	2,01	1,79	1,48	1,68	2,24	2,57	2,01	1,69
Ca (%)	0,59	0,66	0,58	0,47	0,44	0,44	0,48	0,53	0,57	0,53	0,56	0,48
Mg (%)	0,25	0,28	0,26	0,23	0,20	0,20	0,23	0,22	0,24	0,24	0,25	0,22
Na (%)	0,28	0,32	0,31	0,24	0,20	0,21	0,22	0,23	0,19	0,28	0,23	0,22
S (%)	0,30	0,32	0,34	0,35	0,30	0,30	0,27	0,31	0,30	0,31	0,30	0,28
Cu (cmol+/kg)	7	8	7	10	7	9	15	8	12	10	9	11
B (cmol+/kg)	9	10	9	9	10	13	12	18	8	8	8	8
Zn (cmol+/kg)	64	83	95	136	228	360	237	231	116	101	82	79
Al (cmol+/kg)	132	259	164	316	556	1.021	1.244	1.399	778	387	205	215
Fe (cmol+/kg)	146	279	272	485	486	603	1.498	1.283	482	122	181	120
Mn (cmol+/kg)	154	161	167	166	196	230	278	242	181	146	147	143

En sistemas pastoriles las variaciones de la calidad bromatológica del forraje son cíclicas y responden a las condiciones climáticas y sistema de manejo de pastoreo. Es así como en sistemas que consideran el uso infrecuente intenso los niveles de proteína se ubican en el rango del 16 al 26%, la energía metabolizable de 2,2 a 2,6 Mcal/kg, la digestibilidad de la materia seca del 65 al 75% y el contenido de fibra entre 38 y el 52%.

***Festuca arundinacea* Schreber (festuca)**

Esta especie corresponde a una gramínea perenne que se introdujo en Chile desde Estados Unidos en el año 1904 (Águila, 1997). Corresponde a una especie de la familia Poaceae, sub familia Pooideae, tribu Poeae, sub tribu Loliinae y género *Festuca* y su descripción botánica fue realizada por Johann Christian Daniel von Schreber, naturalista alemán que fue discípulo de Carl Nilsson Linnaeus (Carlos Linneo).

De crecimiento erecto, posee un sistema radical fibroso que se desarrolla en profundidad. Sus tallos, no abundantes, pueden llegar hasta un metro de altura, dependiendo de la fertilidad del suelo. Sus hojas nacen de la base de la planta son profundas y de color verde oscuro (Figura 3.16). Posee aurículas prominentes y ciliadas en el margen. Su inflorescencia es una panícula que produce gran cantidad de semillas (Gillet, 1984; Demanet, 2009).



Figura 3.16. *Festuca arundinacea* Schreber (Festuca).

Es de lento establecimiento, pero, una vez establecida, forma pasturas densas y persistentes. Se adapta a una amplia gama de climas y suelos, soportando tanto situaciones de mal drenaje, como sequías prolongadas. Es sensible a la acidez de los suelos, lo que impide su normal desarrollo en suelos de pH ácido y alta saturación de aluminio. Posee una rápida capacidad de rebrote, lo que le permite ser usada en pastoreos intensos y frecuentes que aseguran una buena calidad de forraje y evitan la selección por parte de los animales. Los nuevos cultivares producen hojas suaves con mayor palatabilidad y valor nutritivo (Demanet, 2008; Demanet, 2009).

Se reconocen dos grandes grupos de festuca basados en su crecimiento estacional. El grupo de verano activo, denominado de tipo Continental, contiene cultivares de crecimiento activo y vigoroso en verano y escaso en invierno. El otro grupo, corresponde a la festuca de tipo Mediterráneo, que contiene cultivares con poco crecimiento de verano e importante producción en invierno. Están adaptadas a condiciones de verano seco y su uso es muy limitado en las zonas templadas del mundo (Stewart *et al.*, 2014).

En el mundo existe una gran oferta de cultivares de esta especie de diferentes orígenes (Nueva Zelanda, Australia, Estados Unidos, Holanda y Dinamarca). Los cultivares que se comercializan en Chile provienen, principalmente, de Nueva Zelanda y Dinamarca y las características por las que se han seleccionado son la suavidad de sus hojas, palatabilidad, y producción (Demanet, 2008; Demanet, 2009) (Tabla 3.29). Todos los cultivares comercializados en Chile son de tipo Continental (Demanet, 2014).

Tabla 3.29. Características de los cultivares de *Festuca arundinacea* Schreb. disponibles en Chile.

Características	Nº
Origen	
Argentina	1
Estados Unidos	1
Europa	4
Nueva Zelanda	3
Dinamarca	1
Presencia de endófitos	
Sin endófito	8
Con Endófito	2
Floración (*)	
Precoz	3
Intermedia	7
Crecimiento	
Activo en verano	7
Dormante en verano	3

(*) Fecha de floración comparada con la del cultivar Nui y corresponde a los días que florece el 50% de las plantas de un determinado cultivar. Fuente: adaptado de Demanet (2014).

La presencia del hongo deuteromiceto *Epichloë coenophiala* en las plantas (Glenn *et al.*, 1996; Morgan-Jones & Gams, 1982), no genera síntomas ni trastornos en el ciclo de vida de la festuca, pero en los animales que la consumen, en condiciones de sequía y alta temperatura, puede causar toxicosis (festucosis). En bovinos, la presencia de la toxina ergovalina genera incremento de la temperatura corporal, inapetencia, aspereza y pérdida de brillo del pelo, aborto, gangrenas en extremidades, orejas y cola y reducción de la ganancia diaria de peso (Bacon *et al.*, 1977; Bacon *et al.*, 1986; Paterson *et al.*, 1995).

Este hongo endófito, se transmite verticalmente por las semillas. Por tanto, la presencia del endófito y sus toxinas en las plantas sólo es posible cuando esta especie se siembra o resiembra con semillas infectadas con el hongo (Hill *et al.*, 1998). Esta simbiosis mutualista entre la planta y el hongo le permite a *Festuca arundinacea* Schreb., lograr una mayor tolerancia a la sequía (Arachevaleta *et al.*, 1989) e incrementar el número de macollos y la producción de forraje (Hill *et al.*, 1990).

En Chile solo dos cultivares, que corresponden a los tipos E34 y Protek, poseen hongo endófito. Este, según sus obtentores, permiten la protección de la planta al ataque de insectos y sus toxinas no causarían problemas de festucosis o temblor muscular en el ganado. Esto sin embargo, aún no se ha demostrado en el país.

Festuca arundinacea Schreb. es una especie que permite la asociación con otras especies, dependiendo de la

ubicación y uso, generando pasturas polifíticas de duración superior a 50 años de persistencia. En sectores de suelos hidromórficos se asocia con *Lolium perenne* L., y en áreas con periodos prolongados de sequía se siembra en asociación con *Dactylis glomerata* L. y *Bromus stamineus* Desv. (Demanet, 2009).

Esta especie es muy versátil y es capaz de soportar periodos prolongados de déficit hídrico o inundación temporal (Stewart *et al.*, 2014), pero su persistencia disminuye de forma drástica en suelos ácidos de pH debajo de 5,8 y porcentaje de saturación de Al superior al 4% (Demanet, 2014). El uso de insecticidas durante el establecimiento genera un ambiente propicio para el desarrollo inicial de las plantas, pero su efecto es efímero y no protege a la pastura de ataques futuros de *Listronotus bonariensis* (Kuschel). La severidad del daño de este insecto en *Festuca arundinacea* Schreb. es inferior al generado por el insecto en *Lolium perenne* L. (Charlton *et al.*, 1986).

Festuca arundinacea Schreb. es una especie cuya arquitectura se adapta al pastoreo. Sin embargo, en algunas ocasiones especiales puede ser utilizada para la conservación de forraje, principalmente mediante ensilaje (Demanet, 2009).

Establecida tanto en sistemas de labranza convencional con preparación de suelos, como en cero labranzas esta especie se siembra en dos épocas muy definidas: febrero – marzo y agosto - septiembre. El retraso en la época de siembra genera problemas de emergencia de las plántulas y una fuerte competencia con las especies residentes.

Para lograr que en el primer mes de siembra se alcance una población inicial de 700 plantas/metro cuadrado es necesario que el suelo posea una temperatura de al menos 12°C en el periodo de siembra a emergencia. Esto es particularmente importante en esta especie debido a que las tasas de crecimiento iniciales son muy bajas.

Festuca arundinacea Schreber se puede sembrar sola o asociada a leguminosas como *Trifolium repens* L. y *Trifolium subterraneum*. Además, es factible establecer esta especie con otras gramíneas como *Lolium perenne* L., *Dactylis glomerata* L. o *Bromus* spp. La dosis de semilla depende del tipo de mezcla, época y sistema de siembra (Tabla 3.30). En siembras cero labranzas es necesario aumentar la dosis de semilla en, al menos, un 20%, al igual que en siembras realizadas fuera de la época recomendada.

Tabla 3.30. Opciones de siembra y dosis de semilla de *Festuca arundinacea* Schreber sembrada sola asociada a leguminosas y gramíneas.

Opciones	Festuca	Ballica perenne	Pasto ovillo	Bromo	Trébol blanco	Trébol subterráneo
Festuca sola	20					
Festuca + Trébol blanco	20				3	
Festuca + Trébol subterráneo	20					8
Festuca + Ballica perenne	20	10				
Festuca + Ballica perenne + Trébol blanco	20	10			3	
Festuca + Pasto ovillo	20		10			
Festuca + Pasto ovillo + Trébol blanco	20		10		3	
Festuca + Pasto ovillo + Trébol subterráneo	20		10			8
Festuca + Bromo	15			25		
Festuca + Bromo + Trébol blanco	15			25	3	
Festuca + Bromo + Trébol subterráneo	15			25		8
Festuca + Ballica + Pasto ovillo	10	10	10			
Festuca + Ballica + Pasto ovillo + Trébol blanco	10	10	10		3	

El rendimiento de la pastura está determinado por el nivel de fertilidad del suelo, la nutrición de las plantas, el manejo de pastoreo y la corrección de acidez. Bajo condiciones de adecuada nutrición, la pastura de *Festuca arundinacea* Schreb. puede alcanzar en forma estable un nivel de rendimiento superior a 14 ton MS/ha (Figura 3.17). El crecimiento se concentra en primavera con más del 60% de la producción anual. Durante el invierno el rendimiento fluctúa entre 1.000 y 1.500 kilos de materia seca por hectárea (Demanet, 2014).

Aun cuando a nivel experimental *Festuca arundinacea* Schreb. ha generado buenos resultados, su utilización en Chile aun es reducida, como consecuencia del bajo aprecio que existe de esta especie y de la falta de conocimiento de su manejo y establecimiento. Los cultivares de floración precoz e intermedia generan un acelerado proceso de maduración del forraje en primavera, lo que debe ser controlado a través de pastoreos frecuentes e intensos, situación que no favorece la producción individual de leche de las vacas (Milne *et al.*, 1997).

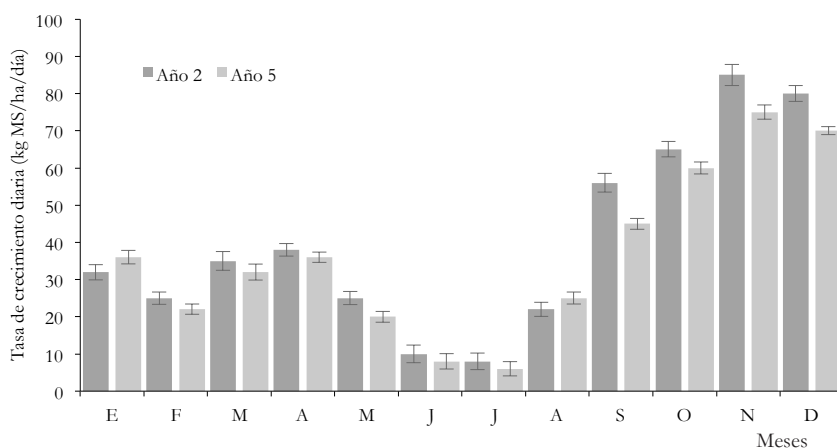


Figura 3.17. Curva de crecimiento de una pastura de *Festuca arundinacea* Schreb + *Trifolium repens* L. en la zona templada de Chile.

Coefficiente de variación: 7,45%

Al comparar *Festuca arundinacea* Schreb. con *Lolium perenne* L. se aprecia que la primera especie es mejor opción para áreas con déficit hídrico prolongado, dado que es más tolerante a temperaturas altas (Reed, 1966) y a la sequía (Garwood *et al.*, 1979). McCallum *et al.* (1992) y Thomson *et al.* (1988) demostraron que *Festuca arundinacea* Schreb. genera una mayor producción de materia seca en condiciones de secano que *Lolium perenne* L. y, además, es más tolerante a la utilización bajo corte. En relación al uso del agua, Martín *et al.* (2008) mostraron que *Festuca arundinacea* Schreb. es más eficiente y logra generar más producción a igual disponibilidad de agua en el suelo.

Las limitaciones de *Festuca arundinacea* Schreb. están relacionadas con la velocidad de emergencia y desarrollo inicial de la pastura y la gestión de pastoreo (Easton *et al.*, 1994), factores que han restringido su inclusión en sistemas de producción de leche bovina (Muslera & Ratera, 1991; Milne *et al.*, 1997).

En el periodo 1993 - 2012 se midió el rendimiento anual de 32 cultivares de *Festuca arundinacea* Schreb. El año 2011 presentó el mayor rendimiento, aunque estadísticamente similar a los años 2012 y 2004 (Tabla 3.31). Al agrupar los años de acuerdo al ranking BLUP fue posible determinar que cuatro años presentaron un nivel de producción alto (21%), 11 años una producción media (57%) y cuatro años un rendimiento considerado bajo, pero que para las condiciones de la región templada fueron muy bajos, ya que se logra un promedio de producción inferior a 6 ton MS/ha (Tabla 3.32).

Tabla 3.31. Rendimiento promedio anual de *Festuca arundinacea* Schreb. en el secano de la zona templada de Chile. Periodo 1993 - 2012.

Año	Producción (ton MS/ha)
2011	12,70 a
2004	12,42 ab
2012	10,27 abc
2002	10,05 bcde
2010	10,04 bcde
2009	9,87 bcde
2008	9,48 bcdef
2003	8,40 bcdefg
2001	8,14 bcdefg
2000	7,69 cdefgh
1997	7,21 efgh
1996	6,99 efghi
1993	6,90 efghi
1998	6,53 ghi
1999	6,18 ghi
2005	6,00 ghij
2007	5,68 ghij
1995	5,16 ij
1994	3,81 j

Medias que no comparten una letra en común son diferentes según Prueba de Tukey ($p > 0,05$)

Coefficiente de variación: 27,70%

Tabla 3.32. Rendimiento de *Festuca arundinacea* Schreb. clasificado por años, según el ranking BLUP (*Best Linear Unbiased Prediction*), en el secano del área templada de Chile. Periodo 1993 – 2012.

Nivel de producción	N° Años	Producción (ton MS/ha)			Significancia de BLUP
		Promedio	Máximo	Mínimo	
Alta	4	11,36	12,70	10,05	$P \leq 0.05$
Media	11	7,95	10,04	6,18	$P > 0.05$
Baja	4	5,16	6,00	3,81	$P \leq 0.05$
Total	19				

Los 32 cultivares medidos en 19 años de evaluación presentaron valores de rendimiento muy heterogéneos con un máximo de 12,49 ton MS/ha (Au Triumph) y un mínimo de 4,34 ton MS/ha (Kora) (Tabla 3.33). Nueve cultivares presentaron una producción anual similar al cultivar Au Triumph y 17 al cultivar de menor rendimiento Kora.

Tabla 3.33. Rendimiento promedio de 32 cultivares de *Festuca arundinacea* Schreb. en el secano del área templada de Chile. Temuco. Periodo 1993 – 2012.

Cultivar	Producción (ton MS/ha)
Au Triumph	12,49 a
Madra	10,74 ab
Martin II	10,40 abc
Cochise 2	10,04 abcd
Cajun	9,80 abcd
Carmine	9,67 abcd
Fawn	9,45 abcd
K-31	9,43 abcd
Flexy	9,34 abcd
KFA 949	9,30 abcde
Quantum	9,10 bcde
Manade	8,96 bcde
Exella	8,68 bcde
Fuego	8,51 bcde
Quantum I	8,47 bcdef
Siene	8,37 bcdef
Advance	8,23 bcdef
Vulcan	8,17 bcdef
Mylena	8,11 bcdef
Quantum II	7,39 bcdef
Stargrazer	7,29 bcdef
Turf	7,28 bcdef
Torpedo HE	7,17 bcdef
Tall	7,07 bcdef
Vulcan III	6,80 bcdef
Dovey	6,76 bcdef
Torpedo LE	6,67 cdf
Vulcan II	6,19 def
Perun	5,35 ef
Revolution	4,58 f
Maximize	4,38 f
Kora	4,34 f

Medias que no comparten una letra en común son diferentes según Prueba de Tukey ($p > 0,05$)
 Coeficiente de variación: 28,78%

A través de la aplicación del ranking BLUP fue posible agrupar los cultivares de acuerdo a su nivel de rendimiento, valor que permite predecir qué número de cultivares, y cuáles, van a tener una alta repetitividad de su producción a través del tiempo. El 12,5% de los cultivares evaluados presentaron un rendimiento significativamente superior a la media, 62,5% una producción media, con rendimiento promedio de 8,49 ton MS/ha y 25% una muy baja producción 5,64 ton MS/ha (Tabla 3.34).

Tabla 3.34. Clasificación de los cultivares de *Festuca arundinacea* Schreb. de acuerdo a su nivel de rendimiento, según el ranking BLUP (*Best Linear Unbiased Prediction*), en el secano del área templada de Chile. Período 1993 – 2012.

Nivel de producción	N° Cultivares	Producción (ton MS/ha)			Significancia de BLUP
		Promedio	Máximo	Mínimo	
Alta	4	10,92	12,49	10,04	$P \leq 0.05$
Media	20	8,49	9,80	7,07	$P > 0.05$
Baja	8	5,64	6,80	4,34	$P \leq 0.05$
Total	32				

La variabilidad de los resultados y el bajo rendimiento general que se registró con los cultivares de esta especie son el resultado de la inmadurez que presenta el mercado nacional respecto al uso de este recurso forrajero. El nivel de rendimiento es muy exiguo y la variación entre años muestra que las opciones evaluadas no corresponden a las mejores alternativas para la zona templada.

Si bien la introducción de esta especie fue alrededor del 1904 (Águila, 1997) su utilización en los sistemas ganadero de la zona templada aun no es masiva, debido a la mala calidad de los cultivares que se introdujeron en el siglo pasado, y a la baja persistencia, generada por la intolerancia a la acidez de los suelos.

Considerando las limitaciones de uso de *Festuca arundinacea* Schreb. se ha introducido en el país *Festulolium* (Figura 3.18), una gramínea perenne originada por el cruzamiento entre los géneros *Lolium* y *Festuca*. El híbrido se puede producir de forma natural, sin embargo, las plantas generadas son estériles. La morfología es variable y depende de la participación de las líneas parentales. Los híbridos más reconocidos son el producto del cruzamiento *L. multiflorum* Lam. o *L. perenne* L. $\times$ *F. arundinacea* Schreb. o *Festuca pratensis* Huds. (Demanet, 2009).



Figura 3.18: Pastura de *Festulolium* en el área circundante al lago Calafquén. Región de La Araucanía.

Usualmente, los cultivares de *Festulolium* presentan características de ambas especies; sin embargo, muchos tienen la tendencia a presentar particularidades más destacadas de una u otra especie (Stewart *et al.*, 2014). No todas las plantas generadas por el cruzamiento contienen introgresión detectable desde *Festuca* y, en general, difieren poco de *Lolium*, según reportaron Kopecky *et al.* (2008).

En el periodo entre 2003 y 2010 se evaluaron en la Estación Experimental Maquehue cinco cultivares de *Festulolium*, que alcanzaron una producción máxima de 12,1 ton MS/ha. Tres cultivares correspondieron al cruzamiento de *Lolium multiflorum* L. $\times$ *Festuca arundinacea* Schreb., y dos cultivares al cruce entre *Lolium perenne* L. $\times$ *Festuca pratensis* Huds.

***Dactylis glomerata* L. (pasto ovillo)**

Especie perenne de la familia de las *Poaceae*, subfamilia Pooideae, tribu Poeae, subtribu Dactylidinae y género *Dactylis* (Figura 3.19). Se trata de una planta de estación fría originaria de Eurasia y norte de África, auto incompatible y anemófila (polinizada por el viento). Presenta diversos niveles de ploidía y una alta variación fenotípica, lo que le confiere la característica de ser una especie con gran capacidad de adaptación a diversos hábitats y condiciones ambientales, tanto en poblaciones naturales como en las introducidas (Lundqvist, 1969; Lumaret & Barrientos, 1990; Litrico, *et al.* 2009).



Figura 3.19. *Dactylis glomerata* L. (pasto ovillo)

La importancia de esta especie en las zonas templadas radica en la alta capacidad de adaptación de sus poblaciones a diversas condiciones edafoclimáticas, lo que le permite sobrevivir en condiciones extremas y la convierten en un valioso modelo de adaptación genética y fenotípica formando poblaciones locales de alta ubicuidad (Last *et al.*, 2014).

En sistemas de uso intensivo esta especie reduce la altura de sus plantas y la variabilidad genética y fenotípica, comportamiento diametralmente distinto al que se produce en sistemas naturales y de manejo extensivo, en los que las poblaciones presentan una alta diversidad genotípica y fenotípica (Last, *et al.*, 2014).

Fue introducida en Chile a finales del siglo XIX, estableciéndose en la parte sur del valle central y durante el siglo XX se propagó con rapidez a la zona templada. En la década de los 50, la Estación Experimental Centinela del Departamento de Investigaciones Agrícolas produjo y comercializó en Osorno dos cultivares seleccionados de la zona, denominados Adriafén y Centifén, los cuales fueron desplazados rápidamente por cultivares procedentes de Nueva Zelanda (Águila, 1997).

Esta especie se encuentra ampliamente difundida en la zona templada, en donde se ha naturalizado y ha desplazado a especies naturales de baja resiliencia. La perturbación del ecosistema templado ha permitido el desarrollo y la invasión de esta especie en áreas con suelos frágiles de baja fertilidad y elevada intensidad de uso.

Los cultivares introducidos en el país se caracterizan por presentar una moderada rusticidad. Se adaptan a los suelos de origen volcánico presentes en la zona templada y presentan alta tolerancia a periodos de déficit hídrico. Resisten pastoreos laxos e intensos y son capaces de soportar condiciones de baja fertilidad, acidez y contenido moderado de aluminio en el suelo.

Es una especie de lento establecimiento, pero a partir del segundo año productivo se comporta como una planta muy agresiva y competitiva, que forma champas y genera un tapiz vegetal denso (Demanet, 2014). Domina la composición botánica de las pasturas cuando estas son sometidas a periodos prolongados de rezago (Stewart *et al.*, 2014). Su contenido de proteína es inferior, en al menos dos puntos porcentuales, al de la ballica perenne (Demanet, 2014).

Presenta un extenso periodo de siembra que esta limitado por condiciones ambientales como son la temperatura del suelo y su nivel de saturación de agua. Para lograr una adecuada emergencia se requiere que el suelo esté al menos, a 10°C: Esto es importante tenerlo en cuenta ya que, en esas condiciones, logra competir con las especies residentes que habitualmente son más agresivas en las primeras etapas de desarrollo de las plantas.

Esta especie se establece en los periodos de febrero – marzo o agosto – septiembre, sola o asociada con leguminosas y gramíneas perennes que otorgan a la pastura una alta diversidad y versatilidad de uso. La dosis de semillas está regulada para lograr, al menos, 700 plántulas por metro cuadrado en el momento de la emergencia. Las opciones de establecimiento se muestran en la Tabla 3.35.

Tabla 3.35. Opciones de siembra y dosis de semilla de *Dactylis glomerata* L. sembrada sola o asociada a leguminosas y gramíneas.

Opciones	Pasto ovillo	Ballica perenne	Festuca	Bromo	Trébol blanco	Trébol subterráneo
Pasto ovillo	12					
Pasto ovillo + Trébol blanco	12				3	
Pasto ovillo + Trébol subterráneo	12					8
Pasto ovillo + Ballica perenne	12	15				
Pasto ovillo + Ballica perenne + Trébol blanco	12	15			3	
Pasto ovillo + Festuca	10		20			
Pasto ovillo + Festuca + Trébol blanco	10		20		3	
Pasto ovillo + Festuca + Trébol subterráneo	10		20			8
Pasto ovillo + Bromo	12			25		
Pasto ovillo + Bromo + Trébol blanco	12			25	3	
Pasto ovillo + Bromo + Trébol subterráneo	12			25		8
Pasto ovillo + Ballica + Festuca	10	10	10			
Pasto ovillo + Ballica + Festuca + Trébol blanco	10	10	10		3	

Las estaciones de crecimiento de esta especie son primavera, verano y otoño. *Dactylis glomerata* L. no es tolerante al frío, por esta razón en el invierno la producción es reducida (White & Hodgson, 1999). En condiciones de verano seco el nivel de rendimiento de esta especie es superior al logrado por *Lolium perenne* L. (Stewart *et al.*, 2014).

Evaluaciones realizadas en la zona templada mostraron que el nivel de rendimiento promedio de los cultivares de pasto ovillo evaluados fue inferior a 7 ton MS/ha. Romero *et al.* (1986), en una evaluación de los cultivares Apanui y Cambria lograron un rendimiento máximo de 6,74 ton MS/ha en promedio de cinco temporadas. Menor aun fue el rendimiento logrado por Ortega *et al.* (1993) que en un promedio de tres temporadas sólo alcanzó la escuálida producción de 3,62 ton MS/ha.

El potencial de rendimiento de esta especie es similar a *Lolium perenne* L. en condiciones de riego y en alta fertilidad de suelos pasto ovillo puede alcanzar una producción anual superior a 22 ton MS/ha (Mills *et al.*, 2006), sin embargo, en condiciones de secano y escasa fertilidad su producción es muy baja (Stewart *et al.*,

2014). En suelos con bajo nivel de fertilidad y escasa disponibilidad de nitrógeno se desarrolla mejor que otras gramíneas perennes de la zona templada (Mills *et al.*, 2006).

En el periodo de 1995 a 2003 se evaluó el comportamiento productivo de cinco cultivares de *Dactylis glomerata* L. en condiciones de secano en la zona templada. El máximo rendimiento alcanzado fue de 12,91 ton MS/ha (Tabla 3.36), muy inferior al logrado en la misma estación de prueba con *Lolium perenne* L., pero superior al obtenido por Ortega *et al.* (2013) en Temuco (7,3 ton MS/ha) y similar al logrado por los mismos autores en Valdivia (12,3 ton MS/ha), Osorno (13,6 ton MS/ha) y Frutillar (14,0 ton MS/ha), todas ellas localidades de la zona templada de Chile.

Tabla 3.36. Rendimiento promedio anual de *Dactylis glomerata* L. en el secano de la zona templada de Chile. Periodo 1995 – 2003.

Año	Producción (ton MS/ha)
2002	12,91 a
1997	9,89 b
2001	9,39 b
1996	8,93 bc
2000	8,87 bc
1995	7,89 cd
2003	7,34 d
1999	6,48 d

Medias que no comparten una letra en común son diferentes según Prueba de Tukey ($p > 0,05$)
Coeficiente de variación: 11,04%

Al agrupar los años a través del ranking genético de datos que otorga el índice BLUP, se evidenció que en el 88% de los años se produjo un rendimiento medio alto, lo que significa que esta especie posee una alta capacidad de adaptación a las diferentes condiciones climáticas que se registran entre años en la zona templada (Tabla 3.37).

Tabla 3.37. Rendimiento de materia seca de *Dactylis glomerata* L., clasificado por años según el ranking BLUP (*Best Linear Unbiased Prediction*), en el secano del área templada de Chile. Periodo 1995 – 2003.

Nivel de producción	Nº Años	Producción (ton MS/ha)			Significancia de BLUP
		Promedio	Máximo	Mínimo	
Alta	1	12,91	12,91	12,91	$P \leq 0,05$
Media	6	8,72	9,89	7,34	$P > 0,05$
Baja	1	6,48	6,48	6,48	$P \leq 0,05$
Total	8				

El rendimiento de los cinco cultivares evaluados durante ocho años, no presentó diferencias estadísticas significativas entre ellos, con lo cual no fue posible elaborar el ranking BLUP correspondiente (Tabla 3.38).

Tabla 3.38. Rendimiento promedio cinco cultivares de *Dactylis glomerata* L. en el secano del área templada de Chile. Temuco. Periodo 1995 – 2003.

Cultivares	Producción (ton MS/ha)
K-1	9,34 a
Starly	9,21 a
Ella	8,85 a
Kara	8,84 a
Wana	8,59 a
Promedio	8,96

Medias que no comparten una letra en común son diferentes según Prueba de Tukey ($p > 0,05$)
Coeficiente de variación: 24,32%

Esto significa que todos presentan un nivel de producción similar (8,96 ton MS/ha), que se ubica en un nivel intermedio respecto a los resultados presentados por Ortega *et al.* (2013) en Temuco y muy disminuido respecto a los resultados de los mismos autores en Valdivia y Osorno y a la información reportada por Demanet (2014) para el área templada de Chile.

Los resultados indicaron que esta especie tiene una alta capacidad de adaptación a las variaciones climáticas de la zona y que los cultivares evaluados son similares en cuanto a su comportamiento.

Al igual que *Lolium perenne* L. y *Festuca arundinacea* Schreber, esta especie concentra su producción en la estación de primavera. Sin embargo, logra generar un buen crecimiento en verano producto de su tolerancia al déficit hídrico y factibilidad de crecimiento a mayor temperatura (Figura 3.20).

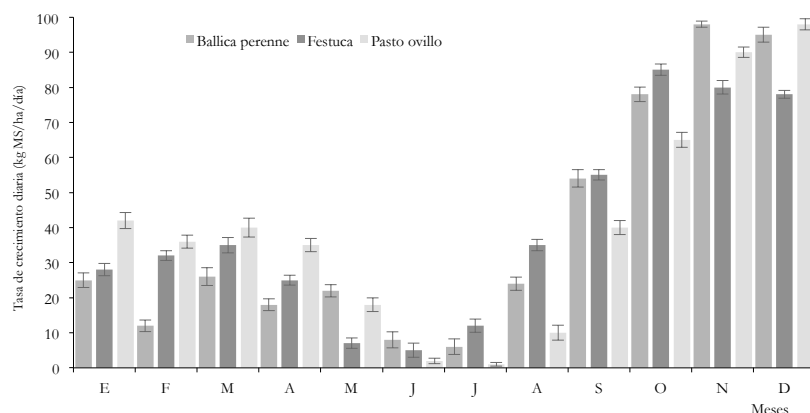


Figura 3.20. Curva de crecimiento de tres especies forrajeras perennes en la zona templada de Chile. Coeficiente de variación: 7,19%

Durante el periodo productivo de esta pastura es necesario mantener un programa de uso en franjas con pastoreo de mayor frecuencia que en el caso de festuca y ballica, con el objetivo de evitar que las plantas generen champas densas aisladas. La alta intensidad de pastoreo permite la obtención de un tapiz vegetal con buena cobertura. Al igual que con todas las gramíneas, en primavera la pastura debe ser sometida a pastoreos de mayor frecuencia para evitar la espigadura, ya que, en esa situación, se incrementan los niveles de fibra y disminuye la digestibilidad y palatabilidad del forraje. La baja intensidad y frecuencia de pastoreo determinan que esta especie domine la composición botánica de la pastura, con plantas espigadas de baja calidad bromatológica. Esta situación conduce a desarrollar manejos poco deseados, como es, el corte de limpieza mecánico, especialmente en el periodo estival.

La calidad bromatológica de esta especie es similar a la de todas las especies forrajeras perennes excepto en el periodo de fructificación en el que la planta suele presentar niveles de proteína inferiores a *Lolium perenne* L., *Festuca arundinacea* Schreber, entre otras. En periodos húmedos y con temperaturas superiores a 15°C, las plantas de *Dactylis glomerata* L. reducen su calidad como consecuencia de la presencia de *Puccinia striiformis* f. sp. *Dactyloides* que afecta en forma profusas sus hojas, generando clorosis y muerte de las mismas.

La variación estacional del contenido de nutrientes es el resultado de cambios en el estado fenológico de las plantas y en las condiciones climáticas (Tabla 3.39). El mayor contenido de proteína se registra en otoño e inicio de la primavera, siendo este valor sustancialmente más reducido respecto al logrado por otras especies gramíneas perennes en la misma fecha.

Tabla 3.39. Contenido de nutrientes en pastura de *Dactylis glomerata* L. en la zona templada de Chile. Promedio de seis temporadas. 2010 -2015.

Componente	Verano	Otoño	Invierno	Primavera
Materia seca (%)	26,1	12,3	19,6	14,4
Proteína cruda (%)	10,1	21,7	12,1	18,4
FDA (%)	23,6	24,4	26,1	22,4
FDN (%)	51,7	45,3	46,1	42,4
Energía Metabolizable (Mcal/kg)	2,4	2,6	2,4	2,5
Cenizas totales (%)	10,3	9,8	10,4	9,7

***Bromus spp* (bromo)**

El género *Bromus* pertenece a la familia Poaceae, sub familia Pooideae, tribu Bromeae y fue descrito por Carl Nilsson Linnaeus (Carlos Linneo). Corresponde a un conjunto de especies anuales, bianuales y perennes que se encuentran en las regiones templadas de África y América. Incluye más de 400 especies que presentan tallos floríferos, generalmente erectos o procumbentes, láminas lineales o planas, glabras o pubescentes y lígula membranosa o hialina glabra. Ocasionalmente exhiben aurículas, una vaina abierta sólo en su parte superior y una panícula laxa o densa (Gillet, 1984; Matthei, 1986).

Las especies de bromo (*Bromus spp.*) son plantas de alta rusticidad, tolerante a condiciones de déficit hídrico y pastoreos frecuentes – intensos. No soportan excesos de humedad, admiten condiciones de acidez de suelo y toleran el ataque de gusano blanco y gorgojo barrenador del tallo de las ballicas (Demanet, 2014). Se trata de una planta muy tolerante a las condiciones de sequía de verano, superando a *Lolium perenne* L. Presenta una buena producción de invierno y sus requerimientos nutricionales son menores al de otras especies (Demanet & Contreras, 1988).

Las especies que suelen ser utilizadas en el desarrollo de pasturas son: *Bromus willdenowii* Kunth, *Bromus stamineus* Desv. (Figura 3.21), *Bromus burkartii* Muñoz, *Bromus valdivianus* Phil., *Bromus leptoclados* Nees, *Bromus runssorensis* K. Schum., *Bromus carinatus* Hook. & Arn., *Bromus lithobius* Trin., *Bromus setifolius* J. Presl, que se caracterizan por presentar buena palatabilidad, alto valor nutritivo y no poseen principios tóxicos (Langer, 1994; White & Hodgson, 1999; Stewart *et al.*, 2014). Además, todos carecen de hongos endófito y presentan cierta tolerancia a condiciones de estrés hídrico, acidez del suelo y pastoreos poco prolijos (Stewart, 1996, Toneatti & Rivera, 2005; Demanet, 2014; López *et al.*, 2016).



Figura 3.21. *Bromus stamineus* Desv.

La mayoría de las especies de *Bromus* que se encuentran en el país poseen una gran ubicuidad y crecen desde las zonas altiplánicas hasta Tierra del Fuego, en la Patagonia (Matthei, 1986). En la zona templada predominan las de tipo perenne, siendo las de mayor importancia *Bromus catharticus* Vahl, *Bromus valdivianus* Phil. y *Bromus stamineus* Desv.

Bromus catharticus Vahl.: Se conocen tres sinonimias *Bromus willdenowii* Kunth, *Bromus schraderi* Kunth y *Bromus uniolooides* H.B.K. (Hume, 1991). El origen de esta especie es América del Sur y aun cuando se registran ecotipos anuales, bianuales y perennes, en la zona templada domina este último, que se encuentra ampliamente distribuido en los pastizales naturalizados (Matthei, 1995).

Se caracteriza por su mayor tolerancia a periodos prolongados de estrés hídrico, superior a la de otras especies del

área templada (Jung *et al.*, 1994; Kemp, 1988). Su desarrollo se afecta e incluso puede tener un comportamiento anual cuando se establece en suelos que presentan periodos prolongados de inundación (Balesky & Stout, 1994). Además, a diferencia de las otras especies de *Bromus*, es poco tolerante a la presencia de aluminio en el suelo (Wheeler, 1995).

Las plantas desarrollan pastizales densos cuando son sometidas a sistemas de pastoreos infrecuentes – intensos. El incremento de la frecuencia limita la recuperación de las plantas, factor muy sensible en esta especie dado que es particularmente lenta en su velocidad de rebrote (Hume, 1991; Giménez & Rumi, 1987).

Esta es una de las pocas especies del área templada que es capaz de soportar el pastoreo continuo sin reducir su cobertura. El mantenimiento de sistemas de uso con defoliación permanente permite mantener un alto valor nutritivo de las plantas (Marvin *et al.*, 1996), pero genera una reducción de la producción que puede alcanzar hasta un 60% en la producción anual. La frecuencia de la defoliación constituye el factor determinante en el nivel de rendimiento de este tipo de pastura (Bell & Ritchie, 1989; Jung *et al.*, 1994).

El cultivar más difundido en la zona templada fue Matua, que se suponía que tenía un buen desarrollo de otoño y una alta calidad en primavera (Balesky & Stout, 1994). Estas características no fueron apreciadas y el cultivar, en poco tiempo, desapareció del mercado.

Bromus valdivianus Phil. es una especie nativa de Chile que presenta ciertas semejanzas con *Bromus willdenowii* Kunth que fue antes conocido como *Bromus unioides* Humb. Bonpl. o *Bromus catharticus* Valh (Stewart, 1992). De forma común se le denomina bromo, pasto del perro, hierba del perro o lanco (Navas, 1973). Según Matthei (1986), esta especie se encuentra en todo el país y crece en forma cespitosa en praderas naturales a alturas menores a 1.000 m.s.n.m., en zonas con precipitaciones sobre 650 mm anuales. Crece en abundancia en Valdivia, Osorno y Chiloé y constituye un valioso componente de las praderas naturales, en las que destaca por su tolerancia a la sequía estival y alta calidad nutritiva en invierno (Muñoz, 1980; Stewart, 1996).

Bromus stamineus Desv. se conoce en términos vulgares como lanco, llanco, cebadilla o pasto del perro y es sinónimo de *Bromus unioides* H.B.K. var. *Elata* y *Bromus aleutensis* (Matthei, 1986; Forde & Edgar, 1995). Nativo de Chile, se distribuye en todo el país formando pastizales naturales densos en áreas húmedas que no superan los 1.000 m de altitud (Matthei, 1986; Matthei, 1995). De sistema radical profundo genera plantas adaptadas a soportar condiciones de déficit hídrico prolongado. Debido a su origen en el área central de Chile, la planta posee requerimientos de vernalización, patrón estacional de crecimiento y época de floración diferente a *Bromus valdivianus* Phil. y *Bromus catharticus* Vahl. (Stewart, 1992).

Bromus stamineus Desv. presenta una alta flexibilidad en su forma de utilización en pastoreo. Tolerancia a pastoreos frecuentes e intensos, así como laxos infrecuentes, desarrollando una alta cobertura y densidad cuando es sometido a pastoreo intenso (Stewart, 1996).

Las tres especies de importancia para el país poseen un periodo de establecimiento que se extiende entre los meses de febrero – marzo y agosto – septiembre. Para lograr una rápida emergencia de las plántulas la temperatura del suelo debe superar los 10°C y este debe estar a capacidad de campo dado que el estrés hídrico genera retraso en la germinación y emergencia. Esta situación, de producirse genera una reducción de la capacidad de competencia del bromo con las especies residentes.

Las opciones de asociación con otras especies son diversas. Las mezclas con leguminosas y gramíneas le permiten generar pasturas armónicas, de alta densidad y excelente cobertura. La dosis de semilla está relacionada con el tamaño de las mismas (50.000 a 70.000 semillas por kilo) y se determina para lograr una población inicial de 700 plantas por metro cuadrado (Tabla 3.40).

Esta es una de las pocas especies forrajeras de las que el país posee materiales propios. A partir de la selección de ecotipos locales de *Bromus stamineus* Desv. se generaron dos cultivares denominados Bronco INIA y Bromino INIA y que son comercializados en mezcla con el nombre comercial Poker INIA. Otro cultivar disponible en el mercado local es Bareno, que corresponde a una selección realizada en Nueva Zelanda de *Bromus valdivianus* Phil. (Demanet, 2014).

La producción de forraje presenta grandes diferencias en la distribución estacional del crecimiento. Se diferencia de otras especies del área templada por generar una producción interesante en invierno y verano. El rendimiento anual logrado por esta especie en Nueva Zelanda fue entre 11,3 ton MS/ha y 17,6 ton MS/ha (Stewart, 1992).

En Chile el cultivar Gala fue evaluado durante cinco años en la Estación Experimental Maipo de la Universidad de La Frontera, en Temuco donde logró un rendimiento promedio de 8,1 ton MS/ha en condiciones de corte (Figura 3.22).

Tabla 3.40. Dosis de semilla de *Bromus stamineus* Desv., sembrado solo y en asociación con gramíneas y leguminosas.

Opciones	Bromo	Pasto ovillo	Festuca	Trébol blanco	Trébol subterráneo
Bromo	35				
Bromo + Trébol blanco	35			3	
Bromo + Trébol subterráneo	35				8
Bromo + Pasto ovillo	25	12			
Bromo + Pasto ovillo + Trébol blanco	25	12		3	
Bromo + Pasto ovillo + Trébol subterráneo	25	12			8
Bromo + Festuca	25		10		
Bromo + Festuca + Trébol blanco	25		10	3	
Bromo + Festuca + Trébol subterráneo	25		10		8
Bromo + Festuca + Pasto ovillo	15	10	10		
Bromo + Festuca + Pasto ovillo + Trébol blanco	15	10	10	3	
Bromo + Festuca + Pasto ovillo+ Trébol subterráneo	15	10	10		8

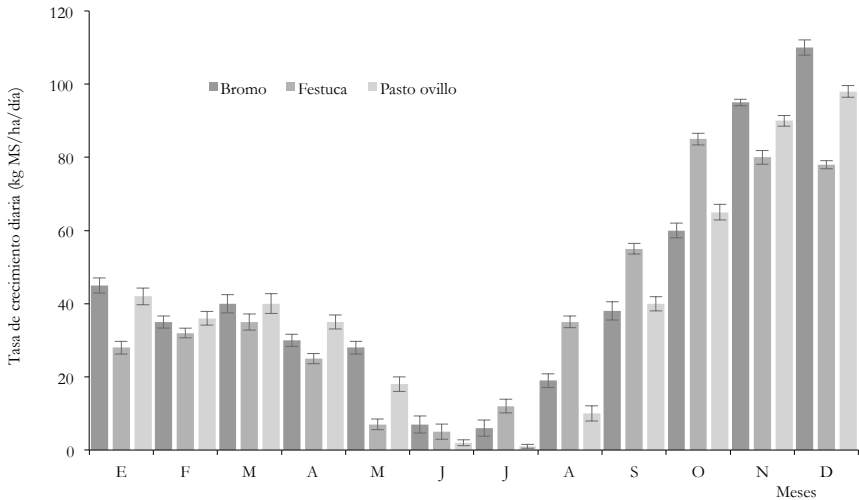


Figura 3.22. Producción de cuatro especies gramíneas perennes en el secano de la región de La Araucanía. Temuco. Coeficiente de variación: 6,32%

El rendimiento de la pastura está determinado, principalmente, por el manejo del pastoreo. En condiciones de pastoreo intenso frecuente esta pastura puede alcanzar producciones superiores a 12 ton MS/ha. El crecimiento se concentra en primavera - verano, con más del 70% de la producción anual y durante el invierno el rendimiento fluctúa entre 600 y 1.000 kilos de materia seca por hectárea. Comparativamente, esta especie presenta un rendimiento y calidad interesante en verano, que la hace atractiva para sistemas ganaderos de crianza, pero estos valores están siempre supeditados al control del pastoreo (Demanet, 2014).

El consumo de las pasturas sembradas en mezcla esta asociada a un proceso denominado selectividad, que se relaciona con la búsqueda de la satisfacción de los requerimientos nutricionales a través del consumo de plantas, o parte de ellas, en forma discrecional (Launchbaugh, *et al.*, 1999). En el pastoreo selectivo existe una discriminación por parte del animal entre los componentes de la pradera, producto del acceso que tiene en pastoreo (Hodgson, 1979). Este mecanismo modifica la composición botánica, aumenta la diversidad de especies y perturba la producción (López *et al.*, 2003; Milchunas *et al.* 1988).

En un estudio realizado con vacas lecheras en pastoreo con tres especies gramíneas *Bromus valdivianus* Phil., *Lolium perenne* L. y *Agrostis capillaris* L., se concluyó que las vacas lecheras al pastorear discriminaron y seleccionaron *Bromus valdivianus* Phil. y *Lolium perenne* L. frente a *Agrostis capillaris* L. La dinámica del pastoreo entre las estaciones del año mostró que *Bromus valdivianus* Phil. fue más intensamente pastoreado que *Lolium perenne* L., debido a sus macollos más altos y a la mayor cantidad y longitud de láminas ofrecidas (López *et al.*, 2016).

En un estudio de preferencia realizado con la mezcla Póker INIA, compuesta por dos cultivares de *Bromus stamineus* Desv. y la mezcla Súper 9 formada por tres especies gramíneas perennes, *Lolium perenne* L., *Festuca arundinacea* Schreber y *Dactylis glomerata* L. se demostró que, en primavera y verano, los animales tienen avidez por el consumo de la mezcla polifítica compuesta por tres especies perennes frente a la mezcla constituida por cultivares de *Bromus stamineus* Desv. (Figura 3.23).



Figura 3.23. Evaluación de preferencia de los animales en el consumo de una mezcla compuesta por cultivares de *Bromus stamineus* L. (Izquierda de la fotografía) frente al consumo de la mezcla polifítica *Lolium perenne* L. + *Festuca arundinacea* Schreber + *Dactylis glomerata* L. (derecha de la fotografía).

***Phalaris aquatica* L. (falaris)**

Phalaris aquatica L. corresponde a una especie perenne de estación fría, que tiene importancia forrajera en Nueva Zelanda (Anderson, 1975; Langer, 1990), sur de Australia (Burbidge & Jacobs, 1966), España (Leiva & Ales, 2000), Marruecos, región mediterránea de Chile, Túnez, Cerdeña (Arangino & Brotzu, 1978), Sudáfrica (Wheeler *et al.*, 2002) y otros países mediterráneos (Hoveland, 1974).

Pertenece a la familia Poaceae, sub familia Pooideae, tribu Aveneae y género *Phalaris*. Es syn. de *Phalaris nodosa* Murray, *Phalaris stenoptera* Hack, *Phalaris tuberosa* L. y *Phalaris tuberosa* L. var. *stenoptera* (Hack.) A. Hitchc. Es originaria del norte de África (Argelia, Libia, Marruecos y Túnez), archipiélagos Macaronésicos (Islas Madeira, Canarias, Azores, Cabo Verde, Salvajes), sur de Europa (Francia, Portugal, España, Albania, Bulgaria, Grecia, Italia y países de la antigua Yugoslavia) y Asia occidental. Fue introducida en Chile en 1917 desde Argentina y crece desde Arica y Parinacota (18°29'S) hasta Magallanes (53°10'S), en áreas disturbadas, a orillas de caminos y canales con inundaciones estacionales, desde el nivel del mar hasta los 740 m de altitud (Águila, 1997; Finot, 2014).

Es una planta perenne rizomatosas y cespitosa, de crecimiento erecto o ascendente con tallos geniculados en la base, esto es, el tallo primero está tendido y luego levantado verticalmente. Sus tallos son cilíndricos y posee hojas de lineares a lanceoladas, anchas, planas, glabras y lígula hialina (fina, membranosa y traslúcida). Crece en macollos y sus hojas con tricomas tienen un color verde azulado. No posee aurículas y la lámina de la hoja es

larga. Las vainas de las hojas poseen un pigmento rojo que se observa cuando se cortan cerca de la base. Las bases de los tallos presentan habitualmente una coloración rojiza característica de esta especie. La inflorescencia corresponde a una panícula generalmente espiciforme, con espiguillas homógamas hermafroditas que nacen individualmente o en racimos (Figura 3.24). Las espiguillas son generalmente de tres flores, con un florete perfecto terminal y dos florecillas estériles debajo; las dos lemmas estériles inferiores están ausentes o se encuentran muy reducidas (Muslera & Ratera, 1991; Finot, 2014; Stewart & Charlton, 2006).



Figura 3.24. *Phalaris aquatica* L. en la zona mediterránea de transición a templada. Los Sauces, Región de La Araucanía.

Las glumas cubren totalmente los antecios y se caracterizan por tener un ala generalmente bien desarrollada en la quilla (Finot, 2014). Las semillas son de tamaño pequeño, con brácteas suaves y brillantes (800.000 a 1.200.000 semillas/kg).

Su tolerancia a la sequía se atribuye a la presencia de rizomas y a su capacidad para enraizar a profundidades de hasta 2,3 metros y extraer agua desde 2,1 metros (Nie & Norton, 2009; Lolicato, 2000; Norton *et al.*, 2012). Bajo condiciones de estrés hídrico y mal manejo de pastoreo, la planta de *Phalaris aquatica* L. se transforma en una planta inestable que es invadida por especies anuales y de hoja ancha. En pasturas asociadas a trébol y con manejo de pastoreo infrecuente intenso, la pastura tiene la capacidad de mantener en forma inalterable el componente *Phalaris*, además de extraer agua en profundidad del perfil del suelo y generar una mayor producción de biomasa (McLeod *et al.*, 2006). El incremento en la frecuencia de pastoreo asociado a la intensidad, genera una reducción de la población de plantas y de la producción de nuevos macollos en las plantas que sobreviven (Leiva & Ales, 2000).

La planta puede alcanzar con facilidad dos metros de altura en periodos de rezagos prolongados, en los que es muy fácil distinguir su inflorescencia que corresponde a una panícula densa, cilíndrica muy característica. Después del periodo estival el rebrote de otoño se genera a partir de las yemas axilares de los tallos que han logrado sobrevivir al verano (Norton *et al.*, 2012).

Debido a su origen *Phalaris aquatica* L. presenta un buen desarrollo en suelos alcalinos o ligeramente ácidos. Se adapta bien a climas mediterráneos con precipitación promedio anual entre 450 mm y 600 mm y temperatura media de 15 a 20 °C. No se adapta a climas templados en los que las pasturas suelen presentar buen crecimiento en verano y otoño, debido al bajo nivel de competitividad que presenta con las especies residentes (Muslera & Ratera, 1991; Stewart & Charlton, 2006).

En su hábitat esta especie presenta una persistencia superior a diez años y genera una excelente calidad de forraje. El periodo de producción de forraje se extiende de ocho a diez meses en los que desarrolla plantas robustas, invasivas tolerantes a plagas, enfermedades y sobre pastoreo. Durante el verano permanece sin actividad, situación que la hace susceptible a la invasión de especies residentes agresivas limitando su desarrollo a partir de otoño.

La siembra de esta pastura se realiza en el periodo de otoño (marzo – mayo), en dosis de semilla de 10 kg/ha. La asociación con otras especies gramíneas no es habitual, pero sí con leguminosas de tipo mediterráneo como son *Trifolium subterraneum* L., *Trifolium michelianum* Savi., *Trifolium vesiculosum* Savi, *Trifolium birtum* All. y medicagos anuales, entre otros. En asociación con trébol subterráneo la dosis de semilla es 10 kg falaris/ha mas 8 kg trébol/ha. La siembra de primavera resulta ser poco efectiva debido a las condiciones climáticas del área mediterránea, que limita la opción de desarrollo, en especial, en años de primavera seca.

Phalaris aquatica L. es una especie reconocida por su tolerancia a la sequía estival. En condiciones de estrés hídrico es difícil separar las respuestas mediante las cuales las plantas evitan y toleran la deshidratación de aquellas asociadas con la expresión de la dormancia de verano. La dormancia de verano se puede definir considerando cuatro criterios: reducción o cese de la producción y expansión de las hojas; senescencia del follaje maduro; deshidratación de los órganos sobrevivientes y formación de estructuras de resistencia. Bajo estos conceptos es posible reconocer dos niveles de dormancia de verano: dormancia completa que corresponde al cese del crecimiento y se asocia a la senescencia completa del follaje y la senescencia incompleta que corresponde a la inhibición parcial del crecimiento de las hojas y se relaciona con niveles moderados de senescencia del follaje. *Phalaris aquatica* L. presenta dormancia incompleta donde la planta responde a una reducción del crecimiento foliar bajo condiciones de déficit hídrico y las hojas exhiben una fuerte senescencia (Vegis, 1964; Lang *et al.*, 1987; Volaire *et al.*, 2005; Volaire & Norton, 2006).

La dormancia de verano se expresa al aumentar el fotoperiodo y la temperatura y está bajo control hormonal, generalmente asociado con la floración y la reducción de la actividad metabólica en tejidos meristemáticos. La tolerancia a la deshidratación y la dormancia son fenómenos independientes y son distintas adaptaciones de las plantas (Voltaire & Norton, 2006). Los cultivares disponibles en el mercado mundial se clasifican según la actividad que registran en verano e invierno. Así, existen cultivares con dormancia invernal o de verano que resultan ser opciones según las condiciones de cada sistema ganadero en el área mediterránea. En la zona de transición de mediterránea a templada se ajustan mejor aquellos cultivares con moderada dormancia de verano y muy activos en el periodo invernal (Tabla 3.41).

Tabla 3.41. Clasificación de cultivares de *Phalaris aquatica* L., según actividad en verano e invierno

Semi dormante de Invierno	Activos de Invierno	Activos de Invierno
Dormante moderados de Verano	Dormancia moderada de verano	Alta dormancia verano
Australian	Holfast	El Golea
Maru	Sirolan	Sirocco
Seedmaster	Sirosa	
Uneta		

En el área de transición de clima mediterráneo a templado *Phalaris aquatica* L. forma parte de densas pasturas que han permanecido por más de 50 años vigentes y productivas, en especial en el sector de suelos graníticos del secano interior de la región de La Araucanía (Los Sauces, Puren). El manejo de estas pasturas considera anualmente el uso en pastoreo continuo en invierno y rezago en primavera para elaboración de heno y ensilaje. Bajo estas condiciones las pasturas logran un rendimiento anual superior a 10 ton MS/ha de las cuales el 85% de la producción se genera en el periodo primaveral.

La expansión de la superficie de esta especie en el área de transición de mediterránea a templada se encuentra detenida desde hace varias décadas. Esto es debido a la reducción de la actividad ganadera del sector que es una consecuencia del proceso de desertificación, reducción de la disponibilidad de agua de bebida para el ganado y la incorporación de plantaciones forestales con especies exóticas. Esta modificación del paisaje y de la actividad agropecuaria han relegado la ubicación de *Phalaris aquatica* L. a sitios de baja intervención antrópica y de utilización ganadera eventual como son las orillas de cercos, caminos y sitios de difícil acceso. En este escenario, el interés por el desarrollo y la investigación de esta especie, en esta área, se redujo y sólo existe información de evaluaciones ejecutadas a fines de la década de los 80 en el siglo pasado. Estas demostraron que la especie tenía un rendimiento anual inferior a *Dactylis glomerata* L. y *Festuca arundinacea* Schreber (Figura 3.25) y solo lograba superar a *Lolium perenne* L. en el área del secano interior.

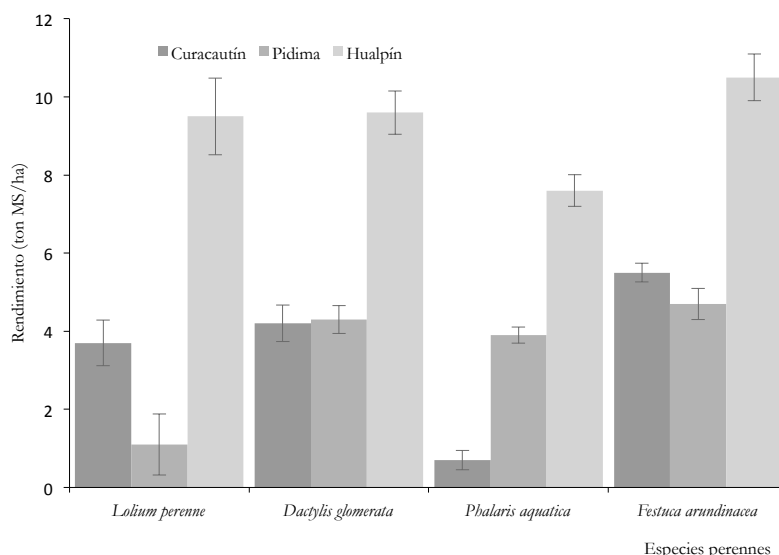


Figura 3.25. Producción de cuatro especies gramíneas perennes en tres localidades de la Región de La Araucanía. Promedio de tres temporadas. Curacautín (Precordillera), Pidima (Secano interior), Hualpín (Secano costero). Coeficiente de variación: 12,58%

Phalaris arundinacea L.

El género *Phalaris* contiene un total de 22 especies, originarias principalmente, de zonas templadas del hemisferio norte, tanto de la región mediterránea, como del sudoeste de los Estados Unidos (Baldini, 1995; Tucker, 1996; Barkworth, 2007; Voshell & Hilu, 2014).

En Chile, entre los años 1830 y 1864, fueron descrita seis de las ocho especies de *Phalaris* que se ubican en el país: *Phalaris paradoxa* L., *Phalaris amethystina* Trin., *Phalaris angusta* Nees ex Trin., *Phalaris aquatica* L., *Phalaris arundinacea* L., *Phalaris canariensis* L., *Phalaris minor* Retz. y *Phalaris paradoxa* L. Las únicas dos especies nativas son *Phalaris angusta* Nees ex Trin. y *Phalaris amethystina* Trin. (Finot & Pedreros, 2012; Finot, 2014).

Phalaris arundinacea L., es una especie propia del hemisferio norte y fue introducida en Norteamérica, Sudamérica y Australia por su valor forrajero y ornamental. En Chile se encuentra desde la Región de la Araucanía (38°44'S) hasta Magallanes (53°12'S), donde a veces se cultiva. Crece desde el nivel de mar hasta aproximadamente 300 metros de altitud (Finot, 2014).

Phalaris arundinacea es una especie perenne, rizomatosa, que puede alcanzar alturas superiores a los dos metros cuando es sometida a periodos prolongados de rezago durante el periodo de crecimiento: primavera - verano. Posee vainas estriadas, glabras y lígula hialina. La panícula, abierta en la madurez es lobulada, con ramas inferiores y raquis esparcidamente escabroso. Las espiguillas poseen tres flores pediceladas y los pedicelos son escabrosos. Las glumas son glabras y agudas. Los nervios laterales son lisos, prominentes y el antecio fértil es esparcidamente piloso hacia el ápice. La palea es pilosa sobre la quilla (Finot, 2014).

De crecimiento erecto posee un sistema radical denso y alta capacidad de exploración en profundidad. Sus tallos, gruesos y huecos, se mantienen erguidos durante toda la temporada de crecimiento. Las hojas planas y glabras poseen color de verde claro a verde oscuro.

El periodo de floración se inicia a finales de primavera y las flores nacen en panículas, de coloración verde pálido a moradas, desarrollándose en los meses de verano. Terminada la maduración de las plantas, las semillas, de tamaño pequeño y color café claro, caen con facilidad sobre el suelo y poseen una viabilidad de, al menos, cinco años.

La planta produce una corona densa y redes prominentes de vigorosas raíces y rizomas, que penetran a una profundidad de unos 30-40 cm, permitiendo una propagación vegetativa agresiva (Coops *et al.*, 1996;

Lewandowski *et al.*, 2003). Crece en condiciones de humedad y se ubica en una gran variedad de humedales con inundación, generando pasturas monofíticas densas (Lavergne y Molofsky, 2004; Adams y Galatowitsch, 2005).

Esta especie posee una excelente tolerancia a suelos húmedos con prolongados periodos de inundación (12 meses) y también a periodos de sequía estival. Terminado el periodo de inundación invernal, las plantas rebrotan con rapidez desplegando tasas de crecimiento superiores a 120 kg MS/ha/día. Esto permite el desarrollo explosivo de los macollos, que promueven un tapiz vegetal denso de alta cobertura y cuya calidad disminuye de forma abrupta una vez que la planta ha emitido la panícula.

En los sitios en donde se establece esta especie son factible las opciones de plantaciones temprano en otoño o a mediados de primavera. El sistema de establecimiento es a través de rizomas que son cosechados a mediados de verano o finales de invierno e inicio de primavera. Luego son asperjados a través de una estercolera, sobre un suelo mullido y preparado para recibir los rizomas, o parte de ellos, que son troceados por la máquina. Este sistema ha permitido poblar extensos sectores de suelos inundados, en los que es factible cosechar forraje para elaborar ensilaje durante el verano. Debido a su ubicación natural, es posible deducir que esta especie se puede establecer en suelos de baja fertilidad, ácidos y con problemas de drenaje e inundación permanente.

En Chile no es frecuente el establecimiento a través de semillas, debido a la escasa capacidad de competencia que poseen las plántulas con las especies residentes en los sitios hidromórficos para los cuales se destina. Asociada a esta limitante se encuentra su baja tolerancia a la sombra generada por la especie de mayor agresividad. Sin embargo, a nivel mundial, existe oferta de cultivares cuyo destino son suelos con buen nivel nutricional y pH de 5,5 a 8,0, lo que indica su buena tolerancia a condiciones de acidez y salinidad. Además, es capaz de soportar temperaturas de -14°C.

En los primeros estados de desarrollo es una planta poco competitiva con las especies residentes, situación que produce, en el primer año, una pastura de baja densidad. Sin embargo, producto de la escasa utilización habitual que los ganaderos realizan en las primeras temporadas de crecimiento, donde destinan la pastura para la elaboración de ensilaje o heno, se transforma en una pastura densa de alta cobertura y donde las especies residentes casi no se exhiben.

Phalaris arundinacea L. ha demostrado ser una planta invasora en los humedales de la zona templada, ubicándose en sectores inundados del lago Villarrica en la Región de La Araucanía y a orillas del río Rahue en la Región de Los Lagos. La multiplicación de esta especie se ha realizado, en forma rudimentaria, a través de la colecta de rizomas que son asperjados sobre los humedales.

Evaluaciones realizadas en las localidades de Villarrica y Rahue revelaron que esta especie tiene una alta capacidad de acumulación de materia seca que puede alcanzar entre 12 y 16 ton MS/ha. Sin embargo, su calidad nutritiva es reducida dado que su cosecha sólo es factible de realizar en verano, donde la planta se encuentra con su panícula formada y madura y los tallos con alto porcentaje de fibra.

En Chile no está descrita la existencia de casos de intoxicación de animales por consumo de *Phalaris arundinacea* L. Sin embargo, hay que considerar que esta especie posee el alcaloide monoamina triptamina que, químicamente, está relacionado con el aminoácido triptófano y otros como hordenina y carboninas que potencialmente son tóxicos para el ganado (Gander *et al.*, 1976).

En los humedales naturales, *Phalaris arundinacea* L., es considerada una amenaza para las comunidades vegetales nativas (Apfelbaum & Sams, 1987; Hutchinson, 1992; Lesica, 1997). En especial en aquellos con regímenes hidrológicos alterados por el hombre, en los que esta especie crece rápidamente y tiende a formar monocultivos (Apfelbaum & Sams, 1987). La transformación de esta especie en una planta invasora hace que su uso en los humedales de la región templada deba estar regulada, ya que su incorporación masiva puede generar pérdida de diversidad y funcionalidad del ecosistema (Mack & D'Antonio, 1998). Reducir la abundancia de especies invasoras como *Phalaris arundinacea* L., es una actividad compleja y costosa que debe ser prevista en el momento de incluirla en los ecosistemas de humedales (Perkins & Wilson, 2005).

La capacidad invasora de esta especie se atribuye a su mayor tasa de asimilación de CO₂, pequeña inversión en el desarrollo foliar y alta plasticidad fenotípica, tanto morfológica como fisiológica (Davidson *et al.*, 2011). *Phalaris arundinacea* L., al igual que otras especies invasoras, asignan proporcionalmente más nitrógeno a las proteínas fotosintéticas que a otros usos (Holaday *et al.*, 2015).

Además de constituir una opción de producción de forraje *Phalaris arundinacea* L., es utilizada en todo el mundo en procesos de fitorremediación, en especial, en la captura de metales pesados (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Mn, Fe y Co) de residuos municipales y aguas contaminadas (Lavergne & Molofsky, 2004; Brezinová & Vymazal, 2015). Esta habilidad se relaciona con su demostrada capacidad de bioacumulación (Samecka-Cymerman & Kempers, 2001; Deng *et al.*, 2004) y preferencia por el desarrollo de pastizales densos en hábitat húmedos, con presencia de aguas estancadas, con alta concentración de nitrógeno orgánico y bajo oxígeno (Katagiri *et al.*, 2011).

***Phleum pratense* L. (thimoty, fleo)**

Es una especie perenne de estación fría perteneciente a la familia Poaceae sub familia Pooideae, tribu Aveneae y género *Phleum* que se distribuye de forma natural en toda Europa y en algunos sectores de África del Norte y Asia. Las poblaciones silvestres poseen diferentes niveles de ploidía desde diploides a octoploides, pero las formas comerciales son hexaploides y de origen, probablemente, post glaciario (Stewart *et al.*, 2011). Al ser una planta anemófila presenta una alta diversidad genética que, aumenta o disminuye, según la altitud donde se ubique (Yan *et al.*, 2009).

En Europa es utilizada para pastoreo y conservación de forraje (heno, henilaje y ensilaje) y en los países nórdicos es una de las gramíneas de mayor distribución debido a su adaptación al clima húmedo y frío. Las pasturas de *Phleum pratense* L. presentan una concentración de la producción en el periodo de primavera, soporta bien las condiciones extremas de frío en invierno y logran tener una interesante producción en verano (Tanhuanpää & Manninen, 2012).

Las plantas son de color grisáceo, con hojas glabras, sin aurículas, lígula corta y tallos que pueden alcanzar alturas superiores a 1,5 metros en pleno periodo de floración. Su sistema radical es superficial, lo que le confiere una alta susceptibilidad al déficit hídrico. Posee una panícula condensada y las semillas son de tamaño pequeño y muy brillantes (Figura 3.26.)



Figura 3.26. *Phleum pratense* L. en el área de riego de la zona de cordillera. Lonquimay, Región de La Araucanía.

La siembra habitualmente se realiza en primavera con dosis de 6 kg semilla/ha en siembra sola y 3 kg semilla/ha en siembra asociada a otras gramíneas o leguminosas. La siembra en asociación con leguminosas como *Trifolium pratense* L. o *Medicago sativa* L. es utilizada para lograr una sinergia que permite aumentar el rendimiento anual de materia seca, incrementar el valor nutritivo de la pastura, generar un efecto supresor de especies residentes y aumentar la eficiencia a nivel ruminal del nitrógeno a través de la obtención de una mejor relación proteína - fibra (Brito *et al.*, 2009; Belzile, 1987; Bélanger *et al.*, 2014).

En el mercado mundial se comercializan dos tipos de cultivares de *Phleum pratense* L., los de tipo achaparrado, especialmente generados para el pastoreo, y otros de crecimiento erecto cuya forma se adecua a la elaboración de heno y ensilaje.

En el área templada esta especie se ubica en las vegas colgantes de las veranadas cordilleranas. Su participación como componente del área central y costera es escaso. Por su ubicación en áreas de altitud superior a 800 msnm, el crecimiento se produce a finales de primavera y verano, constituyendo una excelente alternativa para la conservación de forraje como heno, henilaje o ensilaje.

Evaluaciones realizadas en la zona de las veranadas de la cordillera de Los Andes, en la localidad de Lonquimay, región de La Araucanía, determinaron que el nivel de rendimiento de las pasturas naturalizadas ubicadas en áreas de vegas no superó las 10 ton MS/ha. Sin embargo, en sectores de riego la producción anual fue mayor a 16 ton MS/ha. Todo el crecimiento en ambos sitios de evaluación de generó en el periodo de octubre a enero, con tasas de crecimiento que fluctuaron entre 80 y 140 kg MS/ha/día (Figura 3.27).

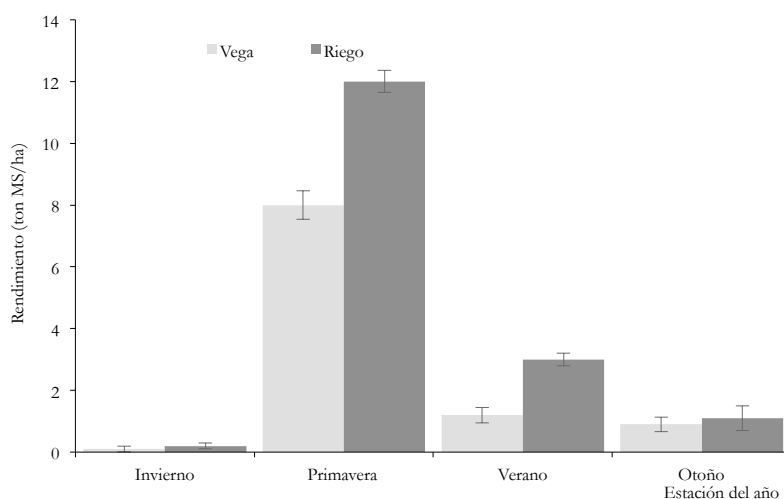


Figura 3.27: Producción de un pastizal naturalizado de *Phleum pratense* L. en el área de vega y riego de Lonquimay. Coeficiente de variación: 3,48%

***Arrhenatherum elatius* (L.) P. Beauv. ex J. Presl & C. Presl (fromental)**

La describió el naturalista francés Ambroise Marie François Joseph Palisot, barón de Beauvois, a partir de la descripción realizada por los botánicos de Republica Checa Jan Svatopluk Presl y Karel Presl en el libro de botánica *Flora Cechica*, editado por Jan Svatopluk Presl en el año 1819. Se introdujo en Chile a finales del siglo XIX y su interés como planta forrajera nunca ha sido relevante (Águila, 1997).

Corresponde a una especie herbácea perenne de la familia Poaceae, sub familia Pooideae, tribu Poeae, sub tribu Aveninae y género *Arrhenatherum* originaria de Europa, norte de África y oeste de Asia, de gran ubicuidad en las zonas templadas del mundo y en Chile. En Europa se encuentra ampliamente distribuida y forma parte de los pastizales de áreas ganaderas (Beierkuhnlein, 2011). Además, esta especie constituye una opción interesante en Europa central, donde existe una gran necesidad de restaurar los sitios de pastizales degradados y fuertemente utilizados en décadas pasadas (Scotton, 2016).

En Chile se encuentra profusamente distribuida en el sector costero de la zona templada, desapareciendo de forma gradual con la altitud, en donde es reemplazada por otras especies de mayor agresividad bajo condiciones de humedad y frío. Se confunde con la variedad *bulbosum* de amplia distribución en la zona templada y que constituye una maleza en las zonas de cultivos de cereales y oleaginosas. Su diferencia se encuentra en la raíz en la que fromental carece de los bulbos que posee *Arrhenatherum elatius* L. var *bulbosum*, denominado de forma común como pasto cebolla (Espinoza, 1996). A esta similitud se le atribuye parte del poco interés que existe de sembrar esta especie (Águila, 1997).

Es una planta perenne de crecimiento erecto, con tallos que pueden alcanzar una altura de hasta 180 centímetros. Habitualmente no posee pilosidad y su lígula es truncada. Carece de aurículas y su inflorescencia corresponde a una panícula extendida cuyo largo es de 10 a 30 cm. El peso de 1.000 semillas es de 2,5 a 3,5 g (Figura 3.28).



Figura 3.28. *Arrhenatherum elatius* (L.) P. Beauv. ex J. Presl & C. Presl (fromental).

En el secano costero de la región de La Araucanía, *Arrhenatherum elatius* L., se encuentra formando parte de las praderas naturalizadas, en las que su participación puede alcanzar hasta un 60% de la composición botánica.

Su establecimiento en la década de los 60 del siglo pasado como reemplazo de *Lolium perenne* L. y *Dactylis glomerata* L. (Águila, 1997), no respondió a las expectativas de los productores de la época. Sin embargo, a medida que las condiciones climáticas se han alterado y ha aparecido eventos de extrema sequía en verano, esta especie ha dominado ciertas áreas, en las que logra sobrevivir a través de resiembras sucesivas y hoy aparece como una opción interesante para el secano costero de la zona templada.

Reconocida es la capacidad de esta especie para tolerar eventos de sequía. Está demostrado que en pastizales polifíticos poco densos, *Arrhenatherum elatius* L. es capaz de incrementar su aporte a la composición botánica debido al macollamiento y competitividad que genera bajo condiciones de estrés hídrico (Otieno *et al.*, 2012).

Arrhenatherum elatius L., es una especie que se adapta a las condiciones edáficas y climáticas de la zona templada de Chile. Se establece en el periodo de febrero – marzo y agosto – septiembre, mediante un sistema de siembra convencional con roturación de suelos o cero labranza. La dosis de semilla es de 10 kg/ha sembrado solo o en mezcla con *Trifolium repens* L. En asociación, la dosis de semilla de trébol blanco es de 3 kg/ha.

En Chile existió una exigua oferta de cultivares de esta especie, siendo el más conocido el cultivar Tualatín, que se caracterizaba por presentar escaso desgrane (Águila, 1997). Esta característica permitió en la década de los 80 cosechar semilla de forma manual en orillas de caminos y cercos con los que algunos agricultores de la zona costera establecían pasturas asociadas a *Lolium perenne* L. y *Dactylis glomerata* L. En la actualidad, la carencia de semillas de los ecotipos naturales y de cultivares generados en otras áreas del mundo, ha impedido la expansión de esta especie.

Evaluaciones desarrolladas en el secano costero de la Región de La Araucanía pusieron de manifiesto las diferencias entre *Arrhenatherum elatius* L., *Lolium perenne* L. y *Dactylis glomerata* L. Durante tres temporadas se evaluó el crecimiento de estas tres especies templadas perennes donde *Arrhenatherum elatius* L. presentó una fuerte estacionalidad de primavera, pero con una interesante producción de verano, superior a *Lolium perenne* L. y *Dactylis glomerata* L. (Figura 3.29)

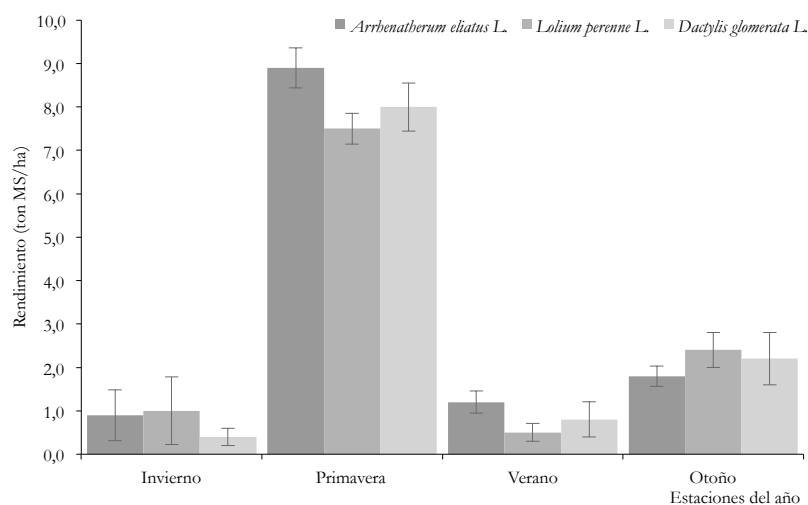


Figura 3.29. Crecimiento estacional de *Arrhenatherum elatius* L., *Lolium perenne* L. y *Dactylis glomerata* L. promedio de tres temporadas. Chelle, Secano costero, Región de La Araucanía.
Coeficiente de variación: 12,78%

***Holcus lanatus* L. (pasto miel, pasto dulce)**

Especie de ciclo perenne introducida en Chile desde Europa que se encuentra ampliamente distribuida en la zona templada. Forma parte de los pastizales naturalizados y se adapta bien tanto a condiciones húmedas como secas, en especial cuando las condiciones de fertilidad son adversas (Duthil, 1976; Ramírez *et al.*, 1991; López *et al.*, 1999).

Es una especie dominante en pastizales naturalizados del dominio húmedo, ubicándose en sitios planos, levemente deprimidos, con suelos de textura franco arcillosa, hidromorfismo estacional medio a profundo y fertilidad media a baja (López *et al.*, 1997).

La planta forma densas matas que dominan los espacios de los pastizales. Destacan sus tallos y hojas suavemente pubescentes, de color verde grisáceo. La inflorescencia consta de panículas de lanceoladas a ovoides, de color blanquecino a verde pálido o púrpura panojas de color blanco, rosa o púrpura (Behrendt & Hanf, 1979; Whyte *et al.*, 1959; Espinoza, 1988) (Figura 3.30).



Figura 3.30. *Holcus lanatus* L. (pasto miel, pasto dulce)

La principal forma de disseminación es a través de las semillas, aun cuando también es factible la reproducción vegetativa a través de la multiplicación de sus macollos. La polinización es cruzada y la autopolinización es casi nula (Behrendt & Hanf, 1979; Espinoza, 1988).

En la zona templada esta especie ha demostrado un alto grado de plasticidad y las diferencias fenotípicas de los ecotipos colectados no se relacionan con el lugar de origen ni de la zona agroecológica de donde han sido extraídos (Gädicke, 2006).

La alta ubicuidad de esta especie en la zona templada demuestra su plasticidad ya que posee una notable variación fenotípica cuando es sometida a la acción de diferentes ambientes. Por ello, esta especie y los ecotipos presentes en la zona templada, poseen una buena capacidad de adaptación a diferentes niveles de fertilidad de suelos. Sin embargo, cuando es sometida a una fertilización con dosis crecientes de un nutriente como el fósforo, las plantas presentan una significativa respuesta en producción y contenido de nutriente (Anwandter, 2003).

El establecimiento de esta especie tiene lugar en el periodo de febrero – marzo o agosto – septiembre, mediante un sistema de siembra de cero labranza o labranza convencional con roturación de suelos. La dosis de semilla es de 12 kg/ha en siembra sola mientras que en mezcla con otra gramínea perenne la dosis debe ser rebajada a 10 kg/ha. Por el área de adaptación de esta especie, la leguminosa que permite conseguir una mezcla armónica es *Trifolium repens* L., que se establece con dosis de 3 kg semilla/ha.

A nivel mundial existe una amplia oferta de material genético seleccionado de esta especie. La mayor parte de los cultivares provienen de Nueva Zelanda, alguno de los cuales se han evaluado en Chile sin demostrar un nivel sobresaliente de rendimiento o calidad. En el área central de la Región de La Araucanía se desarrollaron mediciones comparativas de rendimiento entre una mezcla de ecotipos locales de *Holcus lanatus* L. y otras especies gramíneas perennes exóticas. Los resultados mostraron el buen rendimiento que puede alcanzar *Holcus lanatus* L. cuando es sometido a un manejo equilibrado de defoliación y fertilización (Figura 3.31).

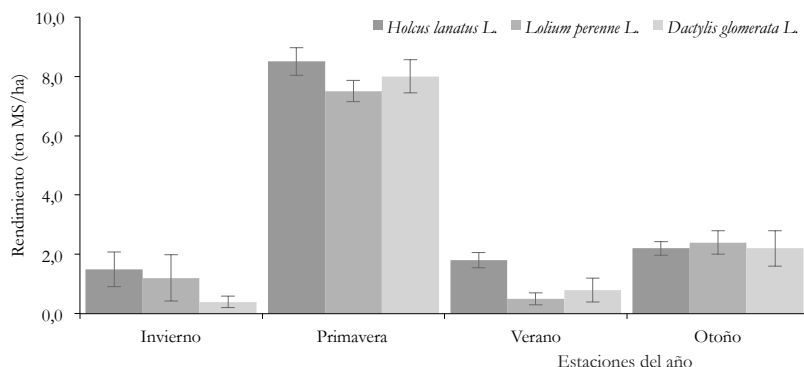


Figura 3.31. Crecimiento estacional de *Holcus lanatus* L., *Lolium perenne* L. y *Dactylis glomerata* L. promedio de tres temporadas. Temuco, Región de La Araucanía.
Coeficiente de variación: 9,21%

***Agropyron* spp. (agropiro)**

Agropyron spp. es una gramínea que pertenece a la familia Poaceae, subfamilia Pooideae, tribu Triticeae, género *Agropyron*. Existe más de 150 especies, cuyo origen es Asia Menor, los Balcanes y el sur de Rusia (Rogler, 1972).

Comprende plantas anuales y perennes de crecimiento erecto, semi erecto o postrado. Entre los tipos perennes se encuentran ecotipos con y sin rizomas. Posee fecundación cruzada pero las plantas no son completamente auto estériles lo que genera de forma natural híbridos interespecíficos (Dewey, 1982).

Las plantas se caracterizan por tener un alto grado de adaptabilidad, lo que permite su presencia en áreas de clima mediterráneo, templado, frío o incluso áridos. Se adapta a zonas mediterráneas donde se ubica en sitios con precipitación inferior a 400 mm y suelos calcáreos (Neira, 1998).

Desde el punto de vista botánico, las plantas desarrollan espigas con espiguillas dísticas y raquis articulado. Las

espiguillas plurifloras desarrollan dos glumas semejantes, coriáceas y plumosas. Sus flores son hermafroditas con dos estambres y el cariopse es linear fusiforme (Rogler, 1972).

El mayor desarrollo de las plantas se produce en el periodo de primavera verano, en el que se generan tallos que pueden lograr alturas superiores a un metro y que con el avance de la madurez se lignifican, al igual que sus hojas, transformándose en un forraje de bajo valor nutricional.

Las primeras evaluaciones de materiales de *Agropyron spp.* fueron realizadas por el Doctor David Contreras Tapia, académico de la Universidad de Chile. Las mediciones se iniciaron en el año 1960, en la veranada de Farellones sector El Encañado (2.100 msnm), en un predio propiedad de Eduardo Campos Valenzuela, en donde se estableció un sitio de evaluación. El jardín de especies y cultivares forrajeros establecido en dicha localidad se mantuvo en forma rudimentaria y se abrió para el consumo animal. Después de 35 años, en 1995, se observó que la única especie que logró sobrevivir a las condiciones edafoclimáticas (seis meses bajo nieve) y el pastoreo de animales, principalmente caballos, fue agropiro (Neira, 1998).

En 1964 Diego Peñailillo desarrolló un programa de evaluación de tres especies de agropiro en el área continental de la provincia de Magallanes: *Agropyron intermedium* Gaertn, *Agropyron elongatum* (Ridl.) Schuit y *Agropyron trichosporum* (Link) Richt. La procedencia de los materiales evaluados fue la FAO y la Universidad de Chile, además de semillas proporcionadas por el Doctor O'Connor de Nueva Zelanda y de la empresa Suttons Seeds de Inglaterra. El rendimiento promedio de las evaluaciones no superó las 2 ton MS/ha, pero las plantas lograron persistir hasta el año 1998 (34 años), en el que se realizaron las últimas observaciones que indicaron la presencia de ejemplares, especialmente en el sector de Guido. Evaluaciones posteriores realizadas por Nilo Covacevich en tres localidades de la Patagonia (Punta Delgada, Avelina y Kampenaike) indicaron que las especies *Agropyron cristatum* (L.) Gaertn.; *Agropyron desertorum* (Fisch. ex Link) J.A. Schultes; *Agropyron elongatum* (Ridl.) Schuit.; *Agropyron trichosporum* (Link) Richt, *Agropyron intermedium* (Host) Beauv y *Agropyron smithii* Rydb., solo lograron prosperar en Kampenaike alcanzando una producción que fluctuó entre 1 y 5 ton MS/ha, similar a *Dactylis glomerata* L. (Neira, 1998).

En el área mediterránea, en las proximidades de Santiago, el profesor de la Universidad de Chile Eduardo Porte Fernández mencionó que, durante 25 años en la Estación Experimental Agronómica La Rinconada, se mantuvieron pasturas productivas de *Agropyron spp* + *Trifolium fragiferum* L., lográndose buenos resultados en condiciones de secano y semi riego (Neira, 1998).

Escasa es la información que se tiene en relación a la producción de forraje de esta especie en Chile. Evaluaciones realizadas en las localidades de El Melón y Alhué, en la zona mediterránea, *Agropyron spp.* exhibió una producción anual de 5,3 ton MS/ha. Por otra parte, en la zona templada, específicamente en la Estación Experimental Maipo de la Universidad de La Frontera ubicada en la localidad de Temuco, durante dos temporadas se evaluó el comportamiento productivo de *Agropyron spp.* (Figura 3.32). Los resultados indicaron que esta especie presenta en los primeros años una producción significativamente inferior a otras opciones factibles de utilizar en esta zona (Neira, 1998).

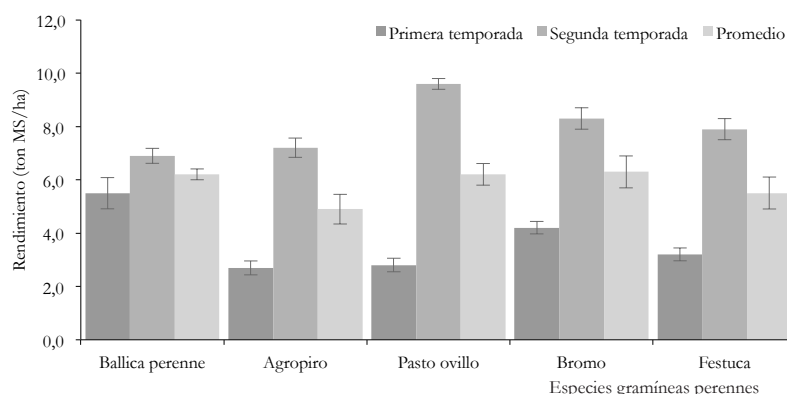


Figura 3.32. Rendimiento (ton MS/ha) de especies gramíneas perennes en un Andisol de la zona templada. Estación Experimental Maipo. Universidad de La Frontera, Temuco.

Coefficiente de variación: 7,89%

Mezclas Polifíticas

La pertinencia, oportunidad de uso y rendimiento son elementos que se consideran al desarrollar mezclas polifíticas. Simmonds (1962) señala que las mezclas polifíticas siempre presentan rendimiento similar o superior a sus componentes separados. Sin embargo, Woodford (1966), McBratney (1978) y Culleton, *et al.* (1986), reportan que el uso de mezclas de forrajeras no logra superar a los componentes separados y solo logran la producción del componente individual de mayor potencial de crecimiento. Por otra parte, Trenbath (1974) y Culleton *et al.* (1986) encontraron que las mezclas generaron una producción significativamente inferior a los componentes individuales sembrados en monocultivo.

Estudios realizados con mezclas de gramíneas y leguminosas, han demostrado que la asociación de este tipo de especies genera una acción sinérgica, lo que permite incrementar de forma significativa el rendimiento de los componentes individuales (Kirwan *et al.*, 2007; Connolly *et al.*, 2009; Nyfeler *et al.*, 2009).

Las mezclas polifíticas hoy se deben fundamentalmente a intereses comerciales poderosos, ya que permiten mejorar el margen de venta, equilibrar la baja oferta y alta demanda de cultivares nuevos y reducir las semillas de sobre stock. Como se las considera flexibles y adecuadas para una gama más amplia de condiciones de uso potencialmente tienen un mercado mayor creándose marcas comerciales que atraen la fidelidad de los clientes. En armonía con esto está la percepción de los agricultores que, confiando en las empresas comercializadoras, definen a las mezclas como un producto con valor agregado, que le proporcionará mayor rendimiento y estabilidad bajo diferentes condiciones de ubicación y uso (Ingram, 1997).

En la zona templada de Chile se utilizan mezclas de especies perennes que incluyen *Lolium perenne* L., *Festuca arundinacea* Schreb. y *Dactylis glomerata* L., con el objetivo de generar una mayor tolerancia a condiciones climáticas adversas y lograr una persistencia superior respecto de sus componentes individuales. Este tipo de mezclas han incrementado su participación en el mercado y en la superficie de siembra de forma exponencial en los últimos 10 años, y se han transformado en marcas comerciales de alta aceptación (Demanet, 2009; Demanet, 2014).

En el trabajo desarrollado en el periodo 2003 – 2012 (nueve años) en la Estación Experimental de la Universidad de la Frontera en Temuco, se evidenció que, en promedio las mezclas polifíticas no lograron superar los máximos rendimientos logrados por sus componentes individuales, pero si fueron capaces de soportar las condiciones de estrés hídrico y de temperatura, otorgando a la mezcla una mayor persistencia y estabilidad. En todas las opciones que incluyeron *Dactylis glomerata* L. esta especie dominó a partir de quinto año en adelante, con una contribución al total de la producción de materia seca superior a 80%.

El estudio de mezclas polifíticas incluyó sólo especies perennes, esto es, *Lolium perenne* L., *Festuca arundinacea* Schreb. y *Dactylis glomerata* L. en distintas proporciones y con diferentes cultivares. Como muestra la Tabla 3.42 el máximo rendimiento se obtuvo el año 2004, con 12,77 ton MS/ha, aun cuando es estadísticamente similar al año 2003 que presentó una producción de 11,71 ton MS/ha.

Tabla 3.42. Rendimiento promedio anual de mezclas polifíticas en el secado de la zona templada de Chile. Estación Experimental Maquehue. Universidad de La Frontera. Temuco. Periodo 2003 – 2012.

Años	Producción (ton MS/ha)
2004	12,77 a
2003	11,71 ab
2011	10,63 bc
2009	9,88 cd
2010	9,27 cd
2005	9,11 cde
2007	7,81 ef
2012	6,79 fg
2008	6,47 g

Medias que no comparten una letra en común son diferentes según Prueba de Tukey ($p > 0,05$)
Coeficiente de variación: 21,68%

La agrupación de los años a través del ranking BLUP permitió predecir que en solo un 22% de los años se podría registrar una producción aceptable, esto es, superior a 10 ton MS/ha y que la probabilidad que la producción sea de un valor medio 44% (Tabla 3.43).

Tabla 3.43. Clasificación de años según nivel de rendimiento de mezclas de polifíticas según el ranking BLUP (*Best Linear Unbiased Prediction*), en el secano del área templada de Chile. Periodo 2003 – 2012.

Nivel de producción	N° Años	Producción (ton MS/ha)			Significancia de BLUP
		Promedio	Máximo	Mínimo	
Alta	2	12,24	12,77	11,71	$P \leq 0.05$
Media	4	9,72	10,63	9,11	$P > 0.05$
Baja	3	7,02	7,81	6,47	$P \leq 0.05$
Total	9				

Las mezclas evaluadas fueron 42, que se elaboraron con distintas especies y proporciones de las mismas. Las especies utilizadas fueron todas perennes y los cultivares de similar periodo de floración, pero con diferente arquitectura. En los nueve años de mediciones, la mezcla que logró el mayor rendimiento fue la constituida por *Dactylis glomerata* L. cv Starly, *Lolium perenne* L. cv Quartet y *Trifolium repens* L. cv Will (Tabla 3.44). Los tres componentes de esta mezcla polifítica son de hábito de crecimiento erecto, y presentan una arquitectura redonda que permite mantener a las tres especies con un grado importante de participación en la mezcla.

Tabla 3.44. Rendimiento promedio 42 mezclas de especies en el secano del área templada de Chile. Estación Experimental Maquehue. Universidad de la Frontera. Temuco. Periodo 2003 – 2012.

Mezcla de especies	Producción (ton MS/ha)
Starly + Quartet + Will	12,25 a
Quartet + Mylena + Starly	12,12 a
Quartet + Mylena + Starly + Will	11,81 ab
Súper 9	10,85 abc
Quartet + Will	10,70 abcd
Royal Q 100 + Omcha	10,56 abcd
GFM22 + GPOO 01	10,29 abcd
Quantum + Quartet	10,10 abcd
Starly + Exella	10,04 abcd
GPOO 01 + FM	9,86 abcd
Exella + Banquet	9,63 abcde
Luna + Royal Q100 + Omcha	9,58 abcdef
GFTXQ + Royal Q 100	9,53 abcdef
GFTXQ + GFM 29	9,44 abcdef
Quantum + Banquet	9,43 abcdef
Exella + Quartet	9,39 abcdef
Royal Q 100	9,37 abcdef
Flexy + Quartet	9,23 abcdef
Luna + Omcha	9,23 abcdef
GFT 02 + Fa	9,20 abcdef
Mylena + Will	9,10 abcdef
Exella + Will	9,07 abcdef
Flexy + Banquet	8,52 abcdef
Revolution + Advance + Visión	8,36 abcdef
GFT02 + GFM 22	8,33 bcdef
Exella + Advance	8,26 bcdef
Banquet + Exella	8,25 bcdef
Luna + Royal Q100	8,04 bcdef
GFTXQ + GRP01 + Royal Q 100 + Luna	7,94 bcdef
Advance + Visión	7,93 bcdef
Matrix + Advance + Visión	7,92 bcdef
GFM 22 + GRP01 + Flecha + Luna	7,27 cdef
Kora + Cannon + Amba	7,25 cdef
Advance + Will	7,18 cdef
Kora + Amba	6,83 cdef
Revolution + Advance	6,76 cdef
Banquet + Advance	6,70 def
GFM 29 + FM	6,66 def
GFM 22 + Flecha	6,64 ef
Matrix + Advance	6,48 ef
GFT 02 + FC	6,34 ef
Kora + Cannon	6,26 f

Medias que no comparten una letra en común son diferentes según Prueba de Tukey ($p > 0,05$)

Coefficiente de variación: 25,72%

La producción de esta mezcla fue estadísticamente similar a otras 23 que presentaban diferentes proporciones de las especies antes mencionadas. El 57% de las mezclas presentaron una producción media similar y solo el 14,7% de las mezclas se escapa de la media y presentaron una producción mayor a 10 ton MS/ha (Tabla 3.45).

Tabla 3.45. Clasificación de las mezclas de especies según nivel de producción, según el ranking BLUP (*Best Linear Unbiased Prediction*), en el secano del área templada de Chile. Período 2003 – 2012.

Nivel de producción	Nº Mezclas	Producción (ton MS/ha)			Significancia de BLUP
		Promedio	Máximo	Mínimo	
Alta	6	11,38	12,25	10,56	$P \leq 0.05$
Media	24	9,09	10,29	7,93	$P > 0.05$
Baja	12	6,86	7,92	6,26	$P \leq 0.05$
Total	42				

Las mezclas polifíticas se han transformado en una opción comercial que en muchas ocasiones no responde a un planteamiento técnico. La regulación de especies y cultivares que contienen las mezclas esta entregada al libre mercado y no a una concepción científica y técnica que responda a aspectos de producción o calidad.

Bibliografía

- Adams, C.R., Galatowitsch, S.M., 2005. *Phalaris arundinacea* (reed canary grass): rapid growth and growth pattern in conditions approximating newly restored wetlands. *Ecoscience* 12, 569–573.
- Águila, C.H., 1997. Pastos y Empastadas. Editorial Universitaria. Octava Edición. Santiago, Chile. 314p.
- Anderson, L.B., 1975. Variations among population of *Phalaris*. *New Zeland Journal Experimental Experimental Agriculture* 3 (2): 147–151.
- Anrique, R.G; Fuchslocher, P.R; Iraira, H.S. & Saldaña, P.R, 2008. Composición de alimentos para el ganado bovino. Consorcio lechero, Universidad Austral de Chile, INIA Remehue. Tercera edición. Imprenta América Ltda. Valdivia, Chile. 87 p.
- Anwandter, A. V., 2003. Presencia de ecotipos de *Holcus lanatus* L. en suelos con niveles contrastantes de fósforo. Tesis para otra a título de Ingeniero Agrónomo. Escuela de Agronomía, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile.
- Apfelbaum, S.I. & Sams, C.E., 1987. Ecology and control of reed canary grass. *Natural Areas Journal*. 7: 69–74.
- Arachevaleta, M., Bacon, C.W., Hoveland, C.S. & Radcliffe, D.E., 1989. Effect of the tall fescue endophyte on plant response to environmental stress. *Agronomy Journal* 81: 83–90.
- Arangino, R. & Brotzu, V., 1978. Agronomic evaluation of grass and legume forage cultivars for the restoration of degraded pastures in Sardinia. *Boletín Técnico del Centro de Extremadura* 2: 7–22.
- Bacon C.W, Lyons P.C., Porter J.K. & Robbins J.D., 1986. Ergot toxicity from endophyte-infected grasses: A Review. *Agronomy Journal*. 78, 106–116.
- Bacon C.W, Porter J.K., Robbins J.D. & Luttrell E.S., 1977. *Epichloe typhina* from toxic tall fescue grasses. *Applied and Environmental Microbiology* 34, 576–581.
- Baldini, R.M., 1995. Revision of the genus *Phalaris* L. (*Gramineae*). *Webbia* 49: 265–329.
- Balesky, D. & L. Stout., 1994. Growth of prairie grass (*Bromus willdenowii*) and tall fescue x perennial ryegrass (*Festuca arundinacea* x *Lolium perenne*) on the Appalachian Plateau of southern West Virginia, USA. *Grass and Forage Science* 49: 21 – 24.
- Barkworth, M.E., 2007. *Phalaris* L. In: M.E. Barkworth, L.K. Anderton, K.M. Capels, S. Long & M.B. Piep (eds.), Manual of grasses for North America. Pp. 177–179, 425–426, 529–530. Utah State University Press, Utah, 626 pp.
- Behrendt, S. & Hanf, M., 1979. Malezas gramíneas en los cultivos agrícolas. Su determinación en estado de no floración. BASF. República Federal Alemania. 159 p.
- Beierkuhnlein, C.; Thiel, D.; Jentsch, A.; Willner, E. & Kreyling, J., 2011. Ecotypes of European grass species respond differently to warming and extreme drought. *Journal of Ecology* 99:703–713.
- Bélanger, G.; Castonguay, Y. & Lajeunesse, J., 2014. Benefits of mixing timothy with alfalfa for forage yield, nutritive value, and weed suppression in northern environments. *Canadian Journal of Plant Science* 94: 51–60
- Bell, C. & Ritchie I., 1989. The effects of frequency and height of defoliation on the production and persistence of “Grassland Matua” Prairie grass. *Grass and Forage Science*. 44: 245–248 pp.
- Belzile, L. 1987. Effet de la présence de la fléole des prés sur la survie a l’hiver du tréfle rouge. *Canadian Journal of Plant Science* 67: 1101–1103.
- Brezinová, T. & Vymazal, J., 2015. Evaluation of heavy metals seasonal accumulation in *Phalaris arundinacea* in a constructed treatment wetland. *Ecological Engineering* 79: 94–99
- Brito, A. F.; Tremblay, G. F.; Lapierre, H.; Bertrand, A.; Castonguay, Y.; Bélanger, G.; Michaud, R.; Benchaar, C.; Ouellet, D. R. & Berthiaume, R., 2009. Alfalfa cut at sundown and harvested as baleage increases bacterial protein synthesis in late-lactation dairy cows. *Journal of Dairy Science* 92: 1092–1107.
- Burbidge, T. & Jacobs, S.W.L., 1966. Australian Grasses. Angus and Robertson Publisher, p. 208
- Carambula, M., 1997. Producción y manejo de Pasturas Sembradas. Editorial Hemisferio Sur. Montevideo, Uruguay. 464 p.

- Catford, A.J., Daehler, C.C., Murphy, T.H., Sheppard, W.A., Hardesty, D.B., Westcott, A.D., Rejmánek, M., Bellingham, J.P. & Pergl, J. 2012. The intermediate disturbance hypothesis and plant invasions: Implications for species richness and management. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 14: 231–241.
- Charlton, J.F.L.; Hampton, J.G. & Scott, D.J., 1986. Temperature effects on germination on New Zealand herbage grasses. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association* 47:165-172.
- Clark, D.A., Matthew, C., Crush, J.R. 2001. More feed for New Zealand dairy systems. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association* 63: 283-288.
- Clay, K. & Schardl, C.L., 2002. Evolutionary origin and ecological consequences of endophyte symbiosis with grasses. *The American Naturalist* 160(S4): 99-127.
- Connolly, J., Finn, J.A., Black, A.D., Kirwan, L., Brophy, C. and Lüscher, A. 2009. Effects of multispecies swards on dry matter production and the incidence of unsown species at three Irish sites. *Irish Journal of Agricultural and Food Research* 48: 243–260.
- Coops, H., van der Brink, F.W.B., van der Velde, G., 1996. Growth and morphological responses of four helophyte species in an experimental water-depth gradient. *Aquatic Botany* 54: 11–24.
- Culleton, N, Murphy, W.E. & O'Keeffe, W.F. 1986. The role of mixtures and seeding rates in ryegrass productivity. *Irish Journal of Agricultural Research* 25: 229–306
- Daehler, C.C., 1998. The taxonomic distribution of invasive angiosperm plants: ecological insights and comparison to agricultural weeds. *Biological Conservation* 84: 167-180.
- Davidson, A.M.; Jennions, M. & Nicotra, A.B., 2011. ¿Do invasive species show higher phenotypic plasticity than native species and, if so, is it adaptive? A meta-analysis. *Ecology Letters* 14:419–31.
- Dekker, J. & Duke, S.O., 1995. Herbicide-Resistant Field Crops. *Advances in Agronomy* 54:69-116.
- Demanet, F.R. 1994. Variedades de ballicas bianuales. *Frontera Agrícola* 2: 47-49.
- Demanet, F.R. 1994. Variedades de ballicas perennes. *Frontera Agrícola* 2: 38-43.
- Demanet, F.R. 2008. Manual de especies Forrajeras y manejo de Pastoreo. Plan Desarrollo Lechero Watt's. Imprenta América, Valdivia, Chile. 199 p.
- Demanet, F.R. 2009. Praderas y Pasturas para Producción de Carne. En AASA (ed). Manual del Ganadero AASA. Plan de desarrollo de Empresas AASA. Santiago, Chile. pp: 112 – 137.
- Demanet, F.R. 2014. Manual de especies forrajeras. Plan Lechero Watt's. CORFO, Universidad de La Frontera. Imprenta América, Valdivia, Chile. 163 p.
- Demanet, F.R., 2013. Pastizales en el sur de Chile. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales. Universidad de La Frontera. Temuco, Chile. 146 p.
- Demanet, F.R., Contreras, D.R. & Soto. A.A., 1990. Ballica Wimmera. Investigación y Progreso Agropecuario-Carillanca (INIA), Temuco. 9(2): 13-17.
- Demanet, R. & R. Contreras. 1988. Especies de la pradera naturalizada. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. *Investigación y Progreso Agropecuario Carillanca (Chile)* 7(4): 2-6.
- Deng, H.; Ye, Z.H. & Wong, M.H., 2004. Accumulation of lead, zinc, copper and cadmium by 12 wetland plant species thriving in metal-contaminated sites in China. *Environmental Pollution*. 132: 29–40.
- Devine, M. D & Shukla, A. 2000. Altered target sites as a mechanism of herbicide resistance. XIVth International Plant Protection Congress. *Crop Protection* 19: 881–889.
- Dewey, R. 1982. Grasses and Grassland. Systematics and Ecology. University Press. Oklahoma, USA. 157 p.
- Donald, C.M. 1963. Competition among crop and pasture plants. *Advances in Agronomy* 15: 1–18.
- Duthil, J. 1976. Producción de forrajes 3a ed. España. Mundi Prensa. 413 p.
- Easton, H.S.; Lee, C.K.; Fitzgerald, R.D. 1994. Tall fescue in Australia and New Zealand. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 37: 405-417.
- Espinoza, N. 1988. Malezas del Sur de Chile. INIA Carillanca. Boletín Técnico (Chile) N° 117. 115p.
- Espinoza, N., 1996. Malezas presentes en Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Centro Regional de Investigación Carillanca. Editorial Aníbal Pinto. Concepción, Chile. 219 p.
- Fínot L.V., 2014. Taxonomy of the genus *Phalaris* L. (Poaceae: Pooideae: Phalaridinae) in Chile. *Gayana Botánica*. 71(2): 246-258
- Fínot, V.L. & J.A. Pedreros. 2012. *Phalaris paradoxa* L. (Poaceae: Phalaridinae), a new introduced weed species in Central Chile. *Gayana Botánica* 69(1): 110-113.
- Forde, M. & E. Edgar. 1995. Checklist of pooid grasses naturalised in New Zealand. 3 Tribe Bromaeae and Brachypodieae. *New Zealand Journal of Botany* 33: 35 - 44.
- Fuentealba, V.P., 1998. Comportamiento productivo de 23 cultivares de *Lolium perenne* L., en el secano de la Región de la Araucanía. Tesis Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de La Frontera. Temuco, Chile. 106 p
- Gädicke, S. G. 2006. Determinación de ecotipos de *Holcus lanatus* L. en accesiones colectadas en la Décima Región. Tesis para otra a título de Ingeniero Agrónomo. Escuela de Agronomía, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 80 p.
- Gallardo, A.F. & Borie, B.F., 1999. Sensibilidad y tolerancia de especies y cultivares a condiciones de acidez. Test rápido de diagnóstico. *Frontera Agrícola* 5 (1 y 2): 3-18.
- Gander, J.E.; Marum, P.; Marten G.C. & A. W. Hovin, G.C., 1976. The occurrence of 2-methyl-1,2,3,4-tetrahydro-β carboline and variation in

alkaloids in *Phalaris arundinacea*. *Phytochemistry*, 15: 737-738.

Garwood, E.A., Tyson, K.C., Sinclair, J. 1979. Use of water by six grass species: I. Dry-matter yields and response to irrigation. *Journal of Agricultural Science* 93: 13-24.

Gillet, M., 1984. Las gramíneas forrajeras. Editorial Acribia. Zaragoza, España. 354 p.

Gilliland T.J., Hennessy, D. & Griffith, V. 2011. Studies into the dynamics of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) seed mixtures. *Irish Journal of Agricultural and Food Research* 50: 99-112

Giménez, D. & C. Rumi. 1987. Perennidad potencial de *Bromus unioloides* H.B.K., evaluación del macollaje y ciclo de vida de las macollas. *Revista Facultad de Agronomía – La Plata*. (63): 5-14.

Glenn, A.E., Bacon, C.W., Price R. & Hanlin R.T. 1996. Molecular phylogeny of *Acremonium* and its taxonomic implications. *Mycologia* 88: 369-383.

Gómez, H.E., 2001. Efecto del enclado en la producción de cinco cultivares y nueve líneas de *Lolium perenne*, establecidos en un Andisol acidificado de la Región de La Araucanía. Tesis Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de La Frontera. Temuco, Chile. 95 p

Guan, X., Hirata, M., Ding, Ch., Xu, N., Yuyama, N., Tan, L., Fu Y., Wang, J & Ca, H. 2014. Genetic linkage map of *Lolium multiflorum* Lam. constructed from a BC₁ population derived from an interspecific hybridization, *L. multiflorum* × *Lolium temulentum* L. × *L. temulentum*. *Japanese Society of Grassland Science, Grassland Science*, 60: 142-149

Guillet, M., 1984. Gramíneas Forrajeras. Editorial Acribia. Zaragoza, España. 370 p.

Hill, N. S., Belesky D. P. & Stringer W. C., 1998. Encroachment of Endophyte-infected on Endophyte-free Tall Fescue. *Annals of Botany* 81: 483-488.

Hill, N.S., Stringer, W.C., Rottinghaus, G.E., Belesky, D.P., Parrott, W.A., Pope, DD. 1990. Growth, morphological, and chemical component responses of tall fescue to *Acremonium coenophialum*. *Crop Science* 30: 156-161.

Hodgson, J., 1979. Nomenclature and definitions in grazing studies. *Grass and Forage Science* 34, 11-18.

Holaday, A.S.; Schwilk, D.W.; Waring E.F. & Guvvala, H. Griffin, Ch.M. & Lewis, M. 2015. Plasticity of nitrogen allocation in the leaves of the invasive wetland grass, *Phalaris arundinacea* and co-occurring *Carex* species determines the photosynthetic sensitivity to nitrogen availability. *Journal of Plant Physiology* 177: 20-29

Hoveland, C.S., 1974. Possibilities for the Genus *Phalaris* in the South. Proceedings of the Southern Pasture and Forage Crop Improvement Conference 31, 155-160.

Hume, D., 1991. Effect of cutting on production and tillering in prairie grass *Bromus willdenowii* Kunth. Compared with two ryegrass *Lolium* species. II Reproductive plants. *Annals of Botany* 68: 1 – 11.

Hutchinson, M., 1992. Vegetation management guideline: reed canary grass. *Natural Areas Journal*. 12 (3): 159.

Ingram, J. 1997. Some theoretical aspects of mixtures. In: "Seeds of Progress" (ed. J.R. Weddell), British Grassland Society Occasional Symposium No. 31, 1997, ISBN 0905944496, p: 176-188.

Jung, G., J. Shaffer y J. Everhart., 1994. Fall management effects on "grasslands Matua" Prairie grass production and sward characteristics. *Agronomy Journal* 86: 1032 – 1039.

Katagiri, K.; Yale, K.; Nakamura, F. & Sakurai, Y., 2011. Factors controlling the distribution of aquatic macrophyte communities with special reference to the rapid expansion of a semi-emergent *Phalaris arundinacea* L. in Bibi River, Hokkaido, North Japan. *Limnology* 12, 175-185

Kemp, D., 1988. The effects of flowering and leaf area on sward growth in winter of temperate pasture grass. *Australian Journal of Agricultural Research* 38: 597 – 604.

Kirwan, L., Lüscher, A., Sebastian, M.T., Finn, J.A., Collins, R.P., Porceddu, C., Helgadottir, A., Baadshaug, O.H., Brophy, C., Coran, C., Dalmanndottir, S., Delgado, I., Elgersma, A., Fothergill, M., Frankow-Lindberg, Golinski, B.E., Grieu, P., Gustavsson, A.M., Hoglind, M., Huguenin-Elie, O., Iliadis, C., Jorgensen, M., Kadziulene, Z., Karyotis, T., Lunnan, T., Malengier, M., Maltoni, S., Meyer, V., Nyfeler, D., Nykanen-Kurki, P., Parente, J., Smit, H.J., Thumm, U. and Connolly, J. 2007. Evenness drives consistent diversity effects in intensive grassland systems across 28 European sites. *Journal of Ecology* 95: 530-539.

Kopecky, D., Lukaszewski, A.J. & Dolezel. 2008. Cytogenetics of *Festulolium* (*Festuca* × *Lolium*). *Cytogenetics and Genome Research* 120:370-383.

Lambrechtsen, N.C., 1992. What grass is that? Information Series N° 87. New Zealand Department of Scientific and Industrial Research. GP Publication. Fourth Edition. Wellington, New Zealand. 149 p.

Lang, G. A.; Early, J.D; Martin, G.C. & Darnell, R.L., 1987. Endo-, para-, and ecodormancy: physiological terminology and classification for dormancy research. *HortScience* 22:371-377.

Langer, R H M, 1973. Pastures and Pasture Plants. A. H. & A. W. Reed, Wellington, New Zealand. 482 p. Langer, R. 1981. Las pasturas y sus plantas. Hemisferio Sur. Montevideo, Uruguay. 518 p.

Langer, R.H.M. 1994. Pasture their ecology and management. Oxford University Press. Auckland, New Zealand. 499 p.

Langer, R.H.M., 1990. Pastures: Their Ecology and Management. Oxford University Press, Auckland, New Zealand. pp. 54-55.

Last, L., Lüscher, G., Widmer, F., Boller, B. & Kölliker, R., 2014. Indicators for genetic and phenotypic diversity of *Dactylis glomerata* in Swiss permanent grassland. *Ecological Indicators* 38: 181- 191

Launchbaugh, K., Walker, J. & Taylor, C., 1999. Foraging Behavior: ¿Experience or Inheritance? Grazing Behavior of Livestock and Wildlife, pp. 28-35.

Lavergne, S. & Molofsky, J., 2004. Reed canary grass (*Phalaris arundinacea*) as a biological model in the study of plant invasion. *Critical Reviews in Plant Sciences* 23: 415-429.

Leiva, M.J. & Ales, R.F., 2000. Effect of grazing on the population biology of *Phalaris aquatica*. *Journal Range Management*. 53, 277-281.

- Lesica, P., 1997. Spread of *Phalaris arundinacea* adversely impacts the endangered plant *Howellia aquatilis*. *Great Basin Natural* 57: 366–368.
- Lewandowski, I., Scurlock, J.M.O., Lindvall, E., Christou, M., 2003. The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe. *Biomass Bioenergy* 25: 335–361.
- Litrico, I., Bech, N., Flajoulot, S., Cadier, D., Talon, C., Gibelin, C., Barre, P., 2009. Cross-species amplification tests and diversity analysis using 56 PCR markers in *Dactylis glomerata* and *Lolium perenne*. *Molecular Ecology Resources* 9: 159–164.
- Lolicato, S. J., 2000. Soil water dynamics and growth of perennial pasture species for dryland salinity control. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 40: 37–46.
- López, F.I., Balocchi, A.O., Álvarez, X., Flores, P. & Latrille, L. 2016. Selectividad de *Bromus valdivianus* Phil., *Lolium perenne* L. y *Agrostis capillaris* L. por vacas lecheras en pastoreo. *Agro Sur* 44(3): 53-65.
- López, I., Balochi, O. y Niklitschek, P., 1999. Caracterización fenológica y productiva de *Agrostis capillaris* y *Holcus lanatus* en el Dominio Húmedo de Chile. *Agro Sur (Chile)* 27(2).
- López, I., Balochi, O., Lailhacar, P. & Oyarzun, L. 1997. Caracterización de sitios de crecimiento de seis especies pratenses nativas y naturalizadas del Dominio Húmedo de Chile. *Agro Sur (Chile)* 25: 62 – 80.
- López, I.F., Hodgson, J., Hedderley, D. I., Valentine, I. & Lambert, M.G., 2003. Selective defoliation by sheep according to slope and plant species in the hill country of New Zealand. *Grass and Forage Science* 58, 339-349.
- Lumaret, R. & Barrientos, E., 1990. Phylogenetic-relationships and gene flow between sympatric diploid and tetraploid plants of *Dactylis glomerata* (Gramineae). *Plant Systematics and Evolution* 169: 81–96.
- Lundqvist, A., 1969. Self-Incompatibility in *Dactylis glomerata* L. *Hereditas* 61:353–360.
- Mack, M.C. & D'Antonio, C.M., 1998. Impacts of biological invasions on disturbance regimes. *Trends in Ecology & Evolution* 13: 195–198.
- Martin, J., Storgaard, M.; Andersen, C. & Nielsen, K., 2004. Photoperiodic regulation of flowering in perennial ryegrass involving a *CONSTANS*-like homolog. *Plant Molecular Biology* 56: 159–169.
- Martin, R.J., Knight, T.L., Gillespie, R.N., Riddle, M.U., Fraser, T.J. 2008. Growth and water use of perennial ryegrass and tall fescue under different irrigation treatments. *Proceedings of the XXI International Grasslands Congress* 1: 835.
- Marvin, H.; G. Jung, J.; Shaffer & J. Everhart., 1996. Fall harvest management effects on “grasslands Matua” Prairie grass quality. *Agronomy Journal* 88: 971 – 975.
- Matthei, O., 1986. El género *Bromus* (Poaceae) en Chile. *Gayana Botánica* 43 (1-4): 47 – 110
- Matthei, O., 1995. Manual de las malezas que crecen en Chile. Alfabeto Impresores. Santiago. Chile. 545 p.
- McBratney, J.M. 1978. Production of perennial ryegrass cultivars of different maturity types when grown as pure swards and in certain combinations. *Grass and Forage Science* 33: 283–288.
- McCallum, D.A., Thomson, N.A., Thom, E.R. 1992. The place of tall fescue in intensive dairying. *Proceedings of the Ruakura Farmers' Conference* 44: 93-97.
- McLeod, M.K.; MacLeod, D.A. & Daniel, H., 2006. The effect of degradation of phalaris + white clover pasture on soil water regimes of a Brown Chromosol on the Northern Tablelands of NSW, Australia. *Agricultural Water Management* 82: 318–342
- Meza, V.P., 2009. Producción de siete cultivares de *Lolium perenne* L. en el secano de la IX Región de La Araucanía. Tesis Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de La Frontera. Temuco, Chile. 48 p.
- Milchunas, D., Sala, O. & Lauenroth, W., 1988. A generalized model of the effects of grazing large herbivores on grassland community structure. *American Naturalist* 132, 87-106.
- Mills, A., Moot, D.J. & McKenzie, B.A. 2006. Cocksfoot pasture production in relation to environmental variables. *Proceeding of the New Zealand Grassland Association* 68:89-94.
- Milne, G.D., Shaw, R., Powell, R., Pirie, B., Pirie, J., 1997. Tall fescue use on dairy farms. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association* 59: 163-167.
- Morgan-Jones G. & Gams W., 1982. Notes on *Hyphomycetes*. XLI. An endophyte of *Festuca arundinacea* and the anamorph of *Epichloe typhina*, new taxa in one of two new sections of *Acremonium*. *Mycotaxon* 15: 311-318.
- Muñoz, H. 2002. Estudio de la adaptación, crecimiento y producción de leguminosas anuales en precordillera andina. Tesis para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía, Universidad Adventista de Chile, Chillán, Chile. 55 p.
- Muñoz, M., 1980. Flora del parque nacional Puyehue. Editorial Universitaria. Santiago, Chile. 537 p.
- Muslera, P.E. & Ratera G.C., 1991. Praderas y Forrajes. Producción y Aprovechamiento. Ediciones Mundi – Prensa. Segunda Edición. Madrid, España. 674 p.
- Navas, E., 1973. Flora de la cuenca de Santiago. *Pteridophyta, Gymnospermae y Monocotyledonae*. Editorial Andrés Bello. Santiago, Chile. v1. 301 p.
- Neira, R.L., 1998. Comportamiento productivo de cinco especies gramíneas forrajeras perennes en el secano de la Región de La Araucanía. Tesis de grado para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales. Universidad de La Frontera. Temuco, Chile. 104 p.
- Nie, Z., & Norton, M.R., 2009: Stress tolerance and persistence of perennial grasses: the role of the summer dormancy trait in temperate Australia. *Crop Science*. 49, 2405–2411.
- Norton, M. R., Lelievre, F. & Volaire, F., 2012. Summer Dormancy in *Phalaris aquatica* L., the Influence of Season of Sowing and Summer Moisture Regime on Two Contrasting Cultivars. *Journal Agronomy & Crop Science*, 198:1-13.
- Nyfelner, D., Huguenin-Elie, O., Suter, M., Frossard, E., Connolly, J. and Lüscher, A., 2009. Strong mixture effects among four species in fertilized agricultural grassland led to persistent and consistent transgressive over yielding. *Journal of Applied Ecology* 46: 683–691

- Ortega, F.K.; Romero, Y.O.; Galdames, G.R. & González, R.R., 1993. Evaluación de cultivares de pasto ovillo (*Dactylis glomerata* L.) en la IX Región. *Agricultura Técnica (Chile)* 53(2): 106-111
- Ortega, K.F., Torres, B.A., Moscoso, J.C., Santana, R.G. & Melo M.H., 2013. Gramíneas forrajeras perennes para el sur de Chile. Evaluación de cultivares 2010 – 2013. Boletín INIA 226. Imprenta América, Osorno, Chile. 62 p.
- Otieno, D.; Kreyling, J.; Purcell, A.; Herold, N.; Grant, K.; Tenhunen, J.; Beierkuhnlein, C. & Jentsch, A. 2012. Drought responses of *Arrhenatherum elatius* grown in plant assemblages of varying species richness. *Acta Oecologica* 39: 11 – 17.
- Paterson, J., Forcherio C., Larson B., Samford M. & Kerley M., 1995. The effects of fescue toxicosis on beef cattle productivity. *Journal of Animal Science* 73, 889-898.
- Pérez, C. F., 2000. Comportamiento productivo de siete cultivares de *Lolium perenne* L. en el secano de la Región de La Araucanía. Tesis Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de La Frontera. Temuco, Chile. 87 p
- Perkins, T. & Wilson, M., 2005. The impacts of *Phalaris arundinacea* (reed canarygrass) invasion on wetland plant richness in the Oregon Coast Range, USA depend on beavers. *Biological Conservation* 124: 291–295
- Ramírez, C., San Martín, C., Finot, V. & Ríos, D., 1992. Evaluación de praderas usando indicadores ecológicos. *Agro Sur (Chile)*. 20(2): 85 – 100.
- Rawnsley, R.P., Donaghy, D.J., Stevens, D.R., 2007. What is limiting production and consumption of perennial ryegrass in temperate dairy regions of Australia and New Zealand? pp. 256-274. In: *Proceedings of the Australasian Dairy Science Symposium*. Melbourne. Ed. Chapman, D.F.; Clark, D.A.; Macmillan, K.L.; Nation, D.P. National Dairy Alliance.
- Reed, K.F.M., 1996. Improving the adaptation of perennial pasture grasses. *New Zealand Journal of Agriculture Research* 39: 457 – 464.
- Rogler, G., 1972. Los Agropiros. En: Hughes, H.; Heath, M. & Metcalfe, D. (eds) Forrajes. La ciencia de la agricultura basada en la producción de pastos. Compañía Editorial Continental. Ciudad de México, México. pp: 89-129.
- Romero, Y.O.; Acuña, P.H. & Elizalde V.H. 1986. Comportamiento de variedades de festuca y pasto ovillo en la novena región de Chile. *Agricultura Técnica (Chile)* 46: 173-178.
- Samecka-Cymerman, A. & Kempers, A.J., 2001. Concentrations of heavy metals and plant nutrients in water, sediments and aquatic macrophytes of anthropogenic lakes (former open cut brown coal mines) differing in stage of acidification. *Science of The Total Environment* 281: 87–98.
- Schardl, C.L.; Florea, S.; Pan, J.; Nagabhyru P.; Bec, S. & Calie P.J., 2013. The epichloae: alkaloid diversity and roles in symbiosis with grasses. *Current Opinion in Plant Biology*, 16(4): 480-488.
- Scotton, M., 2016. Establishing a semi-natural grassland: Effects of harvesting time and sowing density on species composition and structure of a restored *Arrhenatherum elatius* meadow. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 220: 35–44
- Simmonds, N.W., 1962. Variability in crop plants, its use and conservation. *Biological Review of the Cambridge Philosophical Society* 37: 442–465.
- Stewart, A. & Charlton, D. 2006. Pasture and forage plants for New Zealand. New Zealand Grassland Association. New Zealand Grassland Trust. Grassland research and practice serie N°8. Thierd edition. New Zealand. 128 p
- Stewart, A. 1992. Grassland Gala grazing brome (*Bromus stamineus* Desv.) A new dryland pasture grass. *New Zealand of Agricultural Research* 35: 349 – 353.
- Stewart, A. W.; Joachimiak, A. J. & Ellison, N. W., 2011. *Phleum*. – In: Kole, C. (ed.), Wild crop relatives: genomic and breeding resources. Millets and grasses. Springer, p: 257–274.
- Stewart, A., 1996. The potential role of some *Bromus* species, section *Ceratochloa*. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 39(4): 611 – 618.
- Stewart, A., Kerr, G.; Lissaman, W. & Rowarth, J., 2014. Pasture and forage plants for New Zealand. Grassland Research and Practice Series N° 8. New Zealand Grassland Association. Taieri, Fairfield, Dunedin, New Zealand. 139 p.
- Tanhuanpää, P. & Manninen, O., 2012. High SSR diversity but little differentiation between accessions of Nordic timothy (*Phleum pratense* L.). *Hereditas* 149: 114–127
- Thom, E.R., 2000. How much pasture can we really grow? *Proceedings of the South Island Dairying Event*: 72-79.
- Thomson, N.A.; Lagan, J.F.; McCallum, D.A.; Prestige, R., 1988. An evaluation of Grasslands Roa tall fescue and Grasslands Maru *Phalaris* for dairying. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association* 49: 187-191.
- Toneatti, M. & Rivera, N., 2005. Ensayos de tolerancia al aluminio de *Bromus stamineus* y *Bromus lithobius* recolectados en el sur de Chile. *Información Tecnológica* 17(1): 9-17
- Trenbath, B.R., 1974. Biomass productivity of mixtures. *Advances in Agronomy* 26: 177–210.
- Tucker, G.C., 1996. The genera of *Pooideae* (*Gramineae*) in the Southeastern United States. *Harvard Papers in Botany* 9: 11-90.
- Vegis, A., 1964: Dormancy in higher plants. *Annual Review of Plant Physiology*. 15., 185–224.
- Volaire, F. & Norton M., 2006. Summer Dormancy in Perennial Temperate Grasses. *Annals of Botany* 98: 927–933.
- Volaire, F.; Norton, M.R.; Norton, G.M. & Lelievre, F., 2005: Seasonal patterns of growth, dehydrins and water-soluble carbohydrates in genotypes of *Dactylis glomerata* varying in summer dormancy. *Annals of Botany*. 95: 981–990.
- Voshell, S.M. & Hilu K.W., 2014. Canary grass (*Phalaris*, *Poaceae*): biogeography, molecular dating and the role of the floret structure in dispersal. *Molecular Ecology* 23: 212-224.
- Wheeler, D. 1995. Relative aluminium tolerance of ten species of gramineae. *Journal of Plant Nutrition* 18(11): 2305 – 2312.
- Wheeler, D.J.B., Jacobs, S.W. L., Whalley, R.D.B., 2002. Grasses of New South Wales. University of New England Printery, Armidale. England. 446 p.
- Wheeler, D.J.B.; Jacobs, S.W.L.; Norton, B.E. & Whalley, R.D.B. 2002. Grasses of New South Wales. 3rd ed. University of New England

monographs no. 3. Universitas of New England, Armidale Australia, pp. 332–335.

White, J. & Hodgson, J., 1999. New Zealand. Pasture and Crop Science. Oxford University Press. Auckland, New Zealand. 323 p.

Whyte, D.; Moir, G. & Cooper, P., 1959. Las gramíneas en la agricultura. Dirección de Fitotecnia y Protección Fitosanitaria. Roma, Italia. 464p.

Woodford, E.K., 1966. The need for a fresh approach to the place and purpose of ley. *Journal of the British Grassland Society* 21: 109–115.

Yan, X.-B.; Guo, Y.-X. & Zhao, C., 2009. Intra-population genetic diversity of two wheatgrass species along altitude gradients on the Qinghai-Tibetan Plateau: its implication for conservation and utilization. – *Conservation Genetics* 10: 359–367.

Yanniccari, M., Istiart, C., Giménez, D.A. & Castro, A.M., 2012. Effects of glyphosate on the movement of assimilates of two *Lolium perenne* L. populations with differential herbicide sensitivity. *Environmental and Experimental Botany* 82: 14–19.

Capítulo IV
Pasturas de la zona templada
Especies leguminosas

Rolando Demanet Filippi

Contenido

Introducción	138
<i>Trifolium repens</i> L. (trébol blanco)	138
<i>Trifolium pratense</i> L. (trébol rosado)	140
<i>Medicago sativa</i> L. (alfalfa)	144
<i>Lotus tenuis</i> Waldst. & Kit. ex Willd. (lotera)	150
<i>Lotus corniculatus</i> L. (lotera)	151
<i>Lotus uliginosus</i> Schkuhr syn. <i>Lotus. pedunculatus</i> Cav. (alfalfa chilota)	153
<i>Ornithopus compressus</i> L. (serradela amarilla)	155
<i>Ornithopus sativus</i> Brot. (serradela rosada)	158
<i>Trifolium subterraneum</i> L. (trébol subterráneo)	160
<i>Medicagos anuales</i> (hualputras)	170
<i>Trifolium incarnatum</i> L. (trébol encarnado)	173
<i>Trifolium alexandrinum</i> L. (trébol alejandrino)	179
<i>Trifolium michelianum</i> Savi. (trébol balansa)	181
<i>Trifolium resupinatum</i> L. (trébol persa)	182
<i>Trifolium vesiculosum</i> Savi (trébol vesiculoso)	183
<i>Trifolium hirtum</i> All.	185
<i>Trifolium fragiferum</i> L. (trébol frutilla)	186
Bibliografía	187

Introducción

Las leguminosas forrajeras constituyen un amplio grupo de especies y forman un componente importante de las pasturas en todo el mundo y específicamente en la zona templada. Habitualmente se establecen en asociación con gramíneas con el objetivo de lograr pasturas polifíticas equilibradas desde el punto de vista nutricional, ya que las gramíneas aportan energía y fibra y las leguminosas proteína.

La utilización de las leguminosas forrajeras en todas las áreas ganaderas del mundo es el resultado de la importancia que tienen estas especies ya que permiten una reducción del aporte de fertilizantes nitrogenados como consecuencia de la fijación biológica de nitrógeno que llevan a cabo bacterias del suelo, conocidas genéricamente como rizobios, en asociación simbiótica con ellas. De esta forma contribuyen a incrementar el valor biológico de las pasturas mediante el aporte de proteínas y a reducir los costos de producción por la disminución del uso de fertilizantes inorgánicos (Rochon *et al.*, 2004).

***Trifolium repens* L. (trébol blanco)**

Especie perteneciente a la familia Fabaceae, sub familia Faboideae, tribu Trifolieae, género *Trifolium*. Reconocida en todo el mundo como una planta de alto valor nutricional, es originaria de la zona mediterránea, Europa, Asia y África del Norte y crece desde el nivel del mar hasta los 6.000 m de altitud en el Himalaya (Brock *et al.*, 1989; Muslera & Ratera, 1991; Langer, 1994) (Figura 4.1)

Se estima que fue introducida en Chile en 1870 con la colonización europea y se naturalizó en todas las zonas de pastizales del país (Águila, 1997). Es la leguminosa más importante de los sistemas pastoriles del mundo y se

caracteriza por presentar crecimiento en verano, siendo su temperatura de crecimiento óptima superior en 5°C a la de *Lolium perenne* L. (Brock *et al.*, 1989).



Figura 4.1. *Trifolium repens* L. (trébol blanco)

El trébol blanco es una planta perenne de alta persistencia en pasturas sometidas a pastoreo. Forma nódulos en sus raíces inducidos por *Rhizobium* en donde tiene lugar la fijación de nitrógeno de la atmósfera. Posee un hábito estolonífero, rastrero con tallos horizontales o estolones que se desarrollan a nivel de la superficie del suelo. Con frecuencia, los estolones son enterrados en el suelo por acción del pisoteo animal o de lombrices, y los nudos de los estolones desarrollan raíces generando una planta persistente y fuerte bajo condiciones de pastoreo frecuente e intenso (Muslera & Ratera, 1991; Langer, 1994; White & Hodgson, 1999; Stewart *et al.*, 2014).

Chile posee una importante oferta de cultivares de esta especie. La demanda ha evolucionado hacia tréboles de tipo ladino (hoja grande) y hoja intermedia, situación no muy adecuada ya que, en general, los tréboles de hoja grande poseen baja densidad de estolones y poca persistencia (Demanet, 2014) (Tabla 4.1).

Tabla 4.1. Características de los cultivares que existen en el mercado de *Trifolium repens* L.

Hoja pequeña	Hoja intermedia	Hoja grande
Pecíolo pequeño y estolones muy ramificados.	Pecíolos largos y estolones cortos y menos ramificados.	Pecíolos largos y estolones largos, gruesos y aéreos.
Crecimiento rastrero.	Crecimiento semi erecto.	Crecimiento erecto conocidos como ladino.
Tolerante a pastoreos intensos y frecuentes.	Adaptado a pastoreos laxos y frecuentes.	Tolerante a pastoreos intensos e infrecuentes.
Apto para ovinos y camélidos.	Apto para bovinos de carne y leche.	Mayor adaptación para bovinos de leche.
Tolera periodos prolongados de sequía.	Baja tolerancia al déficit hídrico.	No tolera periodos secos.

Fuente: adaptado de Demanet, 2014

Es importante considerar que esta especie, destinada a sistemas pastoriles y acompañante ideal de pasturas permanentes, debe establecerse en mezcla de dos o más tipos de cultivares en una misma pastura, lo que permite una mayor diversidad genética y un aporte continuado de trébol a lo largo del año, especialmente en sistemas de pastoreo intensivo (Demanet, 2009; Demanet, 2014).

La mezcla de un cultivar de hoja grande con otro de hoja intermedia puede favorecer la producción invernal y de verano por cada uno de los cultivares. Los de tamaño intermedio y estolones densos pueden complementarse con los de hoja grande, ya que se ubican en diferentes estratos, unos destinados a defoliación mientras que otros en el estrato bajo, a la fijación biológica (White & Hodgson, 1999; Stewart *et al.*, 2014).

El aporte del trébol blanco a la producción de materia seca de las mezclas con gramíneas puede ser muy variable (1 a 25%) y depende del tipo de cultivar, nivel de fertilidad del suelo, densidad de la pastura, frecuencia e intensidad de uso, estación del año y condiciones climáticas particulares del área (Brougham, 1960; Brougham *et al.*, 1976).

El aporte de *Trifolium repens* L. a la producción ganadera mundial ha sido fundamental. En la zona templada es capaz de aportar hasta 200 kg de nitrógeno por hectárea mediante la fijación biológica (Clark *et al.*, 1979; Barr, 1996), contribuir hasta un 22% al incremento de la producción de leche bovina (Harris *et al.*, 1997), mejorar el estado de los animales e incrementar la ganancia de peso del ganado en engorda (Hyslop *et al.*, 2000).

Durante un periodo de siete años, se midió el aporte del trébol a la producción anual de una pastura en mezcla con *Lolium perenne* L. Las evaluaciones se realizaron bajo pastoreo en la localidad de Futrono, sector precordillerano y circundante al lago Ranco. Los resultados evidenciaron que el aporte del trébol a la producción total anual fue del 13,3% (Figura 4.2).

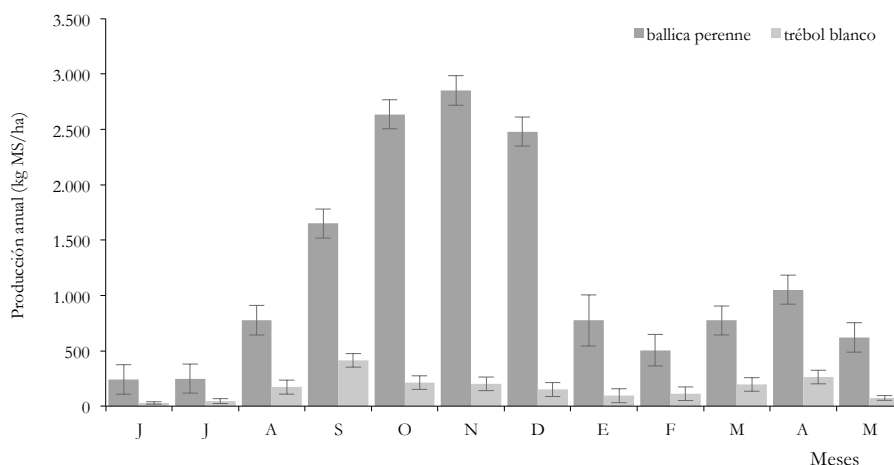


Figura 4.2. Aporte del trébol blanco a la producción anual de *Lolium perenne* L. + *Trifolium repens* L. en el secano de la zona templada. Futrono, Región de Los Ríos. Periodo 2006 – 2012.

Coefficiente de variación: *Lolium perenne* L. 10,69%; *Trifolium repens* L. 12,61%.

En los meses de marzo, abril y septiembre, la contribución del trébol blanco a la composición botánica de la pastura superó el 20%, valor que, en general, puede causar problemas de meteorismo espumoso en los animales. Esta alteración digestiva está caracterizada por la distensión del retículo-rumen como consecuencia de la acumulación de gases provenientes de la fermentación microbiana del alimento, el cual es atrapado en pequeñas burbujas de gran estabilidad (Demanet, 2014).

En general el aporte del trébol blanco se encuentra limitado por condiciones de fertilidad de suelos (Mora & Demanet, 1995), manejo de pastoreo inadecuado (Teuber, 2009) y mala nutrición de las pasturas (Demanet, 2014).

Trifolium pratense L. (trébol rosado)

Especie perenne de vida corta (trianual) perteneciente a la familia Fabaceae, sub familia Faboideae, género *Trifolium*. Introducida en Chile desde Europa en 1869 por Guillermo Délano, se dispersó por el país de forma rápida a partir de una siembra en la provincia de Maule debido a su excelente adaptación y producción de forraje (Águila, 1997).

Es una de las leguminosas más importantes en las zonas templadas del mundo, en donde se reconoce su capacidad para producir gran cantidad de forraje de calidad. Tiene hábito de crecimiento erecto, con numerosos tallos, que nacen de una corona gruesa, alcanzando hasta 120 cm de altura. Sus hojas son trifoliadas y cubiertas de finos vellos. La inflorescencia es un capítulo globular con flores de color rosado a púrpura y semillas pequeñas (500 – 600 semillas/g) (Figura 4.3). La raíz es pivotante y profunda, con muchas ramificaciones laterales que le ayudan a captar agua y le permiten tolerar periodos de déficit hídrico. Las raíces laterales, se concentran en los primeros 15 centímetros de profundidad, y en ellas se encuentran los nódulos inducidos por los rizobios (*Rhizobium leguminosarum* BV. *trifolii* (Frank)), donde ocurre la fijación biológica de nitrógeno (Muslera & Ratera, 1991; Ruiz, 1996; Stewart *et al.*, 2014).



Figura 4.3. *Trifolium pratense* L. (trébol rosado)

Especie entomófila, es polinizada por moscardones o abejorros de proboscis larga como son los himenópteros *Bombus dahlbomii* (Guérin-Ménéville), insecto que habita de forma natural en los bosques fríos del sur de Chile y de la patagonia argentina (Martínez-Harms, *et al.*, 2010) y *Bombus ruderatus* (Fabricius). Este último fue introducido desde Europa en 1980 para mejorar la polinización de flores que poseen corola con un tubo de gran longitud, en cuya base van alojados los nectarios debido a que las abejas son muy ineficientes en este tipo de plantas dado que poseen proboscis corta.

Se adapta a una amplia gama de suelos y climas, siendo óptimos los suelos fértiles, bien drenados, pero con buena retención de agua y pH entre 5,8 y 6,7. Prospera relativamente bien en suelos ácidos (pH 5,2 a 5,8) y en situaciones de exceso de humedad invernal. Igualmente se desarrolla bien en climas templados con riego y mediterráneos húmedos. Presenta crecimiento con temperaturas entre 7 y 30°C. Existen dos tipos de tréboles rosado: el que permite un solo corte y el que soporta dos o más cortes. Los cultivares que se comercializan en Chile se encuentran clasificados como de dos o más cortes (Speeding & Diekmahns, 1972; Teuber, 1980; Demanet, 2014).

Es una especie de rápida emergencia que se inicia tres a cuatro días después de la siembra con temperaturas de suelo sobre 10°C. Las plántulas suelen ser vigorosas y su crecimiento inicial es más rápido que el de las gramíneas forrajeras. Esta especie sembrada sola o asociada a gramíneas de corta rotación se establece en los meses de febrero – marzo y septiembre – octubre. En siembras otoñales tardías, posteriores al mes de marzo se afectan por posibles heladas que dañan la población inicial de plantas. En primavera, la siembra posterior al mes de octubre tiene el riesgo de enfrentar el cultivo a un periodo de déficit hídrico, generando una pérdida importante de las plantas emergidas. La pérdida de población en los primeros estadios de desarrollo es un daño, habitualmente irreversible, dado el bajo contenido de semillas duras que poseen los cultivares comercializados en Chile.

En ambas épocas de establecimiento el objetivo es lograr una población inicial de 700 plantas por metro cuadrado, lo que se logra habitualmente con 12 kilos de semillas/ha. En asociación con especies gramíneas la dosis se reduce a 10 kilos de semilla de trébol/ha que se asocia a 15 kilos de ballica de rotación o entre 40 y 80 kilos por hectárea dependiendo de si se trata de *Avena strigosa* o *Avena sativa*, respectivamente (Demanet, 2014).

Trifolium pratense L. es una especie versátil, de alta productividad en el periodo estival, buena tolerancia a periodos de estrés hídrico, considerables niveles de fijación biológica de nitrógeno, alto nivel de proteína digestible y

contenido elevado de minerales. Estas son algunas de las características de esta especie altamente difundida en la zona sur del país y que, por décadas, ha sido utilizada en sistemas de rotación para pastoreo invernal y conservación de forraje. En Chile es una de las pocas especies forrajeras que posee un cultivar certificado y protegido, cuya semilla no sólo es producida para el consumo nacional, sino también para la exportación, principalmente, a países de América Latina y Estados Unidos.

Entre los años 1996/98 y 2002/04 se evaluaron 20 cultivares de *Trifolium pratense* L. en el secano de la zona templada. El mayor rendimiento se obtuvo en el año 2003 (15,84 ton MS/ha), significativamente diferente del resto de los años (Tabla 4.2). Estos valores se agruparon en dos categorías según el ranking BLUP y solo un año se ubicó en un nivel de producción alto (16,6%), lo que demuestra la baja probabilidad de que en esta zona se registren años con niveles de producción aceptables. La segunda categoría, denominada media, presentó una producción promedio de 8,57 ton MS/ha, valor considerado bajo si se compara con los resultados de otras especies medidas en la zona templada (Tabla 4.3)

Tabla 4.2. Rendimiento promedio anual (ton MS/ha) de *Trifolium pratense* L. en el secano de la zona templada de Chile. Periodos 1996/1998 y 2002/2004.

Años	Producción (ton MS/ha)
2003	15,84 a
2004	10,36 b
2002	9,10 c
1996	8,78 cd
1998	7,61 d
1997	6,98 e

Medias que no comparten una letra en común son diferentes según la Prueba de Tukey ($p > 0,05$)
Coeficiente de variación: 13,68%

Tabla 4.3. Clasificación de años, de acuerdo con el nivel de rendimiento de *Trifolium pratense* L., según el ranking BLUP (*Best Linear Unbiased Prediction*), en el secano del área templada de Chile. Periodos 1996/98 y 2002/04.

Nivel de producción	Nº Años	Rendimiento (ton MS/ha)			Significancia de BLUP
		Promedio	Máximo	Mínimo	
Alta	1	15,84	15,84	15,84	$P \leq 0,05$
Media	5	8,57	10,36	6,98	$P > 0,05$
Total	6				

El bajo nivel de rendimiento logrado por los cultivares de esta especie evidenció la reducida oferta de cultivares de alto rendimiento que existe para la zona templada. La mayoría de los cultivares evaluados corresponden a materiales de origen nacional, los cuales no han tenido el desarrollo genético suficiente como para superar la barrera de las 16 ton MS/ha, valor necesario para competir con el resto de las especies de corte. La mayor producción fue obtenida por el cultivar Quiñequel PB (semilla pre básica), con 11,31 ton MS/ha, valor estadísticamente similar al 60% de los cultivares medidos en estos seis años (Tabla 4.4).

La clasificación en categorías de acuerdo al nivel de rendimiento permitió observar que sólo el 10% de los cultivares se ubicaron en el nivel de rendimiento alto y el resto en los niveles medio y bajo (Tabla 4.5). Aun así, los resultados obtenidos en esta investigación son similares a los presentados por Teuber (1980) y Ruiz (1996).

En los sistemas ganaderos existen dos opciones de siembra de esta especie, sola o asociada a especies gramíneas de rotación. En las evaluaciones desarrolladas en la Estación Experimental Maquehue, en el periodo 1993 – 2004, se logró alcanzar una producción máxima de 18,4 ton MS/ha, muy superior a las descritas anteriormente.

En asociación con *Lolium multiflorum* Lam. var. *italicum*, la producción máxima lograda fue 16,4 ton MS/ha, generada por el aporte de la gramínea a la producción de forraje. Esta asociación es una opción que cambia la distribución estacional de la producción, generando un mayor aporte de la gramínea en el periodo cuando el trébol ofrece una baja contribución: otoño, invierno e inicio de la primavera (Demaret, 2014).

Esta especie es considerada de vida corta, aunque su persistencia puede ser superior a tres años que se ve limitada por la presencia de plagas que afectan el funcionamiento y vida de las plantas. El principal antagonista que posee *Trifolium pratense* L., es el coleóptero *Hylastinus obscurus* Marsham (barrenador de la raíz del trébol rosado).

Tabla 4.4. Rendimiento promedio de 20 cultivares de *Trifolium pratense* L. en el secano del área templada de Chile. Temuco. Periodos 1996/1998 y 2002/2004.

Cultivares	Producción (ton MS/ha)
Quínequeli PB	11,31 a
Redqueli	11,15 ab
Redqueli INIA	10,99 abc
Toltén	10,82 abc
Redgold	10,75 abc
Toltén	10,41 abc
Cautín	10,31 abcd
Quínequeli INIA Carillanca	9,84 abcde
Quínequeli Anasac	9,75 abcde
Sureño	9,75 abcde
Concorde	9,69 abcde
Toltén 2	9,42 abcde
Quínequeli INIA La Platina	9,33 abcde
Colenso	9,20 bcde
Estanzuela	9,17 bcde
Quínequeli CG	9,10 cde
Toltén 1	9,10 cde
Palaversich	8,63 de
Violeta	8,47 e
Pawera	8,38 e

Medias que no comparten una letra en común son diferentes según la Prueba de Tukey ($p > 0,05$)
 Coeficiente de variación: 13,68%

Tabla 4.5. Clasificación de cultivares de *Trifolium pratense* L., de acuerdo con su nivel de rendimiento, según el ranking BLUP (*Best Linear Unbiased Prediction*), en el secano del área templada de Chile. Periodos 1996/98 y 2002/04.

Nivel de producción	N° Cultivares	Producción (ton MS/ha)			Significancia de BLUP
		Promedio	Máximo	Mínimo	
Alta	2	11,23	11,31	11,15	$P \leq 0,05$
Media	14	9,89	10,99	9,10	$P > 0,05$
Baja	4	8,65	9,10	8,38	$P \leq 0,05$
Total	20				

Se trata de una plaga introducida desde Europa y descrita en Chile en 1971 por Carrillo & Mundaca (1974) y que se distribuye desde Linares a Osorno (Cisternas & Norabuena, 1991).

El daño es causado en estados de larva y adulto del insecto que se alimentan de tejidos de la raíz, principalmente, la corteza y el cilindro vascular. En estado adulto forma galerías de ovoposición de forma helicoidal o vertical que facilita el ingreso de hongos fitopatógenos, saprófitos o insectos que consumen el tejido en descomposición. El consumo de parte de la raíz por el insecto genera una distorsión en el almacenamiento de carbohidratos de reserva en la corona de la planta que afecta a la persistencia y producción (Cisternas & Norabuena, 1991). El daño causado por el insecto en las plantas se identifica fácilmente ya que produce galerías evidentes en la corona de las plantas y el desprendimiento del suelo se realiza con facilidad por los animales en pastoreo.

La intensidad del ataque de *Hylastinus obscurus* Marsham es variable y depende de las condiciones de clima y suelo. En zonas con déficit hídrico prolongado (4 a 6 meses), el ataque se produce en la primera temporada y puede alcanzar hasta el 100% de las plantas recién establecidas. En zonas con veranos más templados el ataque es severo a partir de la segunda o tercera temporada, alcanzando niveles de daño entre el 70 y el 100% (Carrillo & Mundaca, 1974).

Otros insectos que afectan al rendimiento y persistencia de *Trifolium pratense* L. son los pulgones, que se caracterizan por ser vectores de diversos virus que pueden provocar la muerte de las plantas y reducción de la producción de forraje y semilla. Los principales pulgones que se encuentran en las plantas de *Trifolium*

pratense L. son *Brachycandus belichrysi* (Kaltenbach), *Nearctaphis bakeri* (pulgón del trébol), *Tberioaphis trifolii* (pulgón manchado de la alfalfa), *Acyrtosiphon pisum* (pulgón de la arveja) y *Acyrtosiphon kondoi* (pulgón azul de la alfalfa), cuyas poblaciones se pueden reducir mediante el uso de depredadores naturales (coccinélidos), siembra de cultivares tolerantes y aplicación de insecticidas específicos (Pacheco *et al.*, 2014).

Las enfermedades son otro de los problemas que afectan a la persistencia, calidad y rendimiento de esta pastura. Los principales organismos que afectan a *Trifolium pratense* L., son, en su mayoría, hongos que afectan a las diferentes partes de la planta y cuyo control se aborda con el uso de cultivares tolerantes, defoliaciones oportunas y rotaciones de cultivos (Galdames, 1991).

Las enfermedades foliares más recurrentes en la zona templada corresponde a las generadas por *Stemphylium sarciniforme* (Cav.) Willshire (mancha foliar), *Erysiphe trifolii* Grev (oidio), *Septoria compta* Scc. (septoriosis) y *Uromyces trifolii* (Hedw.f. ex DC.) Lev. Var *fallens* ArthH (roya). Aquellas que afectan a tallos y hojas son producidas por *Phoma medicaginis* Malbr. y Roum var. *medicaginis* Boerema (tallo negro) y *Sclerotinia trifoliorum* Erikss. (esclerotinia). A nivel radical la enfermedad más importante es la causada por *Fusarium spp* (fusariosis). La manifestación de estas enfermedades esta condicionada a la compleja interacción entre el trébol, el patógeno y el medio ambiente, además de la acción del hombre y los animales (Galdames, 1991; Galdames & France, 1996).

El trébol rosado, sembrado solo o asociado a gramíneas, constituye uno de los principales forrajes suplementarios de producción de verano. Es utilizado para pastoreo invernal, elaboración de ensilaje en primavera y ocasionalmente heno en verano. Con el incremento de la elaboración de ensilajes premarchitos y el uso de aditivos biológicos, la elaboración de ensilaje de trébol rosado es cada día más común, en la zona sur de Chile. Constituye una fuente de proteínas de excelente calidad para los sistemas ganaderos y se complementa bien en los sistemas de rotación que incluyen el establecimiento de cereales de grano pequeño.

***Medicago sativa* L. (alfalfa)**

Leguminosa de ciclo perenne pertenece a la familia Fabaceae, sub familia Faboideae, tribu Trifolieae, género *Medicago* (Figura 4.4). Se utiliza en todo Chile para el consumo animal como heno, henilaje y soiling. También es consumida por los animales en forma directa en pastoreo. Sin embargo, esta opción está restringida a algunos periodos del año y a estados fenológicos de las plantas, dada la alta posibilidad de que se presenten eventos de meteorismo espumoso en los animales. Otra de las formas de utilización de la alfalfa es en pellets, cubos o briquetas, todos ellos productos compactados y deshidratados de alta densidad.



Figura 4.4. *Medicago sativa* L. (alfalfa)

La alfalfa es una especie originaria de las altiplanicies de Irán y regiones aledañas, incluyendo la península arábiga. Su introducción en Europa fue a través de Grecia, desde donde se difundió a occidente hasta llegar a España y todos los países que formaban el imperio romano. Los españoles introdujeron la alfalfa en América, primero en México y Perú y luego en Chile (Bolton, 1962; Muslera & Ratera, 1991; Águila, 1997).

En Chile la alfalfa fue cultivada en primera instancia en el valle de Huasco, desde donde se propagó de forma rápida por el valle central, generando ecotipos locales cuyos nombres se relacionaban con la localidad: Huasco, Polpaico, San José de Maipo, entre otras (Águila, 1997). En la zona templada se introdujo en la década de los 50 del siglo pasado, donde fue establecida de forma rudimentaria, pero efectiva, en diversos lugares de riego de la provincia de Malleco y Cautín y en secano en sectores de las provincias de Valdivia y Osorno.

A partir de 1975 con el nuevo impulso de los sistemas intensivos de producción ganadera asociados al interés comercial por la incorporación de nuevos cultivares e investigación en manejo nutricional, la alfalfa es incorporada con fuerza a la zona templada, alcanzando una superficie superior a 3.500 hectáreas (Soto, 1990; Romero, 1992). Las condiciones climáticas adversas para la elaboración de heno determinaron que este cultivo, en la zona templada, fuese destinado solo a la elaboración de ensilaje. Este proceso tuvo inicialmente grandes fracasos en relación a la calidad del forraje cosechado producto del desconocimiento de la época de cosecha, falta de maquinaria para elaborar ensilaje pre marchito y carencia de aditivos biológicos de calidad que permitieran el desarrollo de una adecuada fermentación anaeróbica.

Con la llegada a Chile de técnicas de almacenamiento en bolos sellados con plástico y la incorporación de aditivos biológicos de calidad, la elaboración de ensilaje de alfalfa se transformó en una opción de alto valor nutritivo transformándose en una opción de aporte proteico para las dietas de los animales.

La alfalfa es una planta herbácea de crecimiento erecto cuyos tallos nacen de la corona. Se caracteriza por ser una especie de enraizamiento profundo capaz de crecer a altas temperaturas, lo que le permite tener un gran desarrollo en el periodo estival, en suelos húmedos o con riego. Además, es capaz de soportar periodos prolongados de sequía y su crecimiento se detiene con temperaturas inferiores a 1°C (Soto, 1999; 2000).

La raíz pivotante que desarrolla de forma rápida en el año de establecimiento le permite explorar un gran volumen de suelo y acota su uso a suelos profundos (> 2 metros), bien drenados y sin presencia de capas impermeables que impidan la penetración de las raíces. Las napas freáticas eventuales o permanentes producen asfixia radical, lo que provoca la muerte de las plantas. En suelos sometidos a riego, las sobre cargas de agua generan el mismo efecto de asfixia radical y, además, permiten el desarrollo de especies no deseables para esta pastura como son el trébol blanco, romaza, hualcacho, maicillo, duraznillo, chépica, pasto miel, entre otras. Todas ellas son fuertes competidoras por espacio y nutrientes con las plantas de alfalfa (Romero, 1992; Soto, 2000; Demanet, 2014).

Una limitante importante para el desarrollo de una pastura productiva de alfalfa es el nivel de fertilidad del suelo. Sensible a la acidez y toxicidad por aluminio, su establecimiento se debe realizar una vez corregida la acidez mediante la aplicación de enmiendas. Además, su nivel productivo se reduce de forma drástica ante deficiencias de fósforo, potasio, azufre y magnesio en el suelo (Soto, 1999; Mora & Demanet, 1995).

Para mejorar las condiciones de fertilidad, en especial la corrección de la acidez, la alfalfa se siembra de forma convencional, con roturación de suelo y en donde una etapa primordial del proceso es la incorporación de las enmiendas calcáreas y el paso de implementos que roturen el suelo a profundidad de, al menos, 60 centímetros (arado subsolador).

El periodo de siembra más adecuado para las condiciones de la zona templada es el inicio de la primavera y se puede extender desde mediados de septiembre hasta finales de noviembre en áreas de riego y desde inicio de septiembre hasta mediados de octubre en áreas de secano. Existe la posibilidad de sembrar alfalfa a finales de verano e inicio de otoño (febrero – marzo) con el objetivo de incrementar la producción del año de establecimiento en, al menos, un 20%. Sin embargo, en esta época la emergencia y el desarrollo inicial de las plántulas puede tener problemas derivados de las bajas temperaturas y heladas que causan la muerte, reduciendo la población inicial a niveles no deseados, esto es, inferiores a 200 plantas/m². Además, las plantas desarrolladas se enfrentan a una competencia agresiva por las especies residentes y a la proliferación de hongos foliares que reducen su capacidad productiva.

La semilla que se comercializa en Chile y en la mayoría de los países del mundo incluye un recubrimiento (coating) que incorpora el rizobio (*Rhizobium meliloti* syn. *Sinorhizobium meliloti*), un fungida para el control de la caída de las plántulas (*damping-off*) y un polímero y adherente a la semilla. Este coating permite un mejor ambiente a la semilla y en consecuencia una adecuada germinación, emergencia y desarrollo inicial de las plántulas. Este recubrimiento genera un abultamiento del tamaño de la semilla e incrementa el peso de las mismas en, al menos, un 28%.

La dosis de semilla está determinada por el tamaño de la misma, la calidad de la preparación de la cama, las condiciones de fertilidad del suelo y el retraso de la fecha de siembra respecto al momento ideal. Para lograr una población inicial de al menos 500 plantas/m², se requiere sembrar 18 kg de semilla/ha (Figura 4.5). Este valor considera que el peso de 1.000 semillas es 2,5 gramos y que el porcentaje de emergencia en el campo es del 70%. Determinar de forma correcta la dosis de semilla implica agregar el 28% adicional que corresponde al *coating*, con lo que la dosis de semilla resultante es de 25 kg/ha.



Figura 4.5. Población inicial de plantas de *Medicago sativa* L.

Los cultivares de alfalfa se agrupan de acuerdo al nivel de dormancia que presentan y están categorizados del 1 al 11, que representan el nivel de reducción del crecimiento durante el periodo de invierno (Brouwer *et al.*, 2000). Los cultivares latentes (< 4) presentan nulo crecimiento en otoño e invierno; los semi dormantes (entre 4 y 8) presentan crecimiento de otoño y escaso a nulo crecimiento en invierno y los no dormantes (>8) exhiben crecimiento durante todo el año con diferente grado durante el invierno (Brown *et al.*, 1990; Brummer *et al.*, 2002). Los cultivares con menor dormancia en condiciones de clima mediterráneo consiguen una producción superior a aquellos con latencia que se establecen en las zonas templadas (Cunningham *et al.*, 1998; Brummer *et al.*, 2002).

La elección del cultivar se relaciona con las condiciones climáticas de invierno del lugar donde será establecida esta pastura. En la zona templada los cultivares que se utilizan son aquellos de latencia entre 4 y 6, que poseen cierta actividad de crecimiento de invierno, pero importante en otoño. Bajo condiciones adversas el daño que se produce en invierno en las plantas de cultivares menos latentes es severo, situación que reduce la persistencia de la pastura (Weishaar *et al.*, 2005).

Durante 13 años (1996 – 2009) se evaluaron 59 cultivares de alfalfa en condiciones de riego. El mayor rendimiento se obtuvo en el año 2004 con 25,02 ton MS/ha, significativamente diferente al resto de los años de medición (Tabla 4.6). Los resultados de la clasificación de los años en categorías, utilizando el ranking BLUP, determinó que la probabilidad de que en el tiempo se produzca un nivel de producción medio – alto es del 76,9% (Tabla 4.7).

Tabla 4.6. Rendimiento promedio anual (ton MS/ha) de *Medicago sativa* L. en el área de riego de la zona templada de Chile. Periodo 1996 - 2009.

Años	Producción (ton MS/ha)
2004	25,02 a
2003	19,53 b
2002	16,50 c
2001	14,65 cd
1997	14,37 cde
1998	13,86 de
1996	12,87 de
2000	12,28 def
2005	12,08 def
2009	11,22 efg
1999	10,08 fgh
2008	9,52 fgh
2007	7,04 h

Medias que no comparten una letra en común son diferentes según la Prueba de Tukey ($p > 0,05$)

Coefficiente de variación: 21,34%

Tabla 4.7. Nivel de producción de *Medicago sativa* L. en 13 años de medición, según ranking BLUP (*Best Linear Unbiased Prediction*), en el área de riego de la zona templada de Chile. Periodo 1996 - 2009.

Nivel de producción	Nº Años	Producción (ton MS/ha)			Significancia de BLUP
		Promedio	Máximo	Mínimo	
Alta	2	22,28	25,02	19,53	$P \leq 0,05$
Media	8	13,48	16,50	11,22	$P > 0,05$
Baja	3	8,88	10,08	7,04	$P \leq 0,05$
Total	13				

En el análisis de los cultivares, 35 de ellos, esto es el 59% de los materiales evaluados, presentaron una producción estadísticamente similar (Tabla 4.8). Estos valores son concordantes con los obtenidos por Soto (1999) y Romero (1992).

Tabla 4.8. Rendimiento promedio (ton MS/ha) de 59 cultivares de *Medicago sativa* L. en el área de riego de la zona templada de Chile. Periodo 1996 - 2009.

Cultivares	Producción (ton MS/ha)	Cultivares	Produccción (ton MS/ha)
Ana 5-10	20,43 a	California 52	14,99 abcdefghijklmn
Ana 6-26	20,28 ab	WL 326	14,67 abcdefghijklmn
Ana 5-8	19,91 abc	Agresiva	14,49 abcdefghijklmn
Ana 6-28	19,83 abcd	WL 458	14,05 abcdefghijklmn
Ana 5-15	19,72 abcde	Ana 300	13,70 abcdefghijklmno
P-54Q53	19,50 abcdef	Criolla	13,11 cdefghijklmnop
Ana 5-13	19,43 abcdef	Joya	12,63 cdefghijklmnop
Ana 5-9	19,29 abcdefg	Anasac 6	12,59 cdefghijklmnop
Ana 5-7	19,28 abcdefg	Cis 200	12,49 cdefghijklmnop
Ana 5-11	19,22 abcdefg	WL-323	12,45 cdefghijklmnop
Ana 5-4	18,93 abcdefgh	Ana 100	12,22 cdefghijklmnop
Ana 5-3	18,77 abcdefghi	ZC 9646	12,04 cdefghijklmnop
Ana 5-14	18,60 abcdefghij	Anasac 5	11,99 efghijklmnop
WL 325 HQ	18,50 abcdefghij	Fortress	11,90 fghijklmnop
Ana 5-5	18,32 abcdefghij	Innovator + Z	11,68 efghijklmnop
Abi 9252	18,13 abcdefghijk	Ana 200	11,44 efghijklmnop
Ana 5-2	18,09 abcdefghijk	Joya II	11,21 efghijklmnop
Ana 5-12	17,98 abcdefghijk	Ana 400	10,81 ghijklmnop
Archer II	17,85 abcdefghijk	Alfalfa RR2	10,22 ijklmnop
Rebound	17,78 abcdefghijk	Alfalfa RR3	10,06 jklmnop
Ana 5-6	17,65 abcdefghijk	Alfalfa RR1	9,83 klmnop
Robust	17,33 abcdefghijk	Rebound 6	8,91 nop
P 54Q53	17,32 abcdefghijk	Rebound 5	8,44 op
Emperor	17,21 abcdefghijkl	Rebound 4	8,09 p
DS-076	17,17 abcdefghijklm	DS - 015	6,29 p
Exp FG4	16,90 abcdefghijklmn	DS-9705	5,54 p
DS-077	16,87 abcdefghijklmn	DS-9801	5,43 p
Anerigraze 401	16,71 abcdefghijklmn	WL 326 HQ	5,42 p
DS-075	16,65 abcdefghijklmn	DS-9809	5,12 p
P-5472	16,11 abcdefghijklmn		

Medias que no comparten una letra en común son diferentes según la Prueba de Tukey ($p > 0,05$). Coeficiente de variación: 22,34%

La categorización en niveles de producción demostró que la mayoría de los cultivares medidos (91%) se ubicaron en los cuartiles superiores medio – alto, resultado que permite predecir que independiente del cultivar establecido, el rendimiento será aceptable y se ubicará dentro de un rango razonable (Tabla 4.9).

Tabla 4.9. Niveles de producción de cultivares de *Medicago sativa* L., según el ranking BLUP (*Best Linear Unbiased Prediction*), en el área de rego de la zona templada de Chile. Periodo 1996 - 2009.

Nivel de producción	Nº cultivares	Producción (ton MS/ha)			Significancia de BLUP
		Promedio	Máximo	Mínimo	
Alta	27	18,53	20,43	16,87	$P \leq 0.05$
Media	27	12,35	16,71	8,09	$P > 0.05$
Baja	5	5,56	6,29	5,12	$P \leq 0.05$
Total	59				

La producción de alfalfa en la zona templada siempre ha constituido una opción compleja, producto de los niveles de acidez de los suelos, bajo contenido de fósforo y falta de programas de rotación efectivos (Mora & Demanet, 1995). En estas condiciones, los alfalfares de la zona templada se han concentrado en productores ganaderos que mantienen sus animales y también en pequeños agricultores que, a través de subsidios estatales, optan por el establecimiento de esta especie en superficies pequeñas (< 1 ha).

En relación a la calidad bromatológica, las plantas de alfalfa experimentan una evolución rápida en con el avance de la madurez, proceso que origina una reducción en el contenido de proteína y energía metabolizable y aumento de la FDN (Tabla 4.10).

Tabla 4.10. Contenido de nutrientes en *Medicago sativa* L. evaluado en cuatro estados fenológicos. Fuente: Anrique *et al.*, 2014.

Estado fenológico	% MS	% PC	% FC	% FDA	% FDN	EM (Mcal/kg)	% EE	% Ca	% P	% Mg
Vegetativo	15,5	26,2	21,6	26,7	31,1	2,4	1,53	2,42	0,34	0,25
Botón	24,3	20,7	19,3	22,6	29,7	2,3	1,59	3,70	0,30	0,27
30% flor	27,9	18,9	24,4	29,1	37,0	2,2	1,47	3,30	0,30	0,27
100% flor	33,8	17,7	23,7	28,1	37,0	2,1	1,43	3,00	0,30	0,27

La producción de materia seca de calidad es el objetivo principal de la alfalfa en cualquier ambiente donde se desarrolle (Rimi *et al.*, 2010). El estado fenológico de las plantas es un factor determinante en la calidad y rendimiento (Weir *et al.*, 1960; Feltner & Massengale, 1965; Gabrielsen *et al.*, 1985; Rotili *et al.*, 1993). La calidad del forraje disminuye con el avance de la madurez (Hintz & Albrecht, 1991; Sulc *et al.*, 1997; Coblenz *et al.*, 2008) y esta reducción está relacionada con la proporción de hojas y tallos (Rimi *et al.*, 2010). La hoja y el tallo difieren en composición química debido a que las plantas con una mayor proporción de hojas poseen menor contenido de fibra y mayor proporción de proteína que aquellos materiales donde abundan los tallos (Rimi *et al.*, 2010). En la etapa de inicio de botón las plantas de alfalfa tienen un mayor porcentaje de hojas que de tallo en comparación con la etapa de floración, donde el porcentaje de hojas y tallos es casi igual o la proporción de tallos excede a la de hojas (Sheaffer *et al.*, 2000).

En el proceso de conservación de forraje la proporción de hojas y tallos es determinante para lograr la calidad esperada en el producto final. En cosechas temprana las hojas y tallos se encuentran en estado tierno. Bajo este estado tras el corte y la deshidratación las hojas se mantienen unidas a los tallos y de esta forma, al ser empacadas, no se pierde en calidad, en especial, en cuanto al contenido de proteína. Cuando las plantas son cortadas en estados más avanzados de madurez, esto es, desde el inicio de la floración al 100% de flor, la velocidad de secado de las hojas es superior a los tallos ya lignificados, situación que genera que las hojas se separen de los tallos con facilidad en el momento de la remoción del forraje para su empaque. Esto genera la pérdida de hojas y con ello del componente más importante de la alfalfa que es la proteína.

Los exigentes requerimientos de los sistemas ganaderos intensivos han promovido en la zona templada la producción de ensilaje de alfalfa con alto nivel de proteína (> 24%). Esto se logra cortando las plantas tempranamente en estado vegetativo, lo que ha generado un desafío que se contrapone con la persistencia de las plantas.

La alfalfa cosechada en estado vegetativo con hojas turgentes y tallos delgados con escaso nivel de lignificación, no permite a la planta el almacenamiento adecuado de carbohidratos, creando un balance negativo que reduce las opciones de recuperación post utilización. En esta condición de cosecha el nivel de rendimiento anual de la pastura disminuye hasta en un 60%, lo que significa una producción anual inferior a 10 ton MS/ha (Figura 4.6).

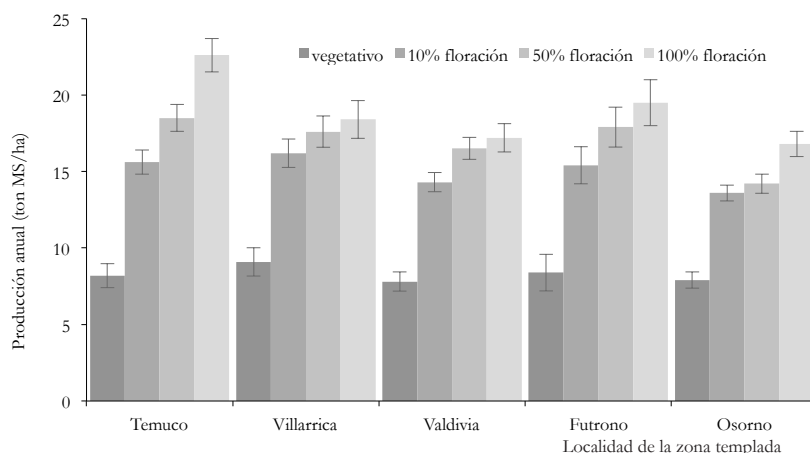


Figura 4.6. Efecto del momento de corte en el rendimiento anual (ton MS/ha) de *Medicago sativa* L. en cinco localidades de la zona templada. En Temuco y Villarrica se aplicó riego durante el periodo estival. Promedio de cuatro temporadas. Coeficiente de variación: 5,25%

En el proceso de elaboración solo las malas condiciones climáticas impiden que el material no se coseche en forma oportuna. Las plantas, una vez cortadas, son fácilmente deshidratadas y lo más importante es que exista una baja pérdida de hojas, situación que permite lograr el objetivo de calidad esperado.

Esta forma de utilización se ha adoptado en la zona templada como resultado de la necesidad de reemplazar las fuentes de proteína tradicionales por fuentes de proteína de calidad como es la que proporciona esta especie. El ensilaje elaborado presenta niveles de fibra bajos, alta digestibilidad y contenido de proteína que fluctúa entre el 24% y el 28% (Figura 4.7).



Figura 4.7. Momento óptimo de elaboración de ensilaje de *Medicago sativa* L. de alta calidad.

La adopción de esta tecnología no es habitual dado que supone disminución de rendimiento, persistencia y estabilidad de la pastura (Figura 4.8). Es por esta razón, que para evitar la pérdida de persistencia las plantas se cosechan con un 50% de floración momento en que se ha producido la recuperación de los carbohidratos de reserva.



Figura 4.8. Reducción de la población de *Medicago sativa* L. generada por la intensidad de uso.

Uno de los puntos críticos de la alfalfa se relaciona con la persistencia de la pastura. Cuando la población de plantas de alfalfa es inferior a 40 plantas por metro cuadrado, la productividad de la pastura respecto a su potencial productivo en la zona se reduce a menos del 50%. Esto supone la eliminación del alfalfar debido a que su continuidad es inviable desde el punto de vista del rendimiento anual y del costo de producción. Este concepto ha evolucionado y en la actualidad no se estima el número de plantas como parámetro determinante en la renovación del alfalfar sino el número de tallos. Este cambio se debe a la compensación que se genera cuando se reduce la población de plantas. El límite inferior es 275 tallos/m² (Soto, 2000).

La presencia del compuesto autotóxico medicarpina, impide el desarrollo de procesos de regeneración en pasturas de alfalfa (Dornbos, *et al.*, 1990). Este compuesto derivado de un isoflavonoide, es producido por las plantas de alfalfa y se localiza en las hojas. Su concentración en el suelo se incrementa con la edad y densidad de la pastura, y su presencia, reduce la germinación y el crecimiento de nuevas plantas de alfalfa. Este mecanismo de control de ambiente que tienen las plantas adultas de alfalfa, es la razón por la cual este repoblamiento de las pasturas de alfalfas degradadas, no constituye una opción viable. Es por ello que en áreas donde el cultivo de alfalfa es habitual, es necesario mantener un sistema de rotación que permita la reducción de los niveles de medicarpina en el suelo, manteniendo una rotación de al menos tres años, antes de volver a sembrar alfalfa en el mismo potrero.

La opción más recurrente en el desarrollo de este proceso de rotación es la combinación con la siembra de maíz y o regeneración con ballicas híbridas que permiten mantener una oferta elevada de forraje de calidad en los sistemas ganaderos.

***Lotus tenuis* Waldst. & Kit. ex Willd. (lotera)**

En el país existen tres especies del género *Lotus* de interés forrajero: *Lotus tenuis* Waldst. & Kit. ex Willd. denominada lotera de hoja angosta, *Lotus corniculatus* L. que recibe el nombre de lotera de hoja ancha y *Lotus uliginosus* Schkuhr syn. *Lotus pedunculatus* cuyo nombre común es alfalfa chilota. Las tres especies pertenecen a la familia Fabaceae, sub familia Faboideae, tribu Loteae, género *Lotus*.

Lotus tenuis Waldst. & Kit. ex Willd syn. *Lotus glaber* Mill. es una leguminosa perenne cuyo origen es Europa occidental y meridional y suroeste de Asia. Forma pastizales densos en sitios cuyos suelos arcillosos poseen problemas de drenaje. En Chile tiene una amplia distribución y en la zona templada se ubica en áreas de vegas y círculos concéntricos a ellas, en especial en el secano costero de la Región de La Araucanía. En estos sectores donde se encuentra en forma naturalizada realiza un importante aporte a la producción forrajera en el periodo estival.

La planta posee una raíz pivotante de menor profundidad que la alfalfa (<120 cm), con diversas ramificaciones finas que producen un sistema radical denso y fibroso. Tiene una corona bien desarrollada de la cual emerge un tallo principal y muchos laterales, de crecimiento indefinido, con hojas angostas que producen una arquitectura postrada. La flor es una umbela de color amarillo que se agrupa en inflorescencias de cuatro a seis unidades (Acuña, 1998). La fecundación predominante es cruzada y entomófila y las vainas son de color castaño oscuro.

Una vez maduras explotan en un proceso natural denominado dehiscencia de sutura doble, en el que la vaina se raja longitudinalmente a lo largo de la sutura carpelar y vena media.

Es una especie que posee un alto potencial de producción en sitios con suelos arcillosos, con problemas de drenaje, baja fertilidad y alto contenido en sales solubles (Smetham, 1981). Bajo dichas condiciones es capaz de fijar nitrógeno, lo que hace de esta planta una buena opción en sistemas de producción limpia.

Otra característica interesante de esta especie es la presencia de una alta concentración de taninos condensados en el follaje que evitan que se produzcan eventos de meteorismo en los animales rumiantes. Los taninos condensados se distribuyen en diferentes partes de la planta y son compuestos orgánicos derivados del flavonol, elemento soluble capaz de precipitar las proteínas (Montes, 1988; Langer, 1990; Acuña *et al.*, 2008).

El meteorismo en rumiantes generado por el consumo de leguminosas como trébol blanco, trébol rosado y alfalfa causan grandes pérdidas en los sistemas ganaderos. Este complejo problema se produce cuando los gases producidos durante la fermentación de la comida quedan atrapados en el rumen en forma de espuma estable que impide la expulsión normal de gas y por lo tanto aumenta el volumen y la presión ruminal (Tanner *et al.*, 1995).

Las especies del género *Lotus*, y específicamente *Lotus tenuis* Waldst. & Kit. ex Willd, poseen suficiente cantidad de taninos condensados como para evita este grave trastorno digestivo y, por tanto reducir la incidencia del meteorismo en los animales. Esta disminución se atribuye a una reducción de la presencia de proteína en los fluidos ruminales, lo que permite reducir la estabilidad de la espuma causante del trastorno (McMahon *et al.*, 1999).

A nivel mundial existe una vasta oferta de cultivares de *Lotus tenuis* Waldst. & Kit. ex Willd. En Chile, debido a la escasa demanda y desconocimiento de la tecnología de siembra y uso de esta especie, los cultivares que han ingresado solo han llegado a la fase experimental. Uno de estos cultivares fue Toba, el cual corresponde a un producto generado en Argentina y que se evaluó en Chillán bajo condiciones de riego y donde logró una producción anual de 6,3 ton MS/ha (Acuña, 1994).

En Chile esta especie no se establece con regularidad a nivel masivo. Algunos productores han sembrado pasturas en suelos arcillosos a partir de la cosecha de semillas sin selección y cuyo resultado no se ha evaluado con rigurosidad. Algunos antecedentes aportados por productores de suelos arroceros y arcillosos de la zona mediterránea de riego, muestran que el nivel productivo de esta especie naturalizada supera las 12 ton MS/ha.

Con respecto a su utilización habitualmente esta especie es destinada al pastoreo y conservación de forraje, principalmente heno. Acuña & Cuevas (1999) observaron que el incremento en la frecuencia de uso genera un cambio en la estructura y arquitectura de las plantas. A menor frecuencia de uso se reduce el largo y ancho del foliolo central y el número de puntos de crecimiento y a su vez se incrementa el índice de área foliar y la tasa de aparición de hojas.

Respecto a la calidad bromatológica, a diferencia de la alfalfa y el trébol rosado, no presenta cambios abruptos con el avance de la madurez de las plantas. Así fue demostrado por Echeverría *et al.*, (1986) y Wernli *et al.*, (1986), en mediciones realizadas en la zona de mediterránea de riego (Tabla 4.11).

Tabla 4.11. Variación en la calidad de *Lotus tenuis* Waldst. & Kit. ex Willd. sometido a diferentes tiempos de rezago. (Fuente: adaptado de Echeverría *et al.*, 1986 y Wernli *et al.*, 1986).

Días de rezago	% Proteína	% Pared Celular	% Hemicelulosa	% Lignina	% Digestibilidad
14	27,4	20,5	3,8	8,2	72,4
42	27,7	22,5	4,0	8,8	69,5
70	27,6	24,4	4,5	9,3	68,1
98	27,2	26,4	5,0	9,9	68,4
126	26,5	28,4	5,8	10,4	70,1
154	25,5	30,3	6,7	11,0	73,5
162	25,2	30,9	7,0	11,2	74,8
210	22,6	34,6	8,9	12,1	84,9

***Lotus corniculatus* L. (lotera)**

Especie fanerógama pertenece a la familia Fabaceae, sub familia Faboideae, tribu Loteae, genero *Lotus*. Es nativa de Europa y Asia y se utiliza para pastoreo y conservación de forraje.

Se adapta a climas fríos y húmedos además de veranos frescos. Posee una raíz pivotante de menor tamaño que la alfalfa, pero con una mayor densidad de raicillas secundarias. La arquitectura de la raíz permite a esta especie crecer en suelos delgados y con mal drenaje (Muslera & Ratera, 1991; Acuña, 1994).

A partir de la corona ubicada en la parte superior de la raíz se generan los tallos, que poseen un crecimiento de semi postrado a erecto. Sobre los tallos se desarrollan las hojas, cada una compuesta por cinco folíolos, tres adheridos a la parte final del peciolo y dos en la base de éste. Las hojas se ubican alternadas en los lados opuestos de cada tallo. La inflorescencia es una umbela de cuatro a ocho hojas de color amarillo, unidas al pedúnculo por un corto pedicelo. Cada flor está formada por un cáliz con cinco sépalos y una corola con cinco pétalos (López, 1988; Acuña, 1994). La fecundación es cruzada, entomófila y las vainas son dehiscentes.

Es una planta tolerante a suelos de baja fertilidad, eventualmente inundados y levemente ácidos. Crece entre los 16 y 27°C y tolera las bajas temperaturas invernales. En periodos de sequía prolongados, la planta reduce su capacidad reproductiva, disminuye la acumulación de biomasa aérea y aumenta la exploración radical (Muslera y Ratera, 1991; Carter *et al.*, 1997).

El periodo de siembra se extiende desde marzo a mayo en la zona de transición de mediterránea a templada. El lento desarrollo inicial de las plántulas producto del bajo vigor que presenta la semilla, genera una fuerte competencia inicial con las especies residentes, situación que se controla con pastoreo o control químico post emergente. La siembra se realiza en línea con dosis de 8 kg semilla/ha en establecimientos monofíticos y 5 kg semilla/ha en siembras polifíticas.

Debido a que la especie presenta una alta variación morfológica, los cultivares generados a través de los programas de mejoramiento genético se clasifican en dos grupos: de crecimiento erecto y precoz (tipo europeo) o de crecimiento semi erecto, con tallos finos y floración de 10 a 15 días mas tardía que el tipo europeo (tipo empire). En Chile se han desarrollado y utilizado los cultivares de crecimiento erecto, que en condiciones óptimas de fertilidad de suelos pueden alcanzar una altura de 50 a 60 centímetros.

A partir de la década de los 50 del siglo pasado se inició un proceso de selección de ecotipos locales en la zona mediterránea que originó a inicios de los 60 el cultivar Quimey creado por el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (Acuña, 1994). Posteriormente se desarrolló el ecotipo Santa Rosa que no logró la popularidad del único cultivar generado en el país.

La presencia de taninos condensados en la planta permite desarrollar pastoreos de forma segura, en los que no se presentan episodios de meteorismo. A medida que avanza la madurez de las plantas aumenta su susceptibilidad al vuelco, lo que supone pérdidas importantes cuando se destina a la elaboración de heno.

La producción de forraje en la zona mediterránea de Chile se sitúa entre 5,0 y 16,4 ton MS/ha, estando la variación relacionada con la localidad, precipitación, fertilidad de suelos y uso de semi riego (Soto & López, 1984; López, 1988). En la zona de transición de mediterránea a templada el nivel de rendimiento de esta especie no supera las 6 ton MS/ha y la persistencia en diversos cultivares solo alcanza a cuatro años (Figura 4.9).

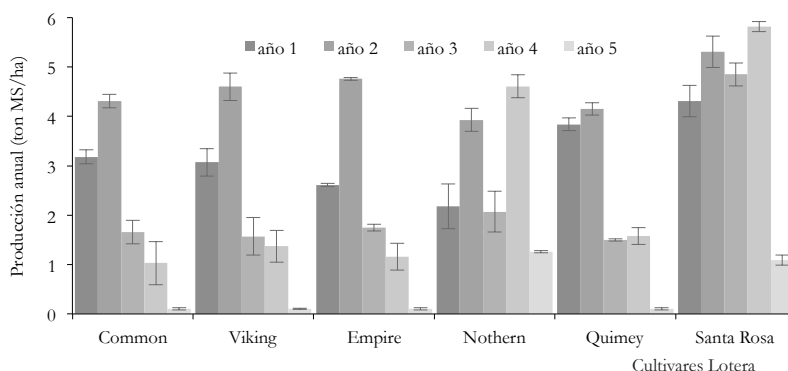


Figura 4.9. Rendimiento (ton MS/ha) de seis cultivares de *Lotus corniculatus* L. en la zona de transición de mediterránea a templada. Galvarino. (Fuente: adaptado de Romero & Demanet, 1988).
Coeficiente de variación: 9,68%

En asociación con gramíneas la producción de la pastura de *Lotus corniculatus* L. se reduce alcanzando su máxima expresión al cuarto año post siembra (Figura 4.10).

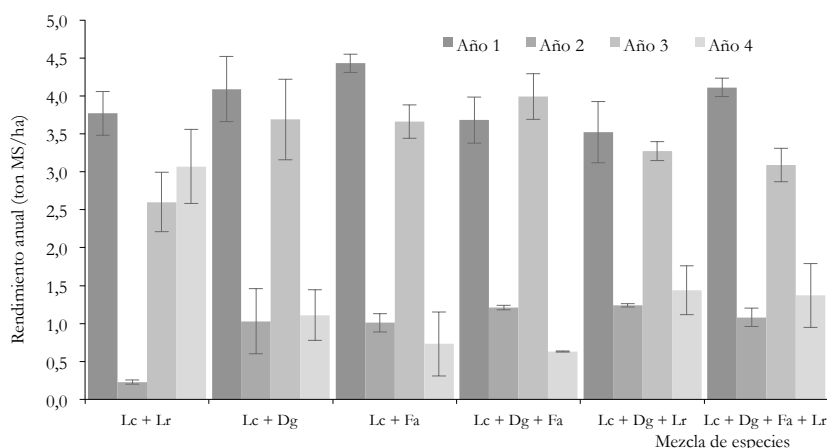


Figura 4.10. Rendimiento (ton MS/ha) de seis mezclas de gramíneas con *Lotus corniculatus* L. en la zona de transición de mediterránea a templada. Galvarino (Lc: *Lotus corniculatus*; Lr: *Lolium rigidum*; Dg: *Dactylis glomerata*; Fa: *Festuca arundinacea*) (Fuente: adaptado de Romero & Demanet, 1988).

Coefficiente de variación: 12,25%

***Lotus uliginosus* Schkuhr syn. *Lotus pedunculatus* Cav. (alfalfa chilota)**

Especie proveniente de las zonas húmedas y de alta pluviosidad de Europa, se ha naturalizado en la zona templada húmeda de los Andes y sur de Chile. Pertenecce a la familia Fabaceae, sub familia Faboideae, tribu Loteae, genero *Lotus* (Figura 4.11).



Figura 4.11. *Lotus uliginosus* Schkuhr syn. *Lotus pedunculatus* Cav. (alfalfa chilota)

Es una planta perenne de raíz principal profunda con tallos erectos que nacen de la corona. En el periodo de otoño se producen brotes rastreros que se propagan como estolones o rizomas que desarrollan raíces adventicias en sus nudos. Las hojas poseen cinco foliolos y la inflorescencia es una umbela compuesta por cuatro a seis flores de color amarillo. La fecundación es cruzada, entomófila y las vainas son dehiscentes (Smetham, 1981; Barrientos *et al.*, 2002).

Las semillas son de tamaño pequeño (1.000 semillas pesan 0,56 g). La germinación es reducida, no suele superar el 15% debido al alto porcentaje (más del 80%) de semillas duras que posee (Muñoz, 1980; Balocchi *et al.*, 1999). Estos valores son similares a los obtenidos en otras especies leguminosas como *Trifolium vesiculosum* Savi, *Trifolium michelianum* Savi y *Trifolium resupinatum* L., que poseen más del 85% de semillas duras (Ovalle *et al.*, 2005). La escarificación mecánica permite reducir la proporción de semillas duras, aumentando la tasa de germinación y emergencia de la especie, pero este es un proceso que no se practica en forma rutinaria en las áreas de siembra de la misma.

El principal material genético evaluado en Chile es Grasslands Maku, antiguo cultivar tetraploide perenne estival creado a partir de materiales naturalizados de Nueva Zelanda y Portugal. Fue liberado en 1974 y su principal atributo es la adaptación a un amplio rango de situaciones agroecológicas y de manejo (Armstrong, 1974).

La siembra se realiza en los periodos de febrero – marzo y agosto - octubre en sistema convencional con preparación de suelos o cero labranza y regeneración. Se establece sola o en mezcla con gramíneas perennes. La dosis de semilla es entre 6 y 8 kg/ha, que permite lograr en el año de siembra una población entre 160 y 220 plantas/m² considerando sólo un 16% de germinación en el año de establecimiento. A partir del segundo año esta población se incrementa debido a la pérdida de dureza de las semillas incorporadas al suelo en la siembra y del desgrane natural de las nuevas plantas.

Las pasturas de *Lotus uliginosus* Schkuhr presentan un crecimiento estacional. Durante el invierno permanecen en receso y su crecimiento se produce a finales del invierno o inicio de la primavera a partir de las estructuras rizomatosas (Montaldo y Paredes, 1981). La actividad de crecimiento es explosiva y la maduración de las plantas se produce en el periodo estival, cuando se desarrollan las vainas dehiscentes que permiten la resiembra natural. Las semillas duras se incorporan al suelo aumentando el banco de semillas.

Esta leguminosa presenta una alta versatilidad en su uso y se encuentra naturalizada en la zona templada, ubicándose especialmente en suelos de baja fertilidad con hidromorfismo temporal y pH ácido. Se la considera una especie pionera, capaz de controlar procesos de erosión de suelos degradados, y promotora de los procesos de conservación de los suelos y su fertilidad. Es capaz de prosperar en suelos con bajo contenido en fósforo disponible y tolera ataques de insectos como *Hylamorpha elegans* Burmeister, *Phytoloema berrmanni* Germ. y *Dalaca* spp.

La medición del comportamiento productivo de cultivares de esta especie bajo las condiciones locales de Chile ha sido escasa. Evaluaciones realizadas en diferentes localidades del país ha demostrado una productividad muy diversa según el área agroecológica y las condiciones de humedad. El rendimiento varió entre 2,2 y 10,8 ton MS/ha (Tabla 4.12). A diferencia de otras especies *Lotus uliginosus* Schkuhr presenta una lenta reducción de los parámetros de calidad a medida que avanza su estado de madurez. Esta característica tiene la ventaja de generar forraje de alto valor nutritivo en el periodo estival, cuando las especies gramíneas se encuentran en estados avanzados de espigadura y presentan alto nivel de fibra y bajo contenido de proteína.

Tabla 4.12. Producción de materia seca (ton MS/ha) en diferentes localidades de la zona mediterránea y templada de Chile de tres especies de *Lotus* spp. (Fuente: adaptado de Acuña, 1994).

Área	Localidad	Tipo de suelo	Disponibilidad agua	<i>L. tenuis</i>	<i>L. corniculatus</i>	<i>L. uliginosus</i>
Mediterránea	Llay Llay	Arcilloso	Riego	8,5		
Mediterránea	Linares	Arcilloso	Riego		14,5	10,2
Mediterránea	Chillán	Andisol	Riego		9,7	8,4
Mediterránea	Chillán	Arcilloso	Riego	6,3	7,7	2,2
Mediterránea	Chanco	Terraza marina	Secano		4,2	
Mediterránea	Concepción	Terraza marina	Secano		7,8	
Mediterránea	Santa Bárbara	Andisol	Secano		8,3	
Mediterránea	Cañeta	Terraza marina	Secano	2,6		10,8
Templada	Osorno	Andisol	Secano			5,9
Promedio				5,8	8,7	7,5

Mediciones realizadas en la Región de La Araucanía con el cultivar Grassland Maku demostraron que esta especie es de lento establecimiento. En la primera temporada la producción anual de materia seca no supera las 2 ton MS/ha, pero una vez alcanzada una población adecuada (tercera temporada), es factible lograr un rendimiento estable superior a 10 ton MS/ha (Romero, 1990).

En el consumo animal no posee limitantes. La presencia de taninos condensados en las estructuras de la planta evita los eventos de meteorismo, situación que facilita el manejo de los animales en pastoreo.

***Ornithopus compressus* L. (serradela amarilla)**

Planta leguminosa de resiembra anual que pertenece a la familia Fabaceae, sub familia Faboideae, tribu Loteae, género *Ornithopus*. Se encuentra de forma natural en el borde de la zona mediterránea, en áreas con precipitación superior a 400 mm (Duke, 1981a; Frame, *et al.*, 1998). El género posee seis especies de las cuales solo tres se han desarrollado como plantas forrajeras: *Ornithopus compressus* L. (serradela amarilla) (Figura 4.12), *Ornithopus sativus* Brot. (serradela rosada) y *Ornithopus pinnatus* M. (serradela fina) (Ovalle *et al.*, 2006).



Figura 4.12. *Ornithopus compressus* L. (serradela amarilla)

En Chile existen dos especies de serradela que se encuentran descritas en la flora vascular: *Ornithopus compressus* L. y *Ornithopus sativus* Brot. (Marticorena & Quezada, 1985). Se desconoce la vía de ingreso, pero se supone llegó de forma inadvertida desde Europa entre el siglo XVI y el XVII (Ovalle *et al.*, 2006). Hoy hay diversas zonas donde es posible encontrar praderas naturalizadas de *Ornithopus compressus* L. La principal es la localidad de Victoria, en la Región de La Araucanía, donde se ha desarrollado un ecotipo muy particular que se supone proviene de una introducción realizada desde Australia en la década de los 50 a una estación experimental del ministerio de agricultura ubicada en dicho lugar. Las plantas se adaptaron y sobrevivieron a los cambios de manejo ganadero y cultivos realizados durante años en el sector y hoy se encuentra naturalizada. Según análisis filogenéticos estas plantas corresponderían al cultivar de origen australiano Madeira (Rojas *et al.*, 2002).

Como especie forrajera fue desarrollada en Australia en la década de los 50 del siglo pasado y en la actualidad es un componente importante de los sistemas ganaderos y agroforestales del sur y oeste de Australia, reemplazando en algunos sitios a trébol subterráneo y medicagos anuales (Bustos, 2002; Ovalle, *et al.*, 2006)

Es una planta pubescente, muy suave al tacto, de crecimiento semi erecto, hojas pinnadas con varios folíolos elípticos y flores pequeñas de color amarillo que forman una umbela de pedúnculo largo con una hoja o bráctea en la base de la inflorescencia. Cada planta presenta una alta densidad de tallos de color verde claro (Frame, *et al.*, 1998). Esta especie establece simbiosis con *Bradyrhizobium* sp. (Bowman *et al.*, 1995), rizobio más tolerante a las condiciones de acidez que aquellos que colonizan de forma habitual a las leguminosas de la zona mediterránea y templada (Hartley *et al.*, 2004).

Posee un sistema radical de mayor profundidad que el trébol subterráneo (Paynter, 1990) y es capaz de lograr niveles de fijación biológica entre 40 y 100 kg N/ha/año, valores que se mantienen en el tiempo debido a la alta persistencia de *Bradyrhizobium sp.* en el suelo debido a su capacidad para entrar rápidamente en dormancia cuando las condiciones de humedad y temperatura son adversas (Unkovich *et al.*, 1997; Ovalle *et al.*, 2006).

El fruto de las plantas de serradela corresponde a vainas segmentadas en cuyo interior se ubican las semillas. Cada segmento encapsula una semilla. La siembra se realiza utilizando vainas o semillas, siendo más habitual la primera opción dado que la trilla mecánica tiene la desventaja de reducir el porcentaje de semillas duras e incrementar el costo del material genético. Las semillas son de tamaño pequeño y bajo peso. Los cultivares evaluados en Chile poseen entre 287 y 512 semillas por gramo, lo que equivale a que 1.000 semillas pesen de 1,9 a 3,5 g (Ovalle *et al.*, 2006).

Ornithopus compressus L. (serradela amarilla) posee un porcentaje de semillas duras muy superior a *Ornithopus sativus* Brot. (serradela rosada) (Bolland, 1985; Loi *et al.*, 1999; Ovalle *et al.*, 2003). Estas diferencias entre especies y cultivares constituye una fortaleza dado que permite la complementación cuando ambas especies son establecidas en mezcla. En los primeros dos años serradela rosada aporta un tapiz vegetal frondoso y a partir del tercer año es serradela amarilla la que realiza la contribución principal a la producción de forraje (Ovalle *et al.*, 2003).

Serradela amarilla es una planta de resiembra anual que en las áreas de transición de mediterránea a templada constituye una opción al trébol subterráneo y medicagos anuales. Posee una alta proporción de semillas duras (Nutt, 1994; Fu *et al.*, 1996) que supera el 80% en la resiembra (Loi *et al.*, 1999); sin embargo, esta proporción se reduce cuando la semilla es enterrada a más de dos centímetros de profundidad (Loi *et al.*, 1999; Taylor & Revell, 1999). A diferencia de otras leguminosas esta especie posee una baja recuperación seminal posterior a la ingestión animal (Ovalle *et al.*, 2005).

Se reconoce en esta especie su tolerancia a suelos ligeramente ácidos y estrés hídrico (Ovalle *et al.*, 2005), además de su eficiencia en el uso del fósforo y potasio (Paynter & Bolland, 1993; Pinkerton & Randall, 1993). Las plantas se desarrollan a pHs entre 4,0 y 6,5 y son capaces de tolerar niveles de saturación de aluminio cercanos al 35% (Tang *et al.*, 1998; Ovalle *et al.*, 2006).

En condiciones de baja disponibilidad de fósforo y potasio puede alcanzar una mayor producción y persistencia que especies anuales naturalizadas (Paynter, 1992; Gladstones & McKeown, 1977). En ese tipo de suelos presenta una producción anual un 30% mayor que trébol subterráneo, con requerimientos de fertilización fosforada y potasio inferiores (Bolland, 1991; Pinkerton & Randall, 1993; Pinkerton & Randall, 1994).

En condiciones de suelos ácidos, *Ornithopus compressus* L. requiere 1,8 veces menos fósforo que el trébol subterráneo y 1,4 veces menos fósforo que los medicagos anuales para alcanzar un buen rendimiento, esto es, el 90% del potencial en una zona (Paynter, 1992; 1993; Bolland & Paynter, 1992; 1994).

El principal país de origen de material genético de esta especie es Australia, que posee un programa de selección y mejoramiento de cultivares. Existen cultivares con diferente periodo de floración y adaptación a diversas condiciones ambientales. En Chile los cultivares mejor adaptados a la zona mediterránea húmeda son aquellos de fenología tardía, que presentan mayor producción en suelos de origen volcánicos (andisoles) de textura liviana y pH ácido (Tabla 4.13).

Tabla 4.13. Rendimiento anual (ton MS/ha) de seis cultivares de *Ornithopus compressus* L. en el secano mediterráneo húmedo de Chile. (Fuente: adaptado de Ovalle *et al.*, 2005).

Cultivar	Año 1	Año 2	Año 3	Promedio	% variación*
Ávila	3.049	1.691	5.190	3.310	151
Pitman	948	3.562	4.464	2.991	136
Tauro	1.434	5.503	1.787	2.908	132
Madeira	1.224	2.036	4.785	2.682	122
Santorini	1.037	223	704	655	30
Charano	582	136	1.195	638	29
Promedio	1.379	2.192	3.021	2.197	100

(*) Variación sobre el promedio (%)

La mayoría de los cultivares evaluados en el Chile presentan una baja tolerancia al frío invernal (Muñoz, 2002) y su potencial lo expresan en áreas entre 300 y 400 mm de precipitación (precoces) y entre 500 y 1.000 mm los cultivares intermedios y tardíos (Ovalle *et al.*, 2006).

El tamaño de la semilla y su dureza determinan la dosis a aplicar. En siembras de otoño se utilizan 5 kg/ha de semilla pura descascarada o 10 kg/ha de vainas. En mezcla con *Ornithopus sativus* Brot., la dosis de siembra se reduce a 3 kg de semilla pura/ha de serradela amarilla y 3 kg de semilla pura/ha de serradela rosada. La profundidad de siembra es un centímetro (Ovalle *et al.*, 2006).

Esta especie se caracteriza por presentar un alto porcentaje de semillas duras, que son escarificadas de forma natural en el periodo de verano por el diferencial de temperatura entre el día y la noche (Revell *et al.*, 1998). La escarificación es un proceso que admite reducir la dureza seminal. Permite reducir la dureza un 80% cuando se realiza de forma mecánica y un 90% cuando la semilla es tratada con ácido sulfúrico durante treinta minutos (Fu *et al.*, 1996).

Esta especie posee un comportamiento típico mediterráneo. Las semillas germinan después de las primeras precipitaciones efectivas de otoño, crecen poco en invierno, pero mucho en primavera. La producción invernal depende de la humedad y temperatura y son las bajas temperaturas las que restringen el crecimiento, reducen la tasa de fijación biológica e incrementan el desarrollo radical (Bolland, 1985; Revell *et al.*, 1999; Ovalle *et al.*, 2006).

Presenta hábito de crecimiento indeterminado, lo que permite a las plantas continuar en fases de floración y desarrollo de semillas durante todo el tiempo que persistan las condiciones favorables de humedad de suelo y las temperaturas sean moderadas (no superiores a 15°C). El índice de esfuerzo reproductivo, esto es, la relación entre la biomasa de frutos y semillas respecto a la biomasa de tallos y hojas, es superior a la que habitualmente posee el trébol subterráneo. Evaluaciones realizadas con un grupo de cultivares por Bustos (2002) y Ovalle *et al.* (2003), demostraron que la biomasa invertida en órganos reproductivos representó en promedio un 113% en relación a la biomasa de hojas y tallos, a diferencia de trébol subterráneo que registra en esta relación un valor de 41%. Esta característica permite a la especie mantener un banco de semillas estable en el suelo y escapar a condiciones climáticas y de manejo adversas, otorgando seguridad de resiembra, lo que no se logra con otras leguminosas anuales. Así, con buen valor nutritivo y alta producción de semillas esta especie se resiembra y perpetua manteniendo un ciclo productivo estable a través de los años (Rossiter *et al.*, 1985; Conlan *et al.*, 1994).

La producción anual presenta una fuerte estacionalidad y escaso crecimiento aéreo en invierno. En suelos ligeramente ácidos donde la mayoría de las leguminosas de origen mediterráneo no pueden prosperar, *Ornithopus compressus* L. logra rendimientos superiores a 6 ton MS/ha (Bolland & Gladstones, 1987) y en condiciones de pastoreo su comportamiento es similar al del trébol subterráneo.

Un elemento que diferencia a esta especie de otras leguminosas es que sus plantas carecen de fitoestrógenos, compuestos responsables de alteraciones en la función reproductiva de los animales. Además, posee taninos condensados que le permiten una mejor absorción e incrementan la eficiencia digestiva de las proteínas, reduciendo los episodios de meteorismo en los animales (Ovalle *et al.*, 2006).

Los primeros resultados sobre producción obtenidos en Chile corresponden a Chavarría *et al.*, (2000), quienes en la precordillera andina de la zona de transición en un andisol obtuvieron una producción superior a 12 ton MS/ha en el segundo año posterior a la siembra con dos cultivares de floración intermedia: Madeira y Pitman.

En el secano de transición de mediterráneo a templado esta especie tiene una mayor productividad, persistencia y facilidad de cosecha de sus semillas que trébol subterráneo y medicagos anuales. En las primeras dos temporadas posteriores al establecimiento presenta normalmente un bajo rendimiento, lo que se relaciona con el alto porcentaje de semillas duras. Sin embargo, su producción supera a las especies mediterráneas tradicionales del sur del país a partir de la tercera temporada de producción (Del Pozo & Ovalle, 2009).

En un sector muy acotado de la región de transición en el llano central de la Región de La Araucanía esta especie se encuentra naturalizada específicamente en la localidad de Victoria. El ecotipo presente en este lugar es reconocido por presentar una alta tasa de sobrevivencia anual y buen nivel productivo en condiciones de suelos ácidos. Rojas *et al.* (2002) demostraron que es una planta persistente con producción muy estacional y rendimiento superior a 6 ton MS/ha (Figura 4.13) y en la que la calidad nutricional se reduce de forma brusca

en el periodo de primavera, a medida que avanzan sus estados fenológicos (Figura 4.14). En sistemas pastoriles, la respuesta del consumo de serradela en animales de crianza es similar a la obtenida con trébol subterráneo alcanzando niveles de ganancia diaria de 1,3 kg de peso vivo por cabeza y rendimientos de 311 kg/ha de peso vivo por año (Rojas *et al.*, 2002).

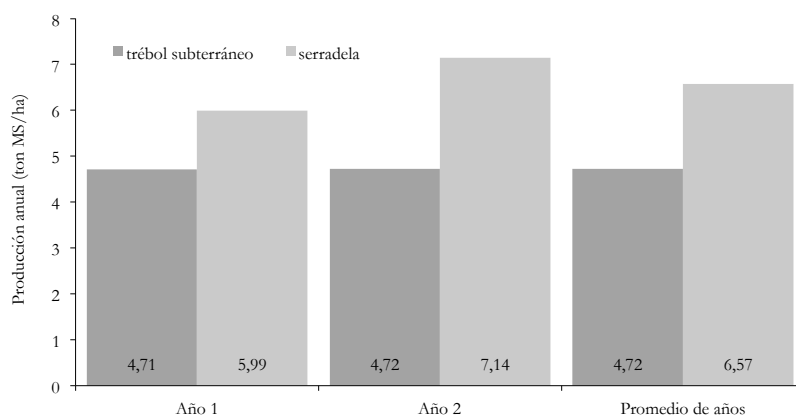


Figura 4.13. Producción de *Ornithopus compressus* L. y *Trifolium subterraneum* L. en el secano de transición de mediterráneo a templado. Victoria, Región de La Araucanía. (Fuente: adaptado de Rojas *et al.*, 2002).

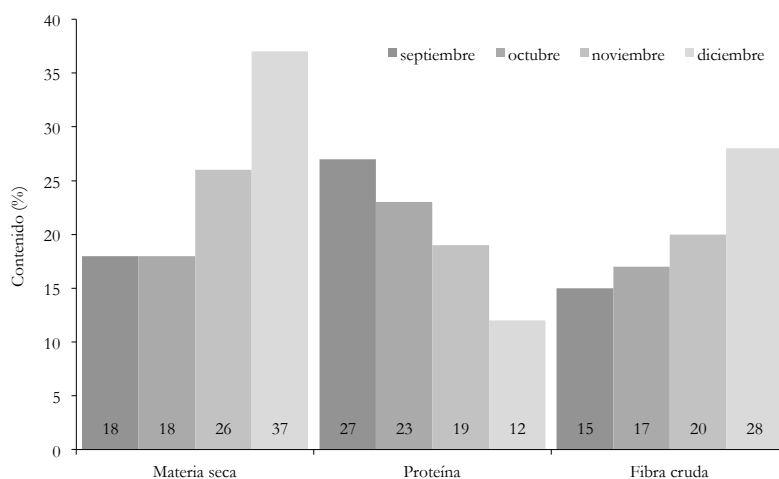


Figura 4.14. Variación en el contenido de materia seca, proteína y fibra cruda de *Ornithopus compressus* L. en el secano de transición de mediterráneo a templado. Victoria, Región de La Araucanía (Fuente: adaptado de Rojas *et al.*, 2002).

El sistema de utilización que permite el mejor aprovechamiento de serradela amarilla es el pastoreo continuo durante la estación de crecimiento y restrictivo en floración y formación de semilla. En pastoreo las plantas no tienen limitaciones de uso excepto cuando se encuentran en el periodo de fructificación y formación de la semilla. La restricción de consumo en esta fase está relacionada con la perpetuación del pastizal a través de los años y se debe respetar en, al menos, las dos primeras temporadas, con el objetivo de generar un almacenamiento de semillas en el suelo. El alto porcentaje de semillas duras que posee esta especie (90%), permite la persistencia de la especie a través de los años, independientemente de que se verifique, o no, la resiembra natural. La resiembra se ve afectada cuando los animales consumen la semilla debido a que el paso por el tracto digestivo reduce la viabilidad hasta en un 90% (Conlan *et al.*, 1994).

***Ornithopus sativus* Brot. (serradela rosada)**

Esta especie pertenece a la familia Fabaceae, sub familia Faboideae, tribu Loteae, género *Ornithopus* y se cultiva como especie forrajera en algunos sectores de Europa (Francia, Islas Azores y Península Ibérica), Marruecos,

Argelia, Kenia, Sudáfrica y Australia, donde es utilizada en sistemas pastoriles agroforestales (Frame *et al.*, 1998).

De estructura similar a *Ornithopus compressus* L., es una planta de crecimiento decumbente, con hojas aserradas, de floración precoz y que presenta una umbela con tres a siete flores de corola rosada o blanquecina y con los nervios del estandarte purpúreos (Figura 4.15).



Figura 4.15. *Ornithopus sativus* Brot. (serradela rosada)

El fruto que genera es una legumbre curva, totalmente indehisciente, que crece hasta tres centímetros de largo y con segmentos con contracciones entre ellos (Frame, *et al.*, 1998). Las semillas son de difícil extracción mecánica, por ello se comercializan en forma de pequeños segmentos del fruto cada uno de los cuales contiene alguna semilla (Muslera & Ratera, 1991).

Posee semillas más pequeñas que *Medicago polymorpha* y *Trifolium subterraneum*, pero con menor porcentaje de dureza seminal. Sus semillas no son enterradas en el suelo, principal atributo y mecanismo de persistencia en los cultivares de *Trifolium subterraneum* (Loi *et al.*, 1999).

De arraigamiento profundo se adapta a suelos ácidos con altas concentraciones de Al y Mn, de texturas livianas, baja fertilidad y bajo nivel de fósforo, pero no tiene buena adaptación a suelos arcillosos (Ovalle *et al.*, 2003).

Se diferencia del trébol subterráneo por su largo periodo de crecimiento, superior en al menos 21 días; sin embargo, este es lento en invierno y es una planta que se daña con facilidad en el periodo de producción de semillas (Paynter, 1990; Revell *et al.*, 1999; Ovalle *et al.*, 2003).

Serradela rosada es utilizada en sistemas de rotación de cultivos con el objetivo de producir forraje para pastoreo y permitir el control de especies gramíneas resistentes a los herbicidas graminicidas que son asperjados en las siembras de cereales (Doole *et al.*, 2009). La inclusión de esta leguminosa en la rotación permite mejorar la estructura del suelo, incrementar la disponibilidad de nitrógeno orgánico y retardar o minimizar la aparición de resistencia a los herbicidas, reduciendo la presión intensa utilizada para la resistencia inherente a la aplicación de herbicidas selectivos (Powles *et al.*, 1997; Nichols *et al.*, 2013a).

Las evaluaciones realizadas por Ovalle *et al.* (2005) demostraron que el rendimiento de esta especie en el secano mediterráneo húmedo es inferior a tres toneladas de materia seca por hectárea al año, rendimiento muy inferior al de otras especies de resiembra anual (Tabla 4.14)

Posee buen valor nutricional y carece de fitoestrógenos que generen toxicidad en los animales (Freebairn, 1994). Es una planta que reduce su contenido en proteína y digestibilidad a medida que avanza su estado de madurez y se reduce la relación hoja: tallo (Tabla 4.15). La reducción de calidad es menor que en otras leguminosas posiblemente por ser una planta con floración indeterminada (Taylor *et al.*, 1977).

Tabla 4.14. Rendimiento anual (ton MS/ha) de dos cultivares de *Ornithopus sativus* Brot. en el secano mediterráneo húmedo de Chile. (Fuente: adaptado de Ovalle *et al.*, 2005).

Cultivar	Año 1	Año 2	Año 3	Promedio	Variación sobre el promedio (%)
SP 1/13 0662	2.119	2.109	1.536	1.921	114
Cádiz	1.555	2.537	271	1.454	86
Promedio	1.837	2.323	904	1.688	100

Tabla 4.15. Variación en el contenido de proteína y digestibilidad de serradela a lo largo de su desarrollo (Fuente: adaptado de Taylor *et al.*, 1977).

Estado	Proteína cruda (%)	Digestibilidad (%)
Vegetativo	25	80
Inicio floración	27	79
Floración	20	73

El pastoreo continuo es el sistema que más se adecua a las condiciones de crecimiento de esta especie. La baja proporción de semillas duras limitan el uso de la pastura durante el periodo de producción de semillas, dado que su consumo por los animales reduce la viabilidad y limita la resiembra natural (Conlan *et al.*, 1994). El uso frecuente reduce la cantidad de semilla disponible y el número de plántulas en la siguiente temporada (Tabla 4.16).

Tabla 4.16. Efecto de la frecuencia de pastoreo en la resiembra de serradela rosada y amarilla (Fuente: adaptado de Frame *et al.*, 1998).

Frecuencia de pastoreo	Serradela rosada		Serradela amarilla	
	kg semillas enterradas/ha	Número de plántulas/m ²	kg semillas enterradas/ha	Número de plántulas/m ²
Solo un pastoreo al año	344	3.193	371	537
Dos pastoreos al año	46	192	788	1.257
Tres pastoreos al año	64	112	511	561

Esta especie, a diferencia de *Ornithopus compressus* L., posee un bajo porcentaje de semillas duras, situación que puede ser considerada beneficiosa para la regeneración anual, pero que, a largo plazo, reduce su persistencia. Es por ello que se reduce el uso de la pastura durante el periodo de floración, para evitar el consumo de las flores que se ubican en la parte superior de la planta y reducir la pérdida de semillas.

Trifolium subterraneum L. (trébol subterráneo)

El trébol subterráneo es una leguminosa de resiembra anual que pertenece a la familia Fabaceae, sub familia Faboideae, género *Trifolium*. Es utilizada en áreas del secano mediterráneo y en algunos sectores de clima templados del mundo (Morley, 1961; Piano *et al.*, 1996). Forma parte de los pastizales naturalizados de Argentina, Chile, Israel, Portugal, Sudáfrica, España (Gladstones & Collins, 1983; Morley, 1961), Nueva Zelanda (Saxby, 1956), América del Norte y América del Sur (Knight *et al.*, 1982) y, particularmente, Australia donde esta leguminosa participó en el desarrollo económico y social y ocupó una superficie superior a 29 millones de hectáreas (White *et al.*, 2000).

Es originaria de la cuenca Mediterránea Euroasiática, pero fue en Australia a donde llegó de forma accidental alrededor del año 1830, en donde fue descubierta como especie de alto valor forrajero. En 1899 la planta fue catalogada como una forrajera promisorio después de que un agricultor australiano, llamado A.W. Howard la observara creciendo profusamente en su campo ubicado en el distrito de Mount Barker (South Australia). En 1900 la especie se había propagado en Australia por medios naturales hasta el extremo de que se hizo común en extensas áreas del país, donde los productores, de forma rudimentaria la multiplicaron y establecieron. En 1916 se generó la primera cosecha comercial de esta especie y en 1928 la industria de producción de semillas se transformó en un importante y lucrativo negocio en Australia (Veale, 1961; Gladstones & Collins, 1983; Muslera & Ratera, 1991).

La presencia de esta especie en Chile se registra a partir del año 1938 producto de la importación de una

pequeña cantidad de semillas que hizo un agricultor de la zona de San Carlos desde Estados Unidos. La semilla sembrada en un andisol de un sector de precordillera generó una pastura que permitió a los agricultores ver sus bondades ya que, después de ser sometido el potrero al cultivo de cereales y sobrepastoreo, logró sobrevivir y producir abundante forraje. Este fue el punto de partida de la introducción de la especie en Chile y en el año 1956 se obtuvo la primera cosecha comercial de semilla para su diseminación en toda la zona mediterránea (Veale, 1961).

A partir de los programas de desarrollo ganadero generados en la década de los 60 del siglo pasado, el trébol subterráneo se transformó en Chile en la leguminosa más importante de la zona mediterránea y del área de transición de mediterránea a templada. Instituciones estatales de desarrollo agropecuario, centros experimentales de universidades y centros de experimentación iniciaron programas de investigación e introducción de cultivares de diversa precocidad para cada zona agroecológica y se estandarizaron las opciones según la precipitación de cada área.

Paralelamente, productores y empresas distribuidoras de semillas desarrollaron programas de producción de semilla corriente de cultivares liberados a nivel mundial, entre ellos el más importante fue Mount Barker. Paradójicamente, el trébol, que tuvo sus inicios en la localidad de San Carlos, fue en esta localidad el último bastión de producción de semilla, precisamente en el predio El Palo propiedad de Christian Shussler y ubicado en la precordillera de San Carlos, donde a inicios de la década del 90 se generaron las últimas producciones nacionales de semillas de trébol subterráneo (Figura 4.16).



Figura 4.16. Cosecha de *Trifolium subterraneum* L. Predio El Palo. San Carlos.

Las plantas de trébol subterráneo poseen una raíz pivotante desde donde nacen numerosas raicillas. Los tallos son pubescentes, nacen de forma radial y se ubican en forma rastrera en la superficie del suelo. Las hojas trifoliadas se encuentran suspendidas por un pecíolo de longitud variable, con pubescencia mayor en el envés. La forma de los folíolos es acorazonada en la mayoría de los casos y suelen tener marcas de color verde claro, que varían entre una V completa a un punto en el centro. También pueden presentar pigmentos de antocianina con distinta distribución. La inflorescencia tiene habitualmente de tres a siete flores papilionáceas que surgen de los nudos de los tallos y se disponen en capítulo sobre pedúnculos largos. La corola es de color blanca, con débil tonalidad rosada y el cáliz puede tener un anillo rojo alrededor del mismo (Figura 4.17). El fruto es un glomérulo que contiene de dos a cuatro semillas de forma oval y color ámbar a negro dependiendo de la subespecie (Morley, 1961; Stewart & Charlton, 2006).



Figura 4.17. *Trifolium subterraneum* L. (trébol subterráneo).

Los glomérulos o canastillos se entierran en el suelo o se mantienen muy cerca de su superficie. Las flores son autofértiles y después de la polinización sufren una reversión hacia el tallo. Tras la formación del canastillo o cabezuela el pedúnculo de las flores se inclina hacia el suelo donde las adhiere o las entierra derivando de este aspecto el nombre de trébol subterráneo (Veale, 1961; Morley, 1961; Stewart & Charlton, 2006.).

La persistencia de la pastura de trébol subterráneo está determinada por la capacidad de producción de semillas. Este trébol es una planta de día largo que requiere de vernalización para la inducción floral. Es por esta razón que tiene una excelente adaptación en las áreas mediterráneas del mundo, donde el clima se caracteriza por presentar un periodo de frío invernal seguido del incremento de las horas de luz diaria y aumento de las temperaturas en primavera, condiciones óptimas para la producción de semillas por esta especie (Buddenhagen, 1990).

La principal característica es el geotropismo negativo que permite a la planta enterrar sus frutos en el suelo. Esta es una estrategia de adaptación para promover la germinación de las semillas en condiciones de aridez y evitar la pérdida de semillas por el ganado en pastoreo (Smetham, 2011). La resiembra anual depende de la cantidad de semillas que quedan en contacto con el suelo y la proporción de semillas duras que posee cada cultivar. Ambos factores están influenciados por el periodo de floración y la madurez de la semilla, así como por mecanismos reguladores de la germinación, impermeabilidad del revestimiento de la semilla (dureza) y constitución del banco de semillas en el suelo (Quinlivan, 1971; Rossiter *et al.*, 1985; Piano *et al.*, 1996).

Trifolium subterraneum L., al igual que otras leguminosas forrajeras, es capaz de fijar nitrógeno atmosférico a través de la simbiosis con *Rhizobium trifolii*. En zonas con precipitación superior a 700 mm puede fijar entre 121 kg y 284 kg N/ha/año (White *et al.*, 2000). El nitrógeno es un elemento importante en las áreas de secano con pastizales naturalizados, debido a que la acumulación de nitrógeno en el suelo promueve ciclos sucesionales donde los primeros años existe una contribución abundante de esta leguminosa y en años posteriores se produce el dominio de gramíneas y otras especies que utilizan el nitrógeno residual dejado por la fijación biológica.

La clasificación convencional del trébol subterráneo divide a esta especie en tres subespecies que son morfológicamente diferentes. Bajo el nombre genérico de tréboles subterráneos (*Trifolium subterraneum* L.) se incluyen las subespecies: *Trifolium subterraneum* subsp. *subterraneum*, *Trifolium subterraneum* subsp. *yanninicum* y *Trifolium subterraneum* subsp. *brachycalycinum*, que se adaptan a distintas condiciones de suelo y poseen características morfofuncionales diferentes. Las principales características diferenciadoras son la pubescencia de hojas y tallos, el geotropismo y entierro de glomérulos, las inflorescencias y semillas (forma y color) y la adaptación a las condiciones de suelo y clima (Nichols *et al.*, 2013a).

La especie *Trifolium subterraneum* subsp. *subterraneum* es usualmente pubescente y se caracteriza por presentar pedúnculos florales fuertes y cortos, capaces de enterrar con mayor facilidad las semillas, siendo inviables en su gran mayoría las semillas provenientes de glomérulos o canastillos no enterrados, por lo que se les asocia a suelos de textura liviana. Las semillas son de color negro o púrpura oscuro. Se comportan bien en suelos fértiles, de texturas livianas a francas, aceptando un rango de pH entre 5,2 y 7,0. Es la única subespecie que posee cultivares precoces, intermedios y tardíos y también la de mayor versatilidad debido a que es capaz de soportar temperaturas extremas (de 3,7 a 27°C). Se ubica desde el nivel del mar hasta 2.900 m de altitud, en suelos desde ácidos a ligeramente alcalinos y con precipitaciones desde 100 a 1.500 mm (Ghamkhar *et al.*, 2015; Lincoln University, 2016).

Trifolium subterraneum subsp. *brachycalycinum* es completamente glabro y presentan pedúnculos largos, sarmentosos y delgados. Su semilla es de color púrpura oscuro a negro y a diferencia de las otras dos subespecies, el cáliz cubre sólo la base o hasta un tercio de la flor. Tiene la capacidad de ubicar los frutos y semillas en pequeñas grietas, partiduras o fisuras que se producen especialmente en suelos con contenido en arcilla de alto a medio. Se adapta a suelos fértiles, de texturas medias a arcillosas y acepta un amplio rango de pH: 5,5 a 8,5.

Las plantas de *Trifolium subterraneum* subsp. *yanninicum* son glabra y poseen una capacidad intermedia de enterramiento de las semillas. Se distinguen por tener semillas de color ámbar a café claro y presentan alta tolerancia a condiciones de hidromorfismo edáfico, similar a *Trifolium michelianum* Savi.

La mayoría de los cultivares que se conocen en todo el mundo provienen de Australia. Se erigieron a través de procesos de selección masal de ecotipos locales que se expandieron en las diferentes zonas ganaderas a partir de la naturalización del material genético que ingresó a dicho país a través de la colonización europea. Casi la totalidad de los cultivares producidos desde el año 1900 en Australia han sido seleccionados por su bajo contenido de estrógenos, persistencia, productividad, precocidad, dureza seminal y tolerancia a plagas y enfermedades (Nichols *et al.*, 2013b; Lucas *et al.*, 2015). En el mercado mundial los genotipos se organizan en grupos según el ciclo de floración que corresponde al número de días entre la emergencia de las plantas y la aparición de las primeras flores. Esta clasificación considera los siguientes grupos: cultivares muy precoces, precoces, intermedios o de media estación y tardíos (Tabla 4.17).

Tabla 4.17. Clasificación de cultivares de trébol subterráneo según precocidad (Fuente: Nichols *et al.*, 2013b).

Precoz	Intermedio	Tardío
Daliak	Bindoon	Antas
Dalkeith	Campeda	Bacchus March
Dwalganup	Clare	Coolamon
Geraldton	Dinninup	Denmark
Howard	Enfield	Goulburn
Izmir	Esperance	Karridale
Losa	Gosse	Larisa
Northa	Green Range	Leura
Nungarin	Junece	Meteora
Uniwager	Mintaro	Mount Barker
Urana	Monti	Nangeela
	Narrikup	Napier
	Riverina	Nuba
	Rosedale	Rosabrook
	Seaton Park	Tallarook
	Trikkala	
	Woogenellup	
	Yarloop	
	York	

Los días desde la emergencia hasta el inicio de la floración cambian para un mismo cultivar según el sitio donde se ubique. La precipitación, temperatura, extensión del periodo de lluvias y nivel de fertilidad entre otros factores definen este valor (Tabla 4.18).

Tabla 4.18. Ciclo de floración o precocidad (días) de cultivares de trébol subterráneo en diferentes zonas del mundo (Fuente: adaptado de López, 1992).

Cultivar	Australia	Nueva Zelandia	Extremadura, España	Valdivia, Chile
Daliak	97		127	
Dwalganup	100	154	123	
Woogenellup	155	198	143	
Clare	162	212	147	
Mount Barker	187	219	153	174
Valmoreno			150	174
Gautan			155	174
Areces			138	169

Los cultivares muy precoces se caracterizan por tener tallos largos con pocas ramificaciones laterales, pecíolos largos y escasa presencia de hojas. La proporción de tallos es mayor que de hojas y la velocidad de desarrollo permite establecer este tipo de cultivares en zonas con precipitación entre 250 mm y 350 mm. Los cultivares precoces presentan tallos más vigorosos, con más ramificaciones y una mejor proporción hoja: tallo. Este tipo de cultivar es utilizado en áreas con precipitación que fluctúa entre 300 y 450 mm y un periodo seco de cinco a siete meses. Aquellos de precocidad intermedia poseen tallos vigorosos de longitud media, profusa ramificación lateral y gran desarrollo de sus hojas. Se siembran en áreas de precipitación entre 400 y 900 mm distribuidas en un periodo inferior a siete meses. Los cultivares tardíos poseen tallos cortos con muchas ramificaciones laterales y una gran cantidad de hojas que genera una densa masa de forraje. Este tipo de cultivares se establecen en áreas de precipitación promedio anual que fluctúa entre 900 y 1.500 mm (Veale, 1961).

La extensión del periodo de floración también constituye un factor importante en la elección de un cultivar, debido a que de ella depende el manejo de pastoreo que se deba realizar en un sitio determinado. Estudios realizados en la cordillera de la costa de la zona templada de Chile (Valdivia), demostraron diferencias importantes entre cultivares en la distribución de la floración en primavera (Figura 4.18).

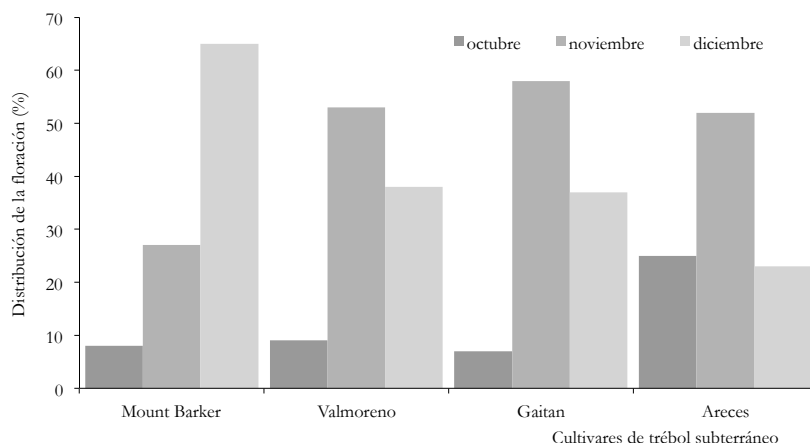


Figura 4.18. Distribución del periodo de floración de cultivares de trébol subterráneo en la cordillera de la costa de la zona templada de Chile. Valdivia. (Fuente: adaptado de López, 1992).

Por sus características de planta mediterránea, el trébol subterráneo se siembra en el periodo entre finales de verano y gran parte del otoño (marzo – mayo). La dosis de semilla fluctúa entre 8 y 10 kg/ha, dependiendo de si es sembrado como pastura monofítica o polifítica. Esta especie se establece en mezcla con gramíneas perennes y gramíneas y leguminosas de resiembra anual (Tabla 4.19).

En las áreas mediterráneas, para escapar a la variabilidad climáticas, se usan mezclas de cultivares con diferente precocidad y tolerancia a las condiciones de fertilidad y humedad de suelo. En las mezclas la identificación de los cultivares en el campo es compleja dado que las plantas poseen características que cambian según la

madurez, y las condiciones de humedad y fertilidad. Las principales diferencias morfológicas que exhiben los cultivares son la presencia de marcas en los folíolos de las hojas, pubescencia en tallos, pecíolos y pedúnculos florales, color de las estípulas y color de la flor, en especial la pigmentación del cáliz (Teixeira *et al.*, 2005).

Tabla 4.19. Dosis de semilla de trébol subterráneo sembrado solo o en mezcla con especies gramíneas y leguminosas.

Especies	Trébol subterráneo	Festuca	Pasto ovillo	Bromo	Falaris	Trébol encarnado	Mezcla mediterránea
Trébol subterráneo	10						
Trébol subterráneo + Festuca	8	20					
Trébol subterráneo + Pasto ovillo	8		10				
Trébol subterráneo + Bromo	8			25			
Trébol subterráneo + Falaris	8				10		
Trébol subterráneo + Festuca + Pasto ovillo	8	20	10				
Trébol subterráneo + Festuca + Bromo	8	15		25			
Trébol subterráneo + Pasto ovillo + Bromo	8		10	20			
Trébol subterráneo + Trébol encarnado	8					25	
<i>Mezcla mediterránea (400; 500; 600; 700)*</i>							25

(*) Ver composición de las mezclas en tabla 4.20.

El uso de mezclas permite a la pastura desarrollar resiembras en diferentes condiciones climáticas y edáficas, situación que genera una pastura permanente y estable en el tiempo (Collins *et al.*, 1983). A nivel nacional este concepto se aplicó en el desarrollo de mezclas de especies y cultivares de leguminosas de resiembra anual, que hoy se comercializan en grupos afines en precocidad y requerimientos hídricos (Tabla 4.20).

Tabla 4.20. Mezclas de especies y cultivares de leguminosas de resiembra anual segmentadas de acuerdo a la precipitación (Fuente: adaptado de Ovalle, 2011).

Especie	Cultivar	Mezclas Mediterráneas*			
		400	500	600	700
Trébol subterráneo	Losa	X			
Trébol subterráneo	Dalkeith	X			
Trébol subterráneo	Campeda	X	X		
Trébol subterráneo	Seaton park	X	X		
Trébol subterráneo	Antas		X	X	X
Trébol subterráneo	Clare		X	X	
Trébol subterráneo	Gosse			X	
Trébol subterráneo	Karridale				X
Trébol subterráneo	Mount Barker				X
Medicago anual	Scimitar	X	X	X	
Trébol balansa	Frontier	X	X		
Trébol balansa	Paradana		X	X	
Trébol balansa	Bolta			X	
Trébol vesiculosum	Zulu II				X
Precipitación (mm)		400 - 600	500 - 800	500 - 800	> 700

(*) La numeración de la mezcla esta relacionado con la precipitación mínima para su desarrollo.

El fundamento del establecimiento de mezclas de especies y cultivares de leguminosas de resiembra se relaciona con la búsqueda de la diversidad, estabilidad, persistencia y resiliencia de las pasturas sembradas en los secanos mediterráneos y templados. Estas asociaciones permiten contar con especies y cultivares de ciclos de floración diversos que cubren mejor la variabilidad climática, cambian la curva de producción, mejoran el uso del agua y aumentan la persistencia a través de la formación de semillas de diverso tamaño y distinto grado de dureza. Además, reducen los problemas de partidas falsas producidas por las lluvias tempranas del verano y mejoran la calidad del forraje consumido por los animales (Teixeira, *et al.*, 2005; Ovalle, 2011).

El crecimiento de las plantas de trébol subterráneo es estacional y se concentra en primavera. Después de la germinación y emergencia las plantas crecen según el nivel de humedad y temperatura del suelo, generando las plántulas una roseta de la cual produce largos tallos en sentido horizontal, muy rastreros. El principal crecimiento tiene lugar en los meses de septiembre y octubre y la producción de semillas al final del periodo de primavera. La regeneración en el año siguiente depende de la viabilidad de las semillas, número de semillas duras, humedad y temperatura del suelo (Chapman *et al.*, 1986; Thomas, 2003).

Una vez establecido, la persistencia del trébol subterráneo depende de la capacidad de las plantas de producir semillas, lo que está determinado por la velocidad de floración y número de semillas por inflorescencia, peso de las semillas y proporción de glomérulos enterrados con semillas viables. Existen algunos factores que tienen una influencia directa en la producción de semillas, como es el pastoreo, la densidad de plantas, humedad, nutrición balanceada y extensión del periodo de floración (Quinlivan & Francis, 1971; Francis *et al.*, 1972).

El trébol subterráneo es una planta C3 que responde a señales ambientales como la temperatura, el fotoperiodo, la intensidad y calidad de la luz y el nivel de nutrientes en el suelo, además de las señales endógenas transmitidas por las hormonas vegetales para generar los cambios desde la fase embrionaria a la vegetativa y reproductiva (Bäurle & Dean, 2006). La temperatura se considera el factor principal que controla la germinación y el tiempo de transición floral en las plantas (Nori *et al.*, 2014). Cada etapa fenológica de la planta (germinación, emergencia y floración) tiene un nivel de requerimiento de tiempo térmico (unidad calórica o grados días de crecimiento) el cual puede ser diferente según la especie y el cultivar (Moot *et al.*, 2000; Lonati *et al.*, 2009).

La germinación en el campo ocurre cuando se cumplen los requisitos de humedad y temperatura y se reconoce cuando el embrión supera las restricciones de la cubierta de la semilla y la radícula sobrepasa el diámetro de esta (Lonati *et al.*, 2009). La temperatura óptima de germinación se ubica entre 12 y 20°C, pero existen excepciones como el cultivar Woogenellup cuya temperatura óptima es 26°C. La acumulación de grados días de crecimiento para la germinación varía entre 39 y 52°C y para la emergencia 160 °C (Monks *et al.*, 2009). La restricción de humedad en el proceso de germinación y emergencia puede generar una reducción del 90 a 15% de germinación del trébol subterráneo (McWilliam *et al.*, 1970).

Al igual que la germinación y la emergencia, la aparición de las hojas es impulsada por la temperatura. Los grados días promedio para la aparición de la primera hoja trifoliada es de 230°C, con un filocrono (tasa de aparición de hojas trifoliadas) de $68 \pm 6.5^\circ\text{C}$. La aparición exponencial de hojas se inicia a partir de una acumulación de grados días superior a 430, periodo en el cual los animales pueden ingresar a pastorear sin causar daño a la pastura (Moot *et al.*, 2003). Durante esta etapa las hojas aumentan de tamaño a medida que incrementa la temperatura, alcanzando su máximo crecimiento con 20°C (Fukai & Silsbury, 1976). El proceso de floración es regulado por la temperatura y el fotoperiodo (Evans *et al.*, 1992). El periodo de floración depende de la precocidad de los cultivares y se localiza entre finales de septiembre y octubre (Figura 4.19).



Figura 4.19. Inicio de la floración de *Trifolium subterraneum* L.

La humedad en primavera junto con la temperatura va a determinar el rendimiento de los diferentes cultivares en una zona concreta. Asociado a estos dos factores se encuentra el manejo de pastoreo, que provoca cambios morfológicos en la planta impactando la producción de biomasa, flores y semillas (Ates *et al.*, 2013).

Finalizado el periodo de floración se inicia el proceso de producción de semillas atributo clave que permite la supervivencia y persistencia del trébol en los pastizales. Las semillas contenidas en los glomérulos son enterradas en el suelo debido al geotropismo positivo, sobreviviendo a las condiciones de pastoreo y sequía estival (Francis & Gladstones, 1974). La acumulación de grados días que requiere el trébol subterráneo para lograr producir semilla cambia según el cultivar existiendo un rango de 1.440 a 2.340 °C (Power *et al.*, 2003). La producción de semillas cambia según las condiciones climáticas, ubicación geográfica de la pastura, nivel de nutrientes y manejo del pastoreo entre otros factores. Diversos reportes mencionan niveles de producción de semillas que fluctúan entre 400 y 2.000 kg/ha, siendo habitual producciones que se ubican entre 600 y 800 kg/ha (Francis & Gladstones, 1974; McGuire, 1985).

La viabilidad de las semillas está relacionada con su peso y ubicación. Las semillas ubicadas en los canastillos no enterrados (aéreos) son más livianas y menos viables que las enterradas. López (1992), midió en la zona templada el número de semillas por kg existente sobre la superficie del suelo y las enterradas en cuatro cultivares de *Trifolium subterraneum* L. y demostró que las semillas ubicadas en la parte aérea son un 37% más livianas que las enterradas.

Es habitual que la cantidad de canastillos y semillas enterradas sea superior a las que hay al aire. Mediciones realizadas en la zona templada sobre cuatro cultivares diferentes mostraron un promedio de 139 kg semillas/ha en la superficie del suelo y 884 kg semilla/ha (86,5%) enterradas (Figura 4.20) (López, 1992).

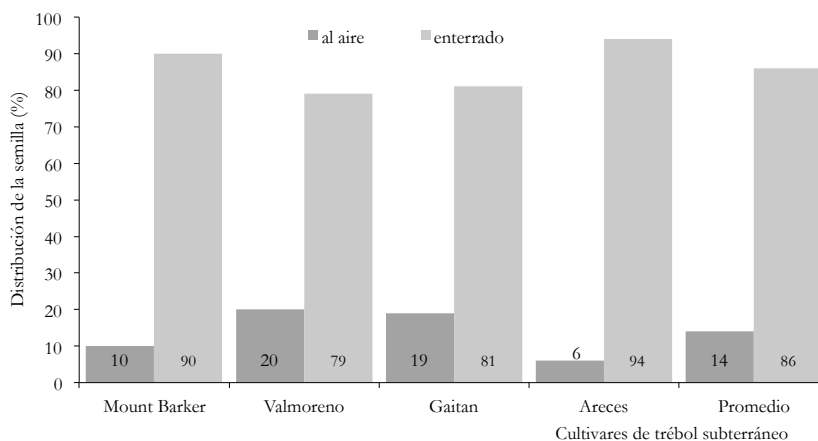


Figura 4.20. Proporción de semillas ubicadas en la superficie del suelo y enterradas de cuatro cultivares de *Trifolium subterraneum* L. en la zona templada Chile (Fuente: adaptado de López, 1992).

La producción de biomasa ha sido medida en diversas localidades de la zona mediterránea, de transición y templada de Chile. Los resultados indican que el rendimiento está influenciado de forma directa por la humedad, temperatura, nivel de nutrientes en el suelo y manejo del pastoreo. El rendimiento cambia de forma abrupta entre años, en especial cuando ocurren eventos de sequía estival prolongados. La producción de materia seca de esta especie se ha descrito por diversos autores y dependiendo de la localidad el rendimiento fluctúa entre 2,2 y 7,0 ton MS/ha (Acuña *et al.*, 1984; Jara, 1984; Romero & Demanet, 1988; Ovalle *et al.*, 2005) (Figura 4.21).

El crecimiento de la pastura de trébol subterráneo presenta una curva sigmoidea típica de las especies mediterráneas. La máxima acumulación de materia seca se obtiene en los meses de septiembre y octubre, periodo en que se obtiene más del 50% de la producción anual (Figura 4.22).

Al igual que otras leguminosas forrajeras, el trébol subterráneo posee un alto valor nutritivo que promueve la ingesta y la producción animal, principalmente a inicios de primavera. En relación a los pastizales naturales y naturalizados, el consumo de pasturas de trébol subterráneo permite alcanzar ganancias superiores de peso en

animales en pastoreo (Ates, 2009). La digestibilidad fluctúa entre el 62 y el 80% (Ru y Fortune, 2000) y el nivel de proteína bruta se ubica entre el 12 y el 27% (Norman *et al.*, 2005).

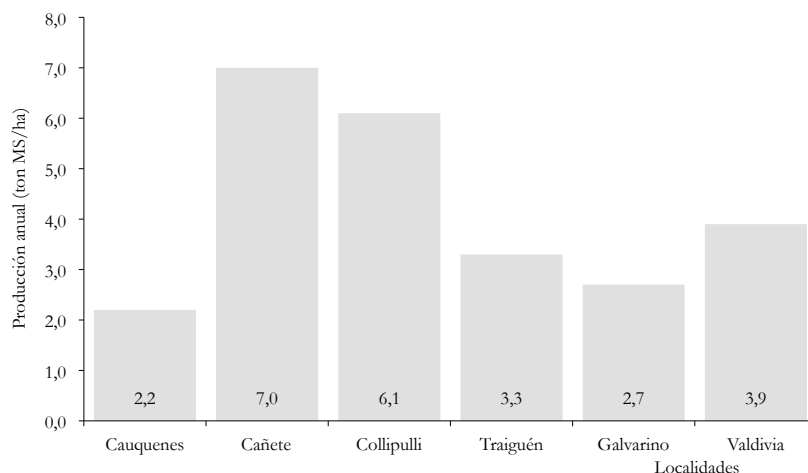


Figura 4.21. Rendimiento (ton MS/ha) de *Trifolium subterraneum* L. en seis localidades de la zona mediterránea, de transición y templada de Chile. (Fuente: adaptado de Acuña *et al.*, 1984; Jara, 1984; Romero & Demanet, 1988; López, 1992; Ovalle *et al.*, 2005).

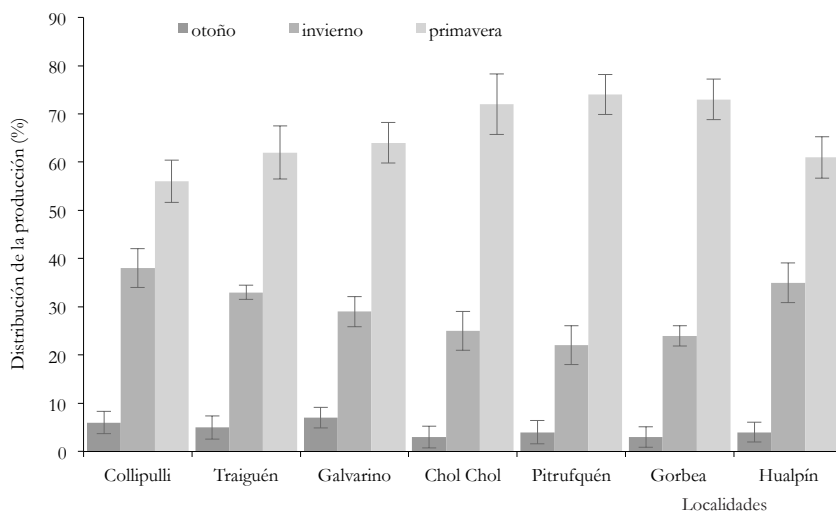


Figura 4.22. Distribución estacional de la producción de *Trifolium subterraneum* L. en siete localidades de transición de clima mediterráneo a templado. Coeficiente de variación: 6,23%

El valor nutritivo del trébol subterráneo disminuye con el avance de la madurez de las plantas y esto está directamente relacionado con la reducción de la proporción de hojas y tallos en las plantas (Figura 4.23). En evaluaciones realizadas en la cordillera de la costa de Valdivia, en la zona templada de Chile, se observó que la proporción hoja:tallo disminuyó desde 6,5 en septiembre a 0,7 en enero. Además, el contenido de proteína cruda se redujo de forma drástica en menos de 30 días desde el 18,5% (noviembre) al 13,6% en diciembre (López, 1992).

La presencia de estrógenos en la planta es uno de los elementos que se deben considerar en la elección de esta especie y sus cultivares para su uso en ganadería. Los problemas son incidentes en la ganadería ovina, principalmente en las hembras, no existiendo registros de sus efectos en la ganadería bovina.

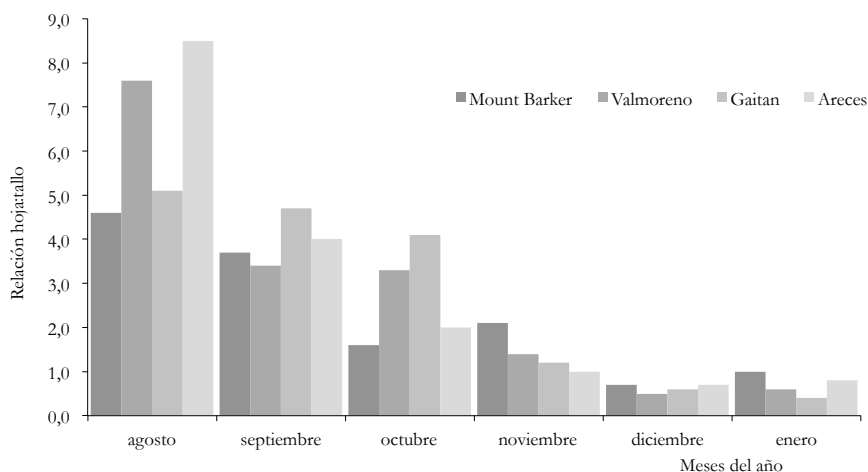


Figura 4.23. Relación hojatallo de cuatro cultivares de *Trifolium subterraneum* L. establecidos en la Cordillera de la Costa en Valdivia (zona templada) (Fuente: adaptado de López, 1992).

Se han determinado grupos de fitoestrógenos entre los que se encuentran las isoflavonas como la genisteína, comestanos como el comestrol o coumestrol, y los lignanos representados por la enterolactona. Estos compuestos poseen la capacidad de unirse a los receptores estrogénicos alfa ($ER\alpha$) del útero, glándula mamaria, sistema cardiovascular y hueso, y con mayor afinidad a los receptores estrogénicos beta ($ER\beta$) presentes en próstata, ovarios, testículos, tracto urinario, tejido linfático y algunas regiones del cerebro como el hipotálamo (Pérez-Rivero *et al.*, 2007).

El fitoestrógeno predominante en el trébol subterráneo es las isoflavonas formononetina que consumida en altas dosis puede causar en las hembras ovinas infertilidad, partos distócicos y prolapso uterino. Estos últimos pueden provocar la muerte del animal. Ovinos pastoreando trébol con alto porcentaje de fitoestrógenos pueden presentar episodios de ninfomanía y desarrollo de las glándulas mamarias y lactación en ovejas no preñadas.

Existe una correlación positiva entre el genotipo y la presencia de fitoestrógenos, además de la influencia de factores ambientales como son el frío invernal y la deficiencia de fósforo. En la actualidad la mayoría de los cultivares disponibles en el mercado mundial poseen bajo nivel de fitoestrógenos, lo que determina que la actividad estrogénica de dichos cultivares sea baja o nula (Tabla 4.21).

Tabla 4.21. Clasificación de cultivares de trébol subterráneo según país de origen, año de obtención, precocidad y actividad estrogénica (Fuente: adaptado de Muslera & Ratera, 1991; Teixeira *et al.*, 2005; Lincoln University, 2006).

Cultivar	Sub especie	País	Año obtención	Precocidad	Actividad estrogénicas
Nungarin	Subterraneum	Australia	1980	Precoz	Baja
Northam	Subterraneum	Australia	1976	Precoz	Baja
Uniwager	Subterraneum	Australia	1967	Precoz	Baja
Daliak	Subterraneum	Australia	1967	Precoz	Baja
Orellana	Subterraneum	España	1986	Precoz	Baja
Geraldton	Subterraneum	Australia	1958	Precoz	Alta
Dwalganup	Subterraneum	Australia	1929	Precoz	Muy alta
Seaton Park	Subterraneum	Australia	1932	Intermedio	Baja
Trikkala	Yanninicum	Australia	1975	Intermedio	Baja
Esperance	Subterraneum	Australia	1978	Intermedio	Baja
Wooenellup	Subterraneum	Australia	1958	Intermedio	Baja
Clare	Subterraneum	Australia	1950	Intermedio	Baja
Bacchus Marsh	Subterraneum	Australia	1937	Intermedio	Baja
Coria	Subterraneum	España	1986	Intermedio	Baja
Areces	Subterraneum	España	1986	Intermedio	Baja
Howard	Subterraneum	Australia	1964	Intermedio	Alta
Yarloop	Yanninicum	Australia	1939	Intermedio	Muy alta
Dinninup	Subterraneum	Australia	1961	Intermedio	Muy alta
Mount Barker	Subterraneum	Australia	1906	Tardío	Baja
Larisa	Yanninicum	Grecia	1965	Tardío	Baja
Nagecla	Subterraneum	Australia	1930	Tardío	Baja
Valmoreno	Brachycalycinum	España	1986	Tardío	Baja
Gaitan	Brachycalycinum	España	1986	Tardío	Baja
Tallarook	Subterraneum	Australia	1928	Tardío	Alta

Medicagos anuales (Hualputras)

Grupo de leguminosas anuales de origen mediterráneo perteneciente a la familia Fabaceae, sub familia Faboideae, tribu Trifolieae y género *Medicago*. En Chile existe un gran número de especies de medicagos anuales que se encuentran naturalizados desde Copiapó hasta Valdivia, abarcando parte de la zona esteparia, toda el área mediterránea y norte de la zona templada.

Al igual que la mayoría de las leguminosas forrajeras anuales presentes en Chile los medicagos anuales no son nativos, sino que fueron introducidos desde la cuenca mediterránea, involuntariamente, como contaminantes o malezas en semillas de cereales o adheridas a la lana de ovinos importados por los colonizadores desde la península ibérica (Ovalle & Squella, 1988).

Los medicagos anuales son especies de crecimiento rastrero a semi erecto, con hojas trifoliadas que se caracterizan por presentar los peciólulos laterales de igual dimensión y el peciólulo central de tamaño mayor, inclinado hacia el foliolo. Las hojas, con o sin pubescencia, tienen forma cuneada, obovada o acorazonada con márgenes lisos o aserrados (Figura 4.24).



Figura 4.24. *Medicago arábica* L. Sus hojas son pigmentadas y aserradas.

Las flores papilionáceas son de color amarillo y autóгамas, que pueden presentarse solitaria o en racimos. La raíz principal es profundizadora, atributo que le permite soportar periodos prolongados de sequía. El fruto es un gloquídeo, a veces denominado también glomérulo (legumbre), de distinta forma y tamaño que constituye una característica diferenciadora entre las especies.

Todas las especies presentan un buen comportamiento en suelos alcalinos y solo algunas son capaces de tolerar los suelos ligeramente ácidos. Su propagación está limitada en el área templada debido a la ausencia de su rizobio específico (*Rhizobium meliloti*) que no soporta condiciones de pH ácido y alto contenido de aluminio del suelo.

Los medicagos anuales, al igual que el trébol subterráneo, germinan en otoño y alcanzan su mayor producción de materia seca en el periodo de septiembre y octubre. La inducción floral se produce con el incremento de la duración del día (fotoperiodo) y la producción de flores y semillas solo se alcanza si las plantas han logrado una adecuada acumulación de horas de frío (vernalización).

La precocidad de las especies y cultivares es variable y se relaciona con factores genéticos y ambientales, donde la temperatura es la más importante. Las plantas poseen un alto potencial de producción de semillas que son en

su mayoría duras, atributo por el cual la especie presenta una prolongada persistencia en todas las zonas donde se ubica.

La actividad estrogénica de los medicagos es baja. Posee la isoflavona denominada cumestrol, derivado de la cumarina, que incrementa en la planta en el momento de la floración y formación de los glomérulos. La presencia de este compuesto puede generar problemas reproductivos en las ovejas que lo consumen.

La siembra en el área mediterránea y de transición de mediterránea a templada se realiza en el periodo de marzo a mayo, dependiendo de las condiciones de humedad y temperatura del suelo. La dosis de semillas en pasturas monofíticas es de 15 kg/ha y en polifíticas no supera los 8 kg/ha. La comercialización de estas semillas en Chile está focalizada en la venta de mezclas con otras leguminosas anuales. Este tipo de asociación polifítica recibe el nombre de mezclas mediterráneas y se diferencian entre ellas por la proporción de especies y cultivares que las componen. Las mezclas de mayor utilización en el mercado nacional se componen de cultivares de medicagos anuales, trébol subterráneo y trébol balansa.

El área del mundo donde mayor desarrollo ha tenido este grupo de especies es Australia, país al que llegó de forma accidental desde la zona mediterránea. En 1938 ya se conocía el primer cultivar de *Medicago truncatula* y a partir del año 1950 se desarrolló un programa de evaluación de líneas y ecotipos que dio origen a diversos cultivares de las especies *M. truncatula*, *M. littoralis*, *M. rugosa*, *M. tornata*, *M. scutellata* entre otras (Muslera & Ratera, 1991).

En Chile el primer cultivar de medicago anual fue creado en el Centro Experimental Cauquenes del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Este material genético, que pertenece a la especie *Medicago polymorpha* L. syn. *Medicago hispida* L., recibió por nombre Cauquenes-INIA y fue desarrollado a partir de una colecta realizada en 1988 en una amplia zona: La Serena - Temuco. De floración precoz y hábito de crecimiento semi-erecto, posee una longitud de entrenudos moderada y una ramificación primaria densa con más de siete tallos secundarios. La forma de los folíolos es lanceolada, con márgenes enteros pero con la parte superior aserrada. Los folíolos presentan un pequeño punteado de color blanco o morado. Las flores son de color amarillo pálido, dispuestas en racimo de 2-5 flores. Los pedúnculos son glabros. El fruto o gloquídeo tiene forma cilíndrica, espiralado con giro en dirección contraria a las agujas del reloj, sin espinas. Posee en promedio 5,1 semillas por gloquídeo; el peso de 1.000 semillas es de 3,1 g y el número de semillas por gramo es 293. Posee una dureza seminal medida al final del ciclo anual del 100% y al otoño siguiente del 97% (Ovalle *et al.*, 2001).

Otro cultivar desarrollado en Chile es el Combarbalá, que se generó a partir de accesiones colectadas en el camino que une Monte Patria con Combarbalá, en la zona semi árida de Chile. Esta zona del país posee un clima mediterráneo árido, con un promedio de precipitaciones de 130 mm y un suelo granítico con bajo contenido en materia orgánica (2,7%) y pH básico (7,3). Es un cultivar de floración precoz, con un periodo de emergencia a floración no superior a 83 días. El porcentaje de semillas duras al final del ciclo de crecimiento es de 100%, que disminuye al 96% al otoño siguiente (Del Pozo *et al.*, 2001).

Medicago polymorpha L. es una leguminosa de resiembra anual que se adapta bien a zonas en las que se practican programas de rotación con cereales de grano pequeño (*ley farming systems*). La alta proporción de semillas duras que presenta permite que estas no germinen en el año de establecimiento junto al cereal, pero sí en la siguiente temporada cuando desarrollan pastizales densos y productivos (Ewing & Howieson, 1989; Del Pozo *et al.*, 1989).

Esta especie se encuentra naturalizada en áreas de transición de mediterránea a templada y su aporte a la composición botánica de los pastizales puede superar el 40%. Este alto grado de participación es cíclico ya que se genera en esta zona la típica sucesión de tres a cuatro años dominados por especies gramíneas y uno a dos años por leguminosas de resiembra.

Las mediciones de la productividad de esta especie, en términos de materia seca y producción de semilla, las llevan a cabo los centros de producción de material genético. Mediciones realizadas en la localidad de Cauquenes, en la zona mediterránea húmeda del país, determinaron que el cultivar Cauquenes superaba significativamente el rendimiento de los cultivares de origen australiano Santiago, La Serena y Circle Valley (Figura 4.25).

El mejor comportamiento de *Medicago polymorpha* L. respecto a *Trifolium subterraneum* L. en el secano mediterráneo sub-húmedo en condiciones de sequía prolongada y partida falsa de otoño se observó en las mediciones

realizadas por Ovalle *et al.* (2001). En ellas se observó que, en la cuarta temporada, los medicagos anuales, y en especial aquellos de origen nacional, superaron ampliamente al trébol subterráneo cv. Clare (Figura 4.26).

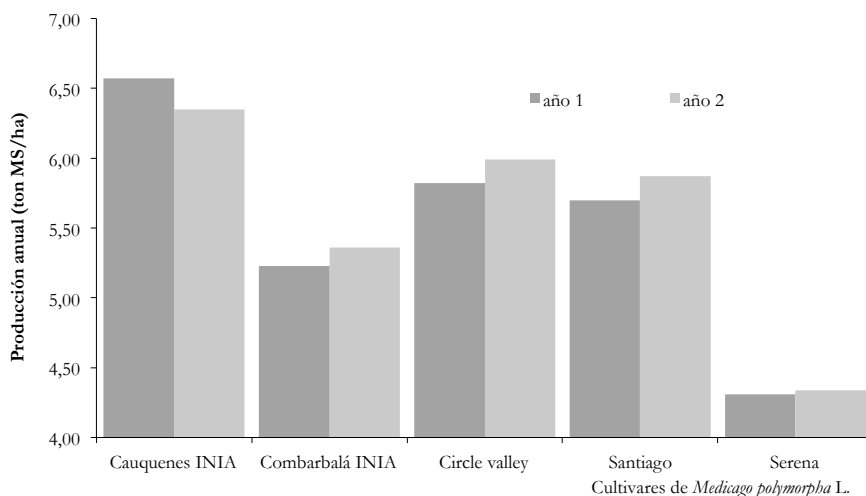


Figura 4.25. Producción de materia seca de cinco cultivares de *Medicago polymorpha* L. en el secano mediterráneo de Chile. Cauquenes. (Fuente: adaptado de Ovalle *et al.*, 1998).

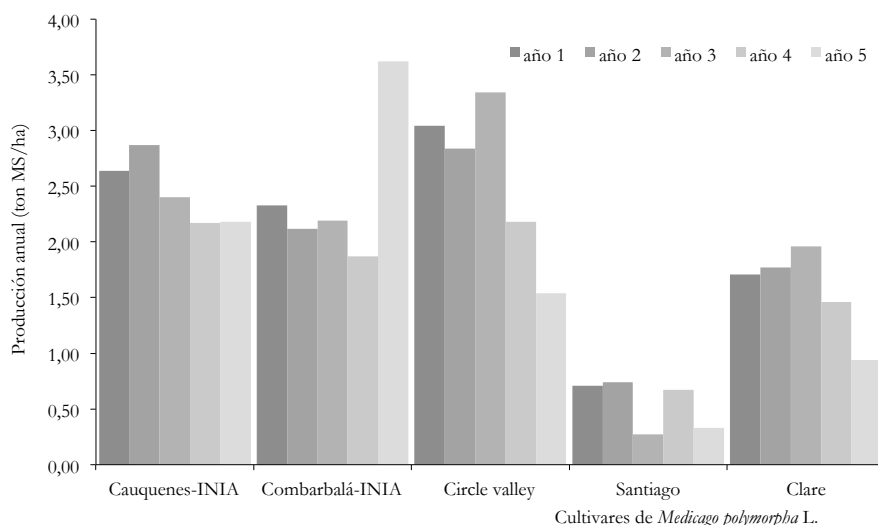


Figura 4.26. Producción de materia seca de cuatro cultivares de *Medicago polymorpha* L. comparados con el cultivar Clare de *Trifolium subterraneum* L. en el secano mediterráneo de Chile. Cauquenes. 1993 -1997 (Fuente: adaptado de Ovalle *et al.*, 2001).

Mediciones realizadas en diferentes localidades de la zona mediterránea muestran el gradiente de rendimiento que logra esta especie al ser sometida a diferentes condiciones climáticas, en especial de precipitación. Los cultivares precoces no consiguen resultados aceptables en áreas de precipitación superior a 500 mm (Figura 4.27).

La persistencia de esta especie depende de la producción de semillas. El nivel de rendimiento que logra bajo condiciones de clima mediterráneo puede superar los 1.300 kg de semilla/ha (Figura 4.28), pero con importantes variaciones entre años.

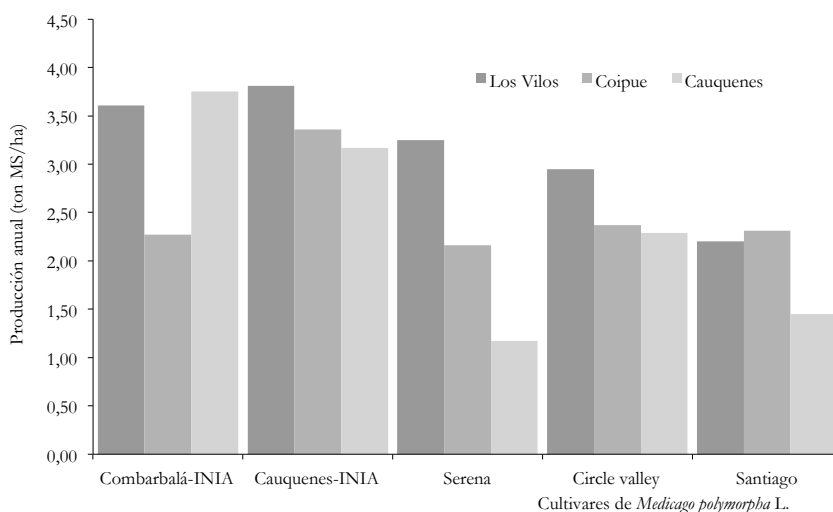


Figura 4.27. Producción de materia seca (ton MS/ha) de cinco cultivares de *Medicago polymorpha* L. en el secano mediterráneo de Chile. Los Vilos (31°55'LS – 71°28'LO), Coipue (34°12'LS – 71°36'LO) y Cauquenes (35°57'LS – 79°19'LO) (Fuente: adaptado de Del Pozo *et al.*, 2001).

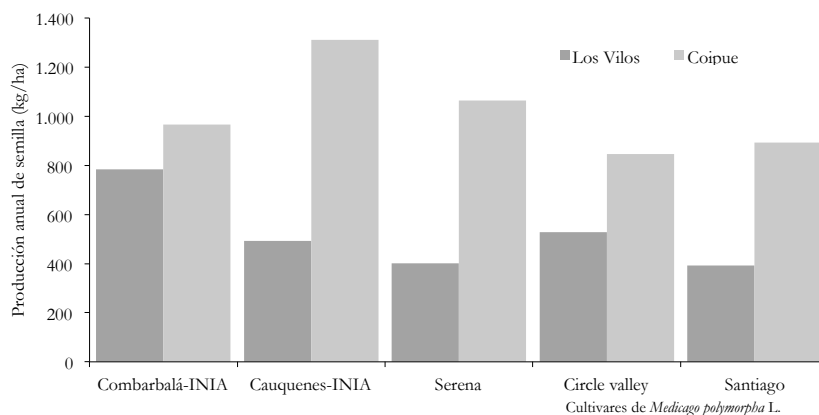


Figura 4.28. Producción anual de semillas de *Medicago polymorpha* L. en el secano mediterráneo de Chile. Los Vilos (31°55'LS – 71°28'LO) y Coipue (34°12'LS – 71°36'LO) (Fuente adaptado de Del Pozo *et al.*, 2001).

***Trifolium incarnatum* L. (Trébol encarnado)**

Especie de la familia Fabaceae, sub familia Faboideae, tribu Trifolieae, género *Trifolium*. Se trata de una planta de ciclo anual (terófito), nativa del sud-este de Europa y sur-oeste de Asia menor y que presenta una amplia distribución en las zonas mediterráneas del mundo (Knight & Hoveland, 1985).

Trifolium incarnatum L. fue una especie ampliamente utilizada como forraje y abono verde durante el siglo XVIII en países como Italia, Francia, Alemania y Gran Bretaña. Sin embargo, en la actualidad en estas áreas del mundo es considerada una leguminosa de poca importancia (Bulot, 1991; Martinello & Ciola, 1993) y su uso se limita a algunas comarcas de la costa atlántica de la provincia de Pontevedra, en el noroeste de España, donde se intercala en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) como inter siembra, se usa como cultivo de cobertera en la vid (*Vitis vinifera* L.) (Lloveras, 1987) y en la producción de forraje en mezcla con *Lolium multiflorum* Lam., *Avena sativa* L. o *Secale cereale* (L.) M.Bieb (Iglesias & Gómez Ibarlucea, 1987). Desde su ingreso en América en 1819 se ha utilizado como opción de cultivo de invierno para forraje y como protector de suelo en sistemas de labranza conservacionista (Knight & Hollowell, 1973).

Su ingreso en Chile se atribuye a colonos localizados en la provincia de Malleco, quienes importaron de Europa y Estados Unidos cultivares que fueron muy utilizados en todo el secano mediterráneo del país (Demanet *et al.*, 1991). En el área norte de la zona templada, en el sector de transición de mediterráneo a templado, esta especie es utilizada en pastoreo invernal, producción de ensilaje, henilaje y heno, además de producción de semillas. La siembra anual se realiza con semillas cosechadas en el área y en diversos sitios es posible encontrar esta especie formando parte de la composición botánica de los pastizales naturalizados (Figura 4.29).



Figura 4.29. *Trifolium incarnatum* L. formando parte de la composición botánica del pastizal naturalizado. Barros Arana, Región de La Araucanía.

La planta es anual de resiembra y posee tallos que según el estado de madurez pueden alcanzar una altura de sesenta centímetros (Tabla 4.22). Estos son simples o ramificados desde la base, erectos o ascendentes, que toman primero una dirección más o menos horizontal para luego elevarse hasta alcanzar una posición vertical, con pilosidad patente en la base.

Tabla 4.22. Altura de las plantas de *Trifolium incarnatum* L. según su estado fenológico Estación Experimental Las Encinas. Temuco. (Fuente: adaptado de Romero, 2006).

Estado fenológico	Altura (cm)
2 hojas	8 e
3 hojas	12 e
4 hojas	20 d
Inicio floración	37 c
50% floración	50 b
100% floración	61 a
3/4 polinización	60 a
Inicio formación de la semilla	60 a
Semilla pastosa	59 a
Semilla dura	58 a

Medias que no comparten una letra en común son diferentes según Prueba de Tukey ($p > 0,05$)

Las hojas pubescentes se disponen de forma alternas, imparipinnadas, y se componen de tres folíolos ovales de 8 a 25 mm, un pecíolo de hasta 15 cm y estípulas ovadas y angulosas. La raíz es pivotante y con abundantes raicillas secundarias.

Las flores se reúnen en inflorescencias espiciformes elipsoidales y sub cilíndricas, dispuestas sobre un pedúnculo de hasta 13 cm, sin bractéolas. El cáliz, actinomorfo (estructuras con al menos dos planos de simetría), consta

de un tubo campanulado de hasta 5 mm, con 10 nervios. La corola, de 10 a 20 mm, es tan o más larga que el cáliz, de color carmesí, rosado o blanco; es de tipo papilionáceo; consta de un estandarte (pétalo superior de la corola de las leguminosas), dos alas y una quilla formada por la unión de los dos pétalos inferiores. El androceo (órgano masculino constituido por el conjunto de los estambres de una flor) es diáfano (que presenta los estambres en dos grupos, por lo general uno solitario y el resto soldado) y tiene nueve estambres soldados formando un tubo y uno libre, opuesto al estandarte. El gineceo (conjunto de los órganos femeninos de una flor) consta de un ovario que emite un estilo que pasa por el interior del tubo formado por los estambres (Duke, 1981b; Knight & Hoveland, 1985; Demanet *et al.*, 1989; Demanet *et al.*, 1991; Muslera & Ratera, 1991).

La inflorescencia terminal, largamente pedunculada y cónica a cilíndrica, despliega flores de color carmesí (Figura 4.30) cuya polinización es 75% cruzada y 25 % autopolinización. La maduración de sus flores es desde abajo hacia arriba (Knight & Hoveland, 1985).



Figura 4.30. *Trifolium incarnatum* L. (trébol encarnado) en periodo de polinización.

El fruto es una legumbre, que corresponde a un fruto monocarpelar, seco y dehiscente, que se abre por la sutura ventral y por el nervio medio del carpelo. La legumbre se encuentra incluida en el cáliz, con solo una semilla en el interior. Las semillas, brillantes de forma elíptica y tamaño intermedio presentan un color amarillo ámbar. Tiene 300.000 semillas/kilo (Knight & Hoveland, 1985; Demanet *et al.*, 1991).

Desde el punto de vista botánico es posible distinguir dos variedades: var. *incarnatum*: robusta y erecta, ramificada y no muy pilosa, con inflorescencias densas, corola de color rojo, igual o algo más larga que el cáliz; var. *molinerrii*: menos robusta, con tallos ascendentes muy pilosos, con inflorescencias poco densas y la corola normalmente blanco-amarillenta, raramente rosa y más larga que el cáliz (Akin & Robinson, 1982).

En la región de La Araucanía el trébol encarnado participa en la rotación de cultivo de cereales, aprovechando el efecto residual de los fertilizantes utilizados en la producción de cereales. El sistema de siembra es habitualmente al voleo. La semilla se deposita sobre el suelo a través de la aspersión con un trompo abonador o con una máquina sembradora de cereales, a la cual se le dejan sueltos los tubos. Después de la siembra se incorpora la semilla al suelo con un vibrocultivador o una rastra de clavos o ramas. En cero labranza, la semilla es depositada en el suelo en línea, a una profundidad no superior a un centímetro.

La fecha de siembra corresponde al periodo posterior a la cosecha de cereales (Marzo – Mayo), una vez extraídos o incorporados los residuos y producido una lluvia efectiva (> 40 mm). Habitualmente la siembra se

realiza entre la segunda quincena de marzo y la última semana de abril, aunque hay años en los que la siembra se retrasa al mes de mayo si en la primera etapa del otoño no se han registrado precipitaciones.

En Chile se comercializa semilla corriente proveniente, probablemente, del cultivar Dixie de origen estadounidense y floración intermedia. El centro de producción de semillas es el secano interior de la Región de La Araucanía, especialmente las localidades de Traiguén, Quechereguas, Galvarino y Los Sauces. Con la introducción del trébol subterráneo, el trébol encarnado pasó a ser una especie sólo utilizada en la zona de transición de mediterránea a templada y, en especial, en las localidades antes mencionadas. Su floración, que es inducida por el incremento de la luz, permite generar en el mes de septiembre un paisaje incomparable en las áreas de secano, donde sus inconfundibles flores de color carmesí contrastan con el ámbar de las recién formadas espigas de cereales y gramíneas, componentes de las praderas naturalizadas de la zona.

A finales del siglo pasado las empresas comercializaban semilla corriente e incluso la exportaban a Italia. Sin embargo, este proceso fue eliminado por las nuevas normativas europeas de ingreso de semilla, quedando esta opción de comercialización descartada para la región.

Por selección masal se ha desarrollado un cultivar no inscrito denominado Traiguén, que se caracteriza por presentar floración intermedia (155 días) y se encuentra adaptado a las condiciones del secano interior de la Región de La Araucanía y precordillera de la Región del Bío Bío. Su crecimiento explosivo en primavera permite obtener un forraje voluminoso de alta calidad, cuyo destino es la elaboración de ensilaje, henilaje o heno.

Las semillas no presentan latencia y su dureza se reduce a valores inferiores a 5% por la escarificación que genera el roce de las máquinas cosechadoras y la manipulación de la semilla en el proceso de selección y envasado. Esto hace que la semilla germine inmediatamente una vez entre en contacto con la humedad del suelo (Demanet *et al.*, 1989; Demanet *et al.*, 1991). Es habitual que las semillas presenten un porcentaje de al menos un 10% de germinación anormal, hecho que es siempre considerado en su dosificación (Demanet & García, 1992).

El bajo porcentaje de semillas duras que posee la semilla comercializada constituye una desventaja ya que precipitaciones tempranas de otoño provocan la emergencia de plántulas, que se pueden deshidratar y morir con facilidad frente a una sequía de otoño prolongada. La ausencia de semillas duras reduce las posibilidades de una nueva germinación, lo que puede generar una reducción de hasta el 84% en el rendimiento del forraje (Demanet *et al.*, 1991). Esto se evita retrasando la época de siembra a los meses de abril y mayo. La dosis de semillas con la que se logra la mayor producción de forraje es de 35 kg/ha (Demanet *et al.*, 1991) (Figura 4.31).

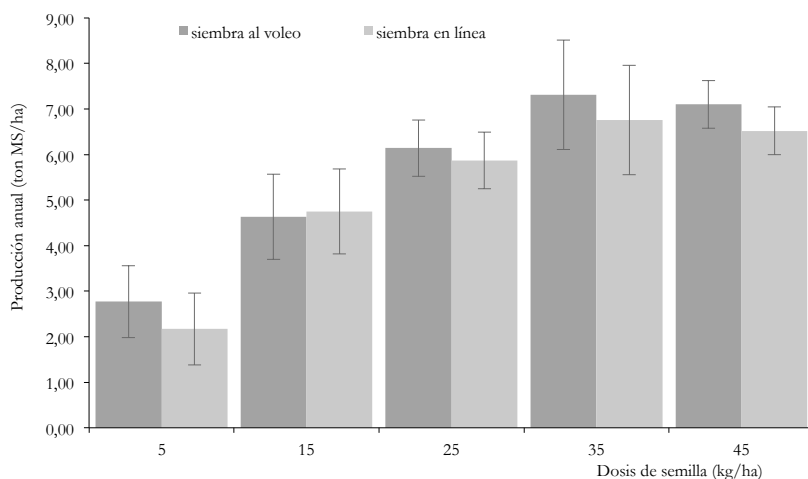


Figura 4.31. Efecto de la dosis de semillas en la producción de *Trifolium incarnatum* L., Traiguén, Región de La Araucanía. Coeficiente de variación: 10,36%

La resiembra natural permite la presencia de porcentajes mayores de semillas duras y el mantenimiento de pasturas con mayor persistencia, dado que a través de esta vía se mantiene una alta cantidad de semillas viables en el suelo que germinaran y se desarrollaron cuando las condiciones ambientales sean favorables. Para sostener

este sistema se debe permitir la resiembra de las pasturas todos los años, o al menos cada tres años para mantener un banco de semillas viables en el suelo que germinaran cuando las condiciones de humedad y temperatura sean favorables.

La diversidad florística es la base para la estabilidad de las pasturas de leguminosas en las zonas con escasez hídrica. Un estudio realizado con la asociación de *Trifolium incarnatum* L. y *Trifolium subterraneum* L. demostró que el trébol encarnado permite incrementar la producción de la pastura en la primera temporada de siembra y que a partir de la segunda temporada se desarrolla un pastizal de trébol subterráneo denso y productivo (Demanet, 1992) (Figura 4.32).

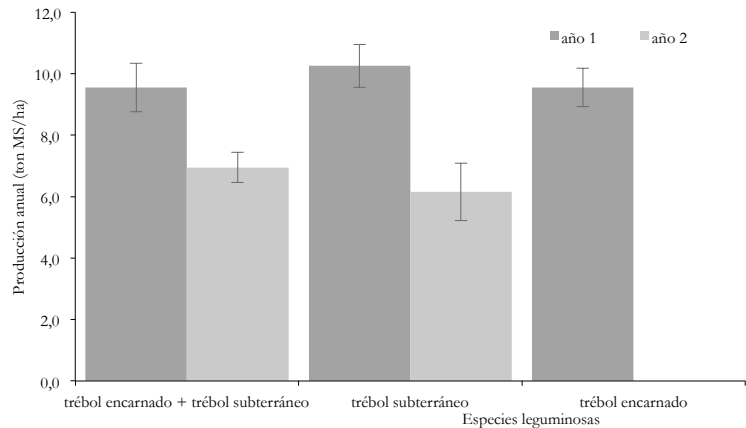


Figura 4.32. Efecto de la siembra asociada de *Trifolium incarnatum* L. + *Trifolium subterraneum* L. en la producción de la primera y segunda temporada. Traiguén, Región de la Araucanía.
Coeficiente de variación:8,37%

Otra asociación posible de *Trifolium incarnatum* L. es con gramíneas de ciclo anual: *Lolium rigidum* (Gaudin) Weiss ex Nyman (Figura 4.33), *Lolium multiflorum* Lam. var. *westervoldicum* y *Avena sativa* L. Este tipo de mezclas permite generar pastizales con un mejor balance proteína – energía y donde la presencia de cada especie se relaciona con la competitividad y arquitectura de las gramíneas (Tabla 4.23).

Tabla 4.23. Producción invernal y anual (ton MS/ha) de la asociación de *Trifolium incarnatum* L. con especies gramíneas de rotación. Traiguén. Región de La Araucanía.

Tratamientos	Producción Invernal	Producción anual	% Gramíneas	% Trébol
<i>Trifolium incarnatum</i> L. + <i>Avena sativa</i>	1,4 a	9,2 a	43	57
<i>Trifolium incarnatum</i> L. + <i>Lolium multiflorum</i>	1,3 a	9,0 a	73	27
<i>Trifolium incarnatum</i> L. + <i>Lolium rigidum</i>	1,3 a	9,3 a	81	19
<i>Trifolium incarnatum</i> L.	1,2 a	8,6 b	0	100

Medias que no comparten una letra en común en las columnas son diferentes según Prueba de Tukey (p> 0,05)

La producción anual de materia seca está determinada por las condiciones climáticas, época de establecimiento, sistema de siembra y métodos de utilización. En rezago total esta especie logra niveles de rendimiento superiores a 9 ton MS/ha y en situación de extrema utilización de invierno e inicios de primavera, la producción anual se puede reducir a solo 3 ton MS/ha (Tabla 4.24).

Tabla 4.24. Efecto del tipo de uso de la pastura de *Trifolium incarnatum* L. en el rendimiento anual, en el secano mediterráneo de Chile. Traiguén, Región de La Araucanía (Fuente: Demanet *et. al.*, 1989).

Tipo de Uso	Rendimiento (ton MS/ha)	Equivalente fardos de heno (*)
Pastoreo invernal intenso	3,07	144
Pastoreo invernal laxo	6,72	316
Rezago Total	9,18	432

(*): 85% de materia seca. Peso fardo 25 kg.

La utilización mediante pastoreos laxos de invierno favorece la producción anual y primaveral del trébol encarnado. En este periodo la producción de forraje fluctúa entre 800 y 1.200 kg MS/ha y el forraje disponible es de alto valor nutricional, caracterizado por un contenido en proteína superior al 24% y FDN inferior al 38%. Para lograr que la pastura presente un buen aporte de trébol y excelente calidad es fundamental el desarrollo de pastoreos en invierno que permita el consumo y la reducción de la carga de especies residentes habitualmente muy agresivas y que interfieren en el desarrollo del trébol.

En las áreas de siembra de esta especie el objetivo es el uso invernal en pastoreo y la conservación de forraje en primavera como ensilaje, henilaje o heno. La fecha de inicio del rezago para la conservación del forraje define el nivel de rendimiento total del año debido a que más del 80% de la producción anual se produce en el periodo de primavera (Tabla 4.25).

Tabla 4.25. Efecto de la época de utilización en el rendimiento anual de una pastura de *Trifolium incarnatum* L. Traiguén, Región de La Araucanía. (Fuente: Demanet *et. al.*, 1991).

Fecha primer uso	Producción total	Producción de trébol	% Trébol
10-Ago	9,80 a	8,39 a	86
10-Sep	8,58 c	6,04 c	70
15-Sep	6,91 c	6,01 c	87
25-Sep	5,46 b	5,35 b	98
27-Oct	6,74 a	6,74 a	100
07-Nov	9,26 a	6,38 b	69

Medias que no comparten una letra en común en sentido vertical son diferentes según Prueba de Tukey ($p > 0,05$).

La calidad bromatológica del trébol encarnado cambia de acuerdo al estado fenológico de las plantas. En los primeros estadios de crecimiento, las proteínas pueden alcanzar valores cercanos al 30%; sin embargo, cuando la planta es cortada para la conservación de forraje, este valor es inferior al 16% (Tabla 4.26).

Tabla 4.26. Rendimiento, Proteína, Energía Metabolizable, FDN y FDA en 10 Estados Fenológicos de *Trifolium incarnatum* L. Estación Experimental Las Encinas. Universidad de La Frontera, Temuco. Temporada 2002. (Fuente: Romero, 2006).

Estado Fenológico	Rendimiento (ton MS/ha)	Proteína (%)	EM (Mcal/kg)	FDN (%)	FDA (%)
2 hojas	0,5 f	29,66 a	2,93 a	22,20 e	15,59 g
3 hojas	0,8 f	27,71 ab	2,89 a	22,32 e	16,68 g
4 hojas	1,5 f	25,70 bc	2,85 a	24,78 e	17,69 fg
Inicio floración	3,4 e	23,40 c	2,76 a	28,83 d	20,08 f
50% floración	5,4 d	20,38 d	2,52 b	35,71 c	26,59 e
100% floración	7,7 c	16,52 e	2,36 bc	37,60 c	31,04 d
3/4 polinización de la flor	8,2 c	15,99 e	2,15 cd	36,04 c	35,93 c
Inicio formación de semilla	8,7 bc	16,14 e	2,24 cd	36,15 c	34,32 c
Semilla pastosa	10,1 b	13,99 e	1,95 d	47,57 b	42,27 b
Semilla dura	12,5 a	10,19 f	1,60 e	58,32 a	51,59 a

Medias que no comparten una letra en común en sentido vertical son diferentes según Prueba de Tukey ($p > 0,05$).

La reducción del contenido de proteína es aun mayor cuando se asocia con gramíneas de rotación. El valor en el momento de realizar el corte para la conservación del forraje es inferior al 13% (Tabla 4.27).

Tabla 4.27. Reducción del contenido de proteína cruda según estado fenológico de *Trifolium incarnatum* L., establecido solo o en mezcla con *Lolium multiflorum* o *Lolium rigidum*. Traiguén, Región de La Araucanía.

Tratamientos	Vegetativo	Floración	% Reducción
<i>Trifolium incarnatum</i> L. + <i>Lolium multiflorum</i> Lam	18,3	10,9	40
<i>Trifolium incarnatum</i> L. + <i>Lolium rigidum</i>	19,5	12,7	35
<i>Lolium multiflorum</i> Lam	18,8	11,0	41
<i>Lolium rigidum</i>	18,0	12,9	28
<i>Trifolium incarnatum</i> L.	21,5	15,5	28
Promedio	19,2	12,6	34

La relación entre el contenido de proteína, FDN y el rendimiento muestra que esta especie reduce de forma drástica el contenido de proteína e incrementa el porcentaje de FDN a medida que aumenta la acumulación de materia seca (Figura 4.34). Esta disminución porcentual en el valor nutritivo es más rápida que en otras especies de leguminosas debido a que el trébol encarnado en el momento de la maduración presenta una reducida relación hoja:tallo (Iglesias & Gómez Ibarlucea, 1987; Lloveras & Iglesias, 2001).

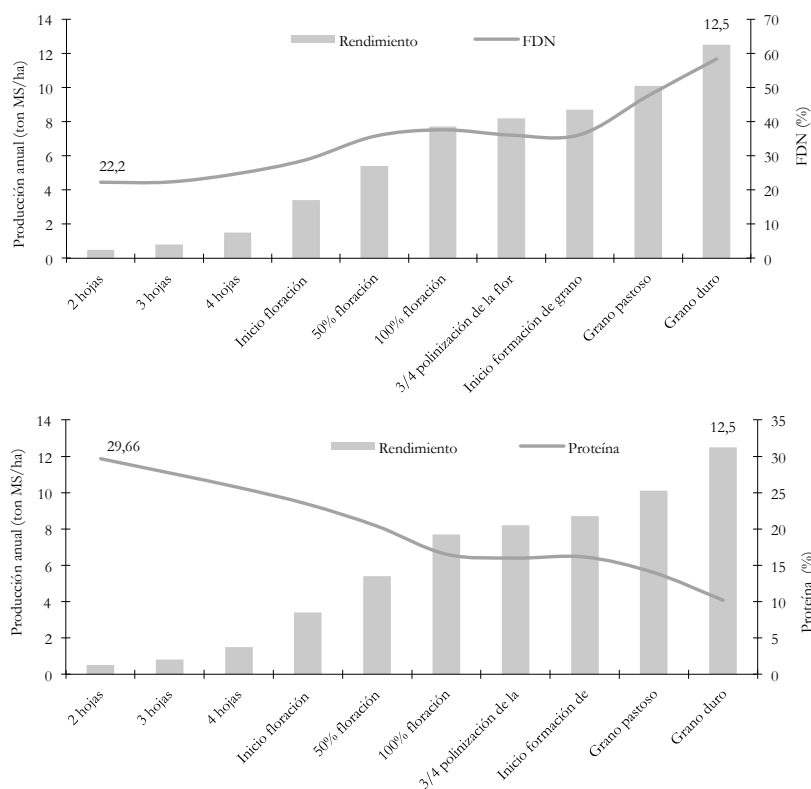


Figura 4.34. Rendimiento (ton MS/ha) y porcentaje de FDN (gráfica superior) y proteína (gráfica inferior) en 10 estados fenológicos de *Trifolium incarnatum* L. Estación Experimental Las Encinas. Universidad de La Frontera, Temuco.

La resiembra natural de *Trifolium incarnatum* L. no es habitual en el sistema productivo de la región de La Araucanía debido a que el forraje es cosechado en el momento de la floración para la producción de heno, ensilaje o henilaje. En aquellas áreas de pastoreo donde no se considera el manejo de corte, la planta se puede resembrar generando un porcentaje superior a 85% de semillas duras que pasan a formar parte del banco de semillas en el suelo. Mediciones realizadas en el secano de transición de mediterráneo a templado en la localidad de Traiguén determinaron que esta pastura es capaz de alcanzar niveles de rendimiento de semilla superiores a 1.100 kg/ha (Demanet *et al.*, 1991).

***Trifolium alexandrinum* L. (trébol alejandrino)**

Especie de la familia Fabaceae, sub-familia Faboideae, tribu Trifolieae, género *Trifolium*. Originaria de Asia menor es una especie de amplia distribución en Egipto, Israel, Italia, Portugal y España. Se estima que su introducción en Chile se realizó a partir de 1950 (Águila, 1997) como una alternativa de leguminosa anual de alto rendimiento para el entonces activo desarrollo lechero de la zona mediterránea en condiciones de riego.

La planta es de crecimiento erecto, con tallos gruesos y succulentos y sus hojas son similares a las de la alfalfa, pero de un color verde más pálido (Figura 4.35). Se establece temprano en verano bajo condiciones de riego y es factible sembrar esta pastura sola o en mezcla con avena o ballica anual. La dosis de semillas es de 25 kg/ha en siembra monofítica y en mezcla con avena la dosis se reduce a 20 kg semilla/ha. Se adapta bien a suelos alcalinos y con buen drenaje y su aptitud principal es el corte para soiling (corte y traslado a sectores de alimentación) o conservación de forraje. En pastoreo solo se utiliza en el periodo de invierno.



Figura 4.35. *Trifolium alexandrinum* L. (trébol alejandrino).

La pastura presenta su crecimiento concentrado en primavera, pero posee un interesante aporte en invierno. En la Región de La Araucanía se evaluó en tres localidades bajo condiciones de secano: Curacautín, en un andisol de precordillera; Traiguén, en un ultisol del área de secano interior y Hualpín en un andisol de lomaje de la costa. Esta medición comparó a *Trifolium alexandrinum* L. con *Trifolium incarnatum* L. El resultado indicó que en los tres sitios estudiados el trébol encarnado tuvo un mejor comportamiento productivo que el trébol alejandrino, además de que este último presentó en el periodo de primavera una profusa presencia de hongos foliares. El área de mejor adaptación de esta especie fue Traiguén, cuyas condiciones climáticas se asemejan al clima mediterráneo (Figura 4.36).

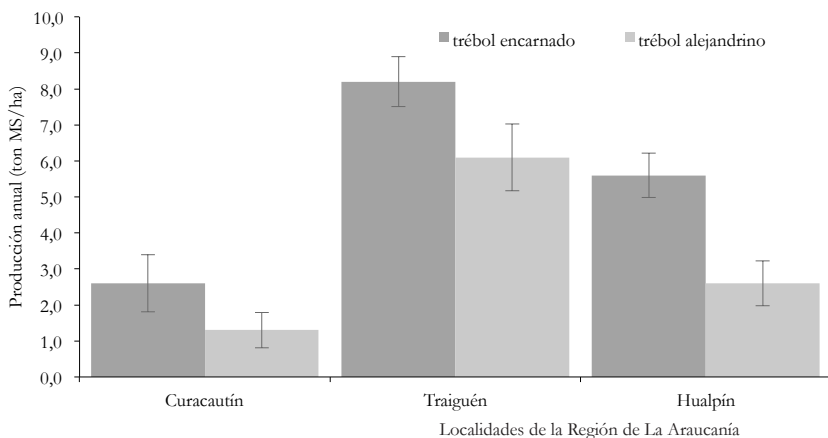


Figura 4.36. Producción de *Trifolium alexandrinum* L. y *Trifolium incarnatum* L. en tres localidades de la zona de transición de mediterránea a templada.
Coeficiente de variación: 7,34%

El rendimiento de esta especie en la Región de La Araucanía se encuentra distante de la producción que obtiene en la zona central mediterránea de riego del país, donde durante el periodo invernal (junio – septiembre) el trébol es capaz de producir 6 ton MS/ha y en el total de la temporada 17,6 ton MS/ha (Ruiz, 1996).

El valor nutritivo del trébol alejandrino se reduce con el avance del estado de madurez de la pastura. En estado vegetativo la planta presenta niveles de proteína entre 22,3 y 25,1% pero en estado de floración el contenido de proteína disminuye a niveles que fluctúan entre el 14,2 y el 16,5%. El forraje posee una buena digestibilidad, independientemente del estado fenológico, y logra en floración valores cercanos al 71%.

Trifolium michelianum Savi. (trébol balansa)

Descrita por el naturalista italiano Gaetano Savi en el año 1798, corresponde a una especie de la familia Fabaceae, sub-familia Faboideae, tribu Trifolieae, género *Trifolium*. Originaria de Turquía es una leguminosa anual que fue introducida en Chile en forma comercial a partir del año 1997 (Ovalle *et al.*, 1997). Se caracteriza por presentar una buena adaptación a suelos húmedos y una alta capacidad de producción de semillas (1.000 kg/ha), de las cuales una proporción entre el 60 y el 80% corresponde a semillas duras (Ovalle *et al.*, 2003).

Esta especie presenta un gran crecimiento en primavera, pero en invierno la producción de forraje es inferior a la registrada por el trébol subterráneo. La alta proporción de semillas duras permite utilizar esta leguminosa en sistemas de rotación de cultivos, debido a que genera un tapiz vegetal denso post cosecha del cereal (Ovalle *et al.*, 2003). Sin embargo, cada cuatro años es necesario dejar que las plantas completen su ciclo productivo, generando así un banco de semillas de alta densidad en el suelo (Monks *et al.*, 2008).

En la zona de transición de mediterránea a templada tiene posibilidades de ubicación como alternativa forrajera sembrada sola o en mezcla con otras leguminosas de origen mediterráneo. La semilla es de tamaño pequeño, tiene un diámetro de 0,5 a 1,2 mm y un peso de 0,314 a 0,933 mg (Avendaño *et al.*, 2005). El número de semillas por gramo es 1.215 y el peso de las 1.000 semillas 0,8 gramos (Ovalle *et al.*, 2005). Esto determina que la dosis de semilla sea entre 6 y 8 kg/ha con el objetivo inicial de lograr una población superior a 400 plantas /ha. En mezcla con otras leguminosas la dosis de semilla se reduce a 4 kg/ha.

El periodo de siembra se extiende desde marzo a mayo en la zona de transición de mediterránea a templada. El establecimiento es lento y sensible al déficit hídrico inicial. La competencia con las especies residentes es el principal obstáculo para lograr una producción de forraje en la primera temporada superior al que proporcionan otras opciones como son el trébol subterráneo y trébol encarnado. La presencia de semillas duras en el banco de semillas del suelo permite en las siguientes temporadas lograr pastizales densos y competitivos.

En áreas mediterráneas de Chile la producción de esta especie se ubica entre las 4 y 6 ton MS/ha (Ovalle *et al.*, 2000). En la Región de La Araucanía mediciones realizadas en tres localidades (Curacautín, Traiguén y Hualpín) demostraron que esta especie registra en el año de establecimiento un rendimiento bajo que aumenta a partir de la segunda temporada (Figura 4.37).

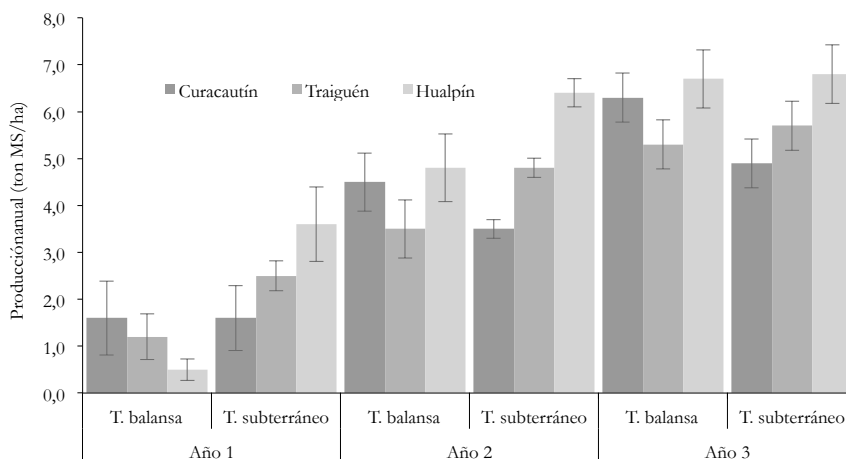


Figura 4.37. Producción de materia seca de *Trifolium michelianum* Savi. comparado con *Trifolium subterraneum* L. en el secano de transición de mediterráneo a templado. Región de La Araucanía, Curacautín, Traiguén y Hualpín.

Coefficiente de variación: 11,48%

La utilización de esta especie en Chile es reducida y se limita al uso en mezcla con otras especies leguminosas mediterráneas. Esta asociación de leguminosas es el resultado de la investigación desarrollada por el Dr. Carlos Ovalle y su grupo en el Centro Regional de Investigación Quilmapu en conjunto con la empresa privada. Los cultivares que se incluyen en estas mezclas son Frontier, Paradana y Bolta (Tabla 4.28).

Tabla 4.28. Mezcla de especies y cultivares de leguminosas de resiembra anual segmentadas de acuerdo a la precipitación.

Mezcla Mediterránea	Trébol subterráneo	Medicago anual	Trébol balansa
400	Nungarin	Santiago	Frontier
	Seaton Park		
500	Seaton Park	Santiago	Paradana
	Campeda		Bolta
	Antas		
	Clare		
600	Gosse	Santiago	Paradana
	Antas		Bolta
	Clare		

Trifolium resupinatum L. (trébol persa)

Especie de la familia Fabaceae, sub familia Faboideae, tribu Trifolieae, género *Trifolium*. La incorporación de esta planta a los programas de investigación y desarrollo se inició en la década de los 90 del siglo pasado con el objetivo de obtener una especie de resiembra anual de mejor comportamiento productivo que el logrado por los cultivares de *Trifolium subterraneum* subsp. *yanninicum* en suelos con anegamiento prolongado en invierno

Tiene buena adaptación a suelos con problemas de inundación temporal, presenta una adecuada capacidad para persistir y diseminarse y constituye una excelente opción para sistemas que combinan la producción de forraje y de cereales de grano pequeño (Evans, 1993; Ovalle *et al.*, 1997).

La semilla, de tamaño pequeño, tiene un diámetro de 0,5 a 1,2 mm y peso de 0,314 a 0,933 mg. La producción en sistemas pastoriles puede alcanzar los 1.000 kg semilla/ha, con un 60 a 80% de semillas duras, atributo favorable para su perennidad en sistemas de producción ganaderos y de combinación con cereales (Mitchell & Cooper, 1989).

La pastura presenta un gran crecimiento en primavera, superior al de muchas otras opciones de tréboles de resiembra anual, pero su crecimiento invernal es inferior al logrado por el trébol subterráneo (Mitchell & Cooper, 1989). La producción de materia seca en suelos rojo-arcillosos de la zona mediterránea fluctúa entre 4,5 y 6 ton MS/ha (Ovalle *et al.*, 2000).

En la zona templada y de transición de mediterránea a templada la producción lograda en evaluaciones realizadas en tres localidades no superaron las 2 ton MS/ha en la primera temporada. A partir de la segunda temporada, debido a la excelente resiembra, la pastura superó las 4 ton MS/ha y en la tercera temporada el rendimiento alcanzó un nivel máximo de 7,9 ton MS/ha. El mal comportamiento de este trébol en la localidad de Curacautín estuvo relacionado con la competitividad de las especies residentes, que impidió el desarrollo de las plantas al inicio de cada temporada (Figura 4.38).

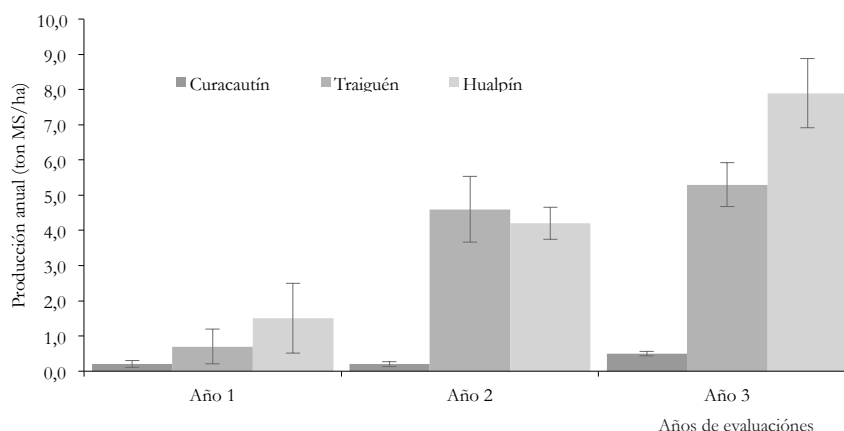


Figura 4.38. Producción de *Trifolium resupinatum* L. en tres localidades de la zona de transición de mediterránea a templada. Curacautín, Traiguén y Hualpín.
Coeficiente de variación: 9,99%

***Trifolium vesiculosum* Savi (trébol vesiculoso o trébol flecha)**

Especie leguminosa de resiembra anual de la familia Fabaceae, sub familia Faboideae, tribu Trifolieae, género *Trifolium*. Es originaria de la península de Los Balcanes y se encuentra distribuida en Europa, Asia occidental y Oceanía. A partir de 1990 se iniciaron en Chile evaluaciones de esta especie en algunas estaciones experimentales de la zona mediterránea húmeda y templada. En 1997 se importaron algunos materiales para ser comercializados en mezcla con otras especies mediterráneas de resiembra anual.

Se caracteriza por presentar una raíz pivotante que puede alcanzar una profundidad de 1,5 metros, lo que le permite captar agua en profundidad y así soportar periodos extensos de déficit hídrico. La arquitectura de la raíz es diferente a la de otras leguminosas mediterráneas dado que presenta una extensión al menos un 20% superior a la alcanzada por *Trifolium subterraneum* L. (Loi *et al.*, 2005).

La planta tiene una arquitectura semi erecta con hojas trifoliadas en forma de flecha con una marca de color blanco en forma de V. Las flores son de color blanco a blanco violáceo (Figura 4.39). La polinización es entomófila y se extiende durante al menos 45 días. Los cultivares evaluados en Chile son de floración tardía (150 días) (Reed, 1999; Bustos, 2002; Ovalle *et al.*, 2003)



Figura 4.39. *Trifolium vesiculosum* Savi (trébol vesiculoso o trébol flecha).

Se adapta a diversos de tipos de suelos, pero su mejor desarrollo se obtiene en suelos con pH 6 a 7, sin problemas de drenaje y salinidad edáfica (Gibberd *et al.*, 2001; Rogers *et al.*, 1997; Caddel & Redmon, 1995). Existen algunos cultivares que son capaces de soportar pHs hasta de 4,5 (Snowball *et al.*, 2005).

Las semillas pueden ser de color marrón, amarillas o verdes (Ovalle *et al.*, 1997; Ovalle *et al.*, 2010). A diferencia de otros tréboles anuales *Trifolium vesiculosum* Savi no se desgrana una vez finalizado el proceso de maduración lo que permite desarrollar una cosecha mecanizada de alta eficiencia (Evans, 2006). Estas pueden alcanzar un 99% de semillas duras cifra que dificulta el desarrollo inicial de pasturas monofíticas. La semilla es de un tamaño mayor al de otras leguminosas forrajeras de resiembra anual. El número de semillas por gramo es de, aproximadamente 700, el peso de 1.000 semillas 1,4 gramos, que equivale a unas 714.285 semillas/kilo (Ovalle *et al.*, 2005). Estos valores determinan una dosis de semillas de 16 kg/ha, con la que se pretende alcanzar una población inicial de, al menos, 200 plantas/m². En siembras asociadas la dosis se reduce a 8 kg/ha.

Los nuevos cultivares de *Trifolium vesiculosum* Savi han ocupado algunos sitios reservados tradicionalmente al trébol subterráneo y trébol encarnado. Se utiliza como especie forrajera de uso invernal y primaveral y también como cultivo de cobertera en áreas destinadas a la producción de cereales (Snowball *et al.*, 2005).

En el área de adaptación de Australia esta especie ha logrado un rendimiento superior a 10 ton MS/ha (Ovalle *et al.*, 2005). En Chile las mediciones realizadas en la zona mediterránea húmeda han demostrado que presenta una marcada estacionalidad, concentrando casi el 85% de su producción en primavera. El rendimiento se estabiliza a partir del tercer año debido a que la dureza seminal impide alcanzar grandes poblaciones de plantas en los dos primeros años. En comparación con otras opciones de leguminosas, Ovalle *et al.* (2005) indican que su producción en la tercera temporada es similar a *Ornithopus compressus* L., pero superior a *Trifolium subterraneum* L., *Ornithopus sativus* Brot., *Trifolium resupinatum* L. y *Trifolium michelianum* Savi (Figura 4.40). Estos autores constataron que en condiciones del secano mediterráneo húmedo las plantas presentaron tolerancia a las heladas y alta capacidad de nodulación.

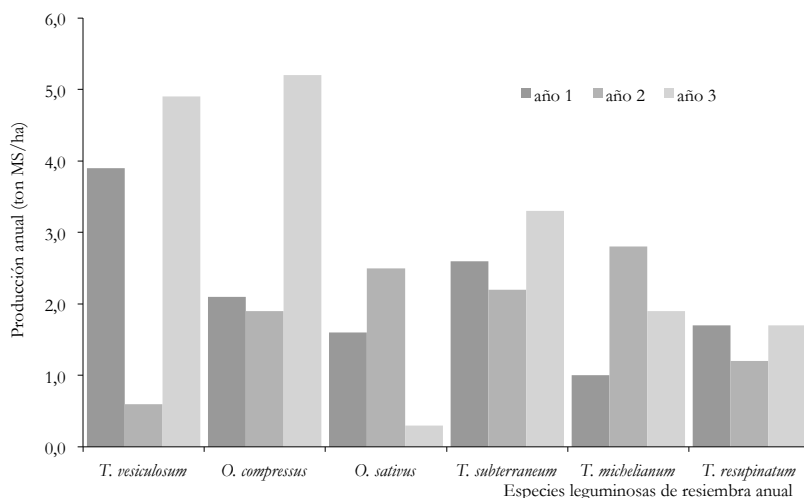


Figura 4.40. Producción de seis especies de leguminosas de resiembra anual en el secano mediterráneo húmedo de Chile (Fuente: adaptado de Ovalle *et al.*, 2005).

En mediciones realizadas en la misma zona, Hahn (2007) logró obtener un rendimiento superior a 8 ton MS/ha significativamente mayor al alcanzado por *Trifolium subterraneum* L. y *Trifolium incarnatum* L.

La evaluación de esta especie en el secano de transición de mediterráneo a templado mostró que presenta un buen comportamiento productivo a partir del tercer año post siembra (Figura 4.41), pero no superior a otras opciones como *Trifolium michelianum* Savi. y *Trifolium resupinatum* L.

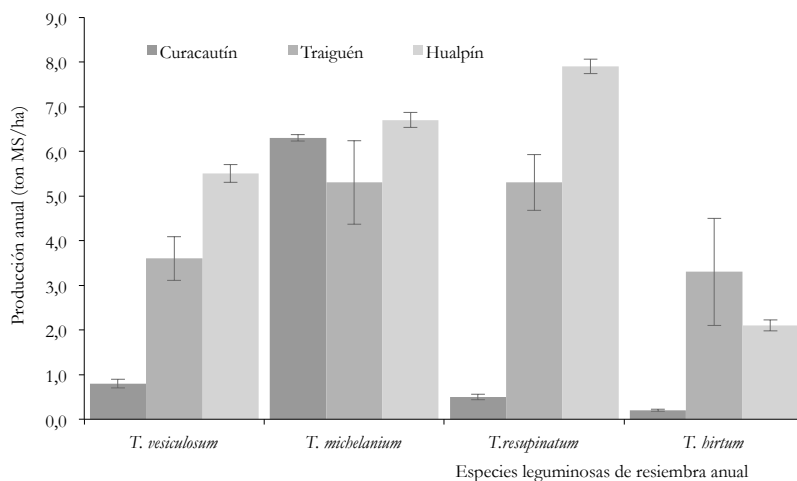


Figura 4.41. Producción de cuatro especies de leguminosas anuales de resiembra en el secano mediterráneo de transición a templado. Curacautín, Traiguén y Hualpín. Región de La Araucanía. Coeficiente de variación: 8,11%

Para lograr una prolongada persistencia de esta pastura es necesario considerar el manejo de pastoreo y corte que se realiza en el periodo de producción de semilla en primavera. En la primera temporada el forraje no debe ser consumido durante el crecimiento activo, sino hasta que las plantas hayan producido semillas y estas se encuentren absolutamente maduras. Los animales deben consumir todo el forraje producido junto a las semillas, que en su mayoría no se afectaran por el paso a través de las vías digestivas debido a que un alto porcentaje de ellas sobrevive y escarifica. En las temporadas siguientes las pasturas pueden ser utilizadas durante el periodo de invierno y primavera, dejando rezagada la pastura solo para producir semillas y así incrementar el banco de las mismas en el suelo. El mantenimiento del equilibrio entre el consumo de forraje y la producción de semillas será la base del éxito de la longevidad y productividad de esta pastura.

El uso de *Trifolium vesiculosum* Savi en conservación de forraje (heno, ensilaje o henilaje) constituye una alternativa en los sistemas ganaderos dado que proporciona un forraje de alto valor nutritivo. Sin embargo, este proceso debe ser compatible con la producción de semilla lo que impide hacer esta labor en los primeros años de establecimiento y consolidación de la pastura. A partir de la tercera temporada es factible desarrollar este proceso intercalando años para mantener el banco de semillas en el suelo.

El valor nutritivo de esta especie es similar al de otras leguminosas anuales de resiembra. Posee alta palatabilidad y el contenido de proteína cruda varía entre el 29,9 y el 15,6% (Tekeli *et al.*, 2005; Snowball *et al.*, 2005). En floración el contenido de proteína cruda es 22,3%, de FDA 22% y de energía metabolizable de 2,4 Mcal/kg (Hahn, 2007)

***Trifolium hirtum* All.**

Especie perteneciente a la familia Fabaceae, sub familia Faboideae, tribu Trifolieae, género *Trifolium* es originaria del área mediterránea y Asia menor y su desarrollo como pastura se produjo en California (USA) y Australia. En Chile esta especie se encuentra naturalizada en la zona mediterránea y templada, formando parte del escaso grupo de leguminosas ubicados en los pastizales degradados.

Presenta atributos como tolerancia a una amplia gama de pHs del suelo, así como a la sequía estival y primaveral. El establecimiento de esta especie en otoño es lento y durante el primer periodo de fructificación no debe ser pastoreada para permitir la resiembra natural de sus semillas, que en su mayoría son duras. En la segunda temporada existe una emergencia muy superior al año de establecimiento debido a que el 50% de las semillas logran ablandarse durante el verano (Muslera & Ratera, 1991).

Desde el punto de vista forrajero esta especie no ha recibido la importancia que se le ha otorgado en procesos de conservación de suelos en países como Estados Unidos y Australia. Esta incluida de forma frecuente en las mezclas utilizadas en el control de erosión de taludes de carreteras en California y en espacios públicos de alto riesgo de movimiento de suelos.

En el mundo existe una amplia oferta de cultivares de *Trifolium hirtum* All. que no ha permeado hacia Chile. A partir de una colecta realizada en la localidad de Traiguén en el año 1990 se evaluó el comportamiento productivo de esta especie en condiciones de secano en tres localidades de la zona de transición de mediterránea a templada (Figura 4.42).

Los resultados mostraron que esta especie posee una mejor adaptación a las condiciones mediterráneas, donde el periodo de déficit hídrico es superior a cinco meses (Traiguén), que a las áreas donde el componente templado es más evidente, como es la precordillera de Curacautín y el sector costero de Hualpín.

Esta especie puede tener un papel no explorado en Chile como es el control de la erosión en áreas devastadas por acción antrópica, como son taludes de caminos y suelos degradados por labores forestales e intervenciones urbanas. Este planteamiento se basa en la buena adaptación de esta especie a suelos de baja fertilidad.

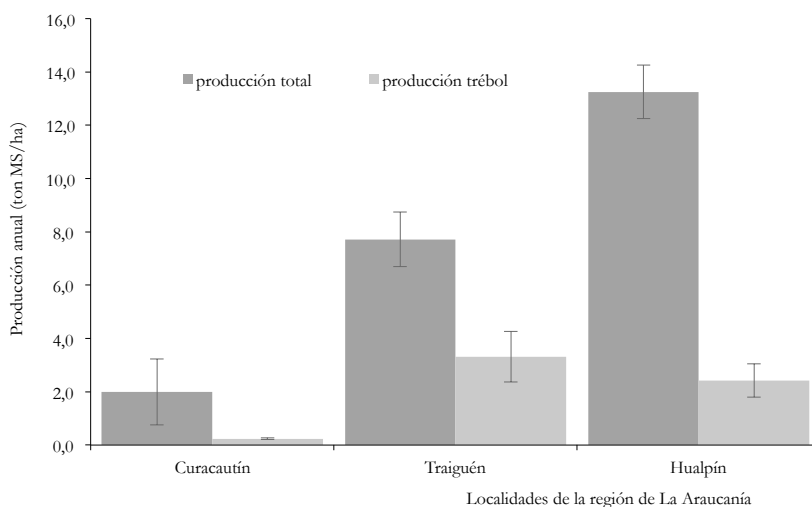


Figura 4.42. Producción de *Trifolium hirtum* All. en el secano de transición de mediterráneo a templado. Región de La Araucanía. Promedio de tres temporadas. Coeficiente de variación: 4,22%

Trifolium fragiferum L. (trébol frutilla)

Pertenece a la familia Fabaceae, sub familia Faboideae, tribu Trifolieae, género *Trifolium*. Leguminosa perenne de características similares a *Trifolium repens* L. cuya presencia en la zona templada es limitada debido a la baja tolerancia que presenta a condiciones de acidez de los suelos (Figura 4.43). Su origen es la cuenca del mediterráneo y países de Asia menor. En Europa se encuentra naturalizada en zonas pantanosas, en suelos con alta concentración de sales. A Estados Unidos llegó en 1878 y se cree que desde ahí fue introducido en Chile en la década de los 50 del siglo XX, siendo evaluado en estaciones experimentales de la zona central (Águila, 1997).



Figura 4.43. *Trifolium fragiferum* L. (trébol frutilla)

De habito de crecimiento rastrero y raíz principal profundizadora, es una especie de mayor tolerancia a la sequía que el trébol blanco. Las hojas son trifoliadas con folíolos estrechos y nervaduras que se ubican en ángulo recto a los bordes. Posee pubescencia sólo en los pecíolos de las hojas, lo que es un elemento diferenciador con respecto al trébol blanco. Las flores corresponden a un capitulo globular de color rojo pálido por el cual recibe el nombre. La semilla es de forma acorazonada, de 2 mm y ligera (1.150.000 semillas/kg).

La característica principal de esta planta es su tolerancia al exceso de humedad. Es adecuada para su establecimiento en suelos con mal drenaje y puede soportar la inmersión total durante un periodo máximo de tres meses (Muslera & Ratera, 1991). Su mejor ubicación y establecimiento se produce en suelos alcalinos, pero es capaz de soportar un amplio rango de pH desde 5,5 a 9. Es tolerante a las condiciones de salinidad y en áreas de baja pluviometría (< 800 mm) es necesaria la aplicación de riego en el periodo de primavera – verano.

El objetivo principal de esta pastura es el pastoreo intenso en suelos alcalinos, con problemas de drenajes e inundación eventual, atributos que la convierten en una excelente asociación con *Festuca arundinacea* Schreber. Sembrada en pasturas monofíticas esta especie requiere una dosis de semillas de 5 kg/ha y en mezcla con festuca la dosis se reduce a 3 kg/ha, junto a 18 kg de semilla de festuca/ha.

En Chile se han introducido diversos cultivares de *Trifolium fragiferum* L., la mayoría procedentes de Australia, entre los cuales se encuentran Pastestine, O’Connors y Shearmans. Estas introducciones no tuvieron éxito debido a que ingresaron en el país en el momento en que la ganadería intensiva del área de riego de suelos alcalinos de la zona mediterránea central se redujo de forma abrupta y fue reemplazada por sistemas frutícolas de amplio desarrollo en dicha área. Hoy esta especie es incluida en mezclas de césped debido a su capacidad de mantenerse verde en verano bajo condiciones de riego. Su uso actual es profuso en césped utilizado en plazas, campos de recreación y cementerios.

Algunas mediciones realizadas en la zona mediterránea en suelos de pH básico, han demostrado que esta especie logra una producción anual superior a 5 ton MS/ha y que se incrementa hasta valores superiores a 8 ton MS/ha cuando se establece en asociación con *Festuca arundinacea* Schreber (López, 1988).

Bibliografía

- Acuña, H. 1998. Comparación de variedades de tres especies del género *Lotus* (*L. corniculatus* L., *L. uliginosus* Cav. y *L. tenuis* Wald et Kit.) en suelos de aptitud arrocera. *Agricultura Técnica (Chile)* 58:7-14.
- Acuña, H.; Concha, A. & Figueroa, M., 2008. Condensed tannin concentrations of three *Lotus* species grown in different environments. *Chilean Journal of Agricultural Research* 68(1):31-41.
- Acuña, H.; Soto, P. & Melin, P., 1984. Método para estimar el crecimiento de praderas de secano por medio de cortes en ausencia de pastoreo. *Agricultura Técnica (Chile)* 44(4):325-333.
- Acuña, P.H. & Cuevas, C.G., 1999. Efecto de la altura y frecuencia de la defoliación, bajo corte y pastoreo, en el crecimiento y productividad de tres especies del género *Lotus* en suelos arcillosos. *Agricultura Técnica (Chile)* 59(4): 296-308.
- Acuña, P.H., 1994. Las loteras. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación, Quilamapu. Serie Quilamapu N° 57. Chillan, Chile, 11p.
- Águila, C.H., 1997. Pastos y Empastadas. Editorial Universitaria. Octava Edición. Santiago, Chile. 314p.
- Akin D. & Robinson E.L., 1982. Structure of leaves and stems of arrowleaf and crimson clovers as related to in vitro digestibility. *Crop Science*, 22: 24-29.
- Anrique, G.R.; Molina, S.X.; Alfaro, M. & Saldaña, P.R., 2014. Composición de alimentos para el ganado bovino. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Austral de Chile. INIA. Imprenta América Ltda. Valdivia, Chile. 91 p.
- Armstrong, C.S., 1974. Grasslands Maku tetraploid *lotus* (*Lotus pedunculatus* Cav.). *New Zealand Journal of Experimental Agriculture* 2:333-336.
- Ates, S., 2009. Grazing management of subterranean clover (*Trifolium subterraneum* L.) in South Island (New Zealand). PhD thesis, Lincoln University, Canterbury. New Zealand. 189 pp.
- Ates, S.; Lucas, R. J. & Edwards, G. R., 2013. Effect of stocking rate and closing date on subterranean clover populations and dry matter production in dryland sheep pastures. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 56: 22-36.
- Avendaño R., Julia; Ovalle M. Carlos; del Pozo L., Alejandro; Fernández E., Fernando & Porqueddu, Claudio. 2005. Subterranean Clover Mixtures with other Annual Legumes for Granitic Soils of the Subhumid Mediterranean Dryland Zone of Chile. *Agricultura Técnica (Chile)* 65(2): 165-176.
- Balocchi, O.; Lopez, I. y Pfister, M. 1999. Características físicas y germinativas de la semilla de especies pratenses nativas y naturalizadas del dominio húmedo de Chile: *Anthoxanthum odoratum*, *Holcus lanatus*, *Poa pratensis* y *Lotus uliginosus*. *Agro Sur (Chile)* 27 (2): 37-47.
- Barr, S., 1996. A farmer’s experience with high N fertilizer inputs on grass/clover pasture. White Clover: New Zealand’s Competitive Edge. Agronomy Society of New Zealand Special Publication 11/New Zealand Grassland Association, Grassland Research and practice Series 6:103-106.
- Barrientos, L.; Higuera, M.; Acuña, H.; Guerrero, J.; Ortega, F. & Seguel, I. 2002. Efectividad simbiótica de cepas naturalizadas de *Mesorhizobium loti* y *Bradyrhizobium* sp. (*Lotus*) en plantas de tres especies del género *Lotus*. *Agricultura Técnica (Chile)* 2(2): 212-255.
- Bäurle, I. & Dean, C., 2006. The timing of developmental transitions in plants. *Cell* 125: 655-664.
- Bolland, M.D.A. & Gladstones, J.S., 1987. Serradella (*Ornithopus* spp.) as a pasture legume. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 53:5-10.
- Bolland, M.D.A. & Paynter, B.H., 1992. Comparative responses of annual pasture legume species to superphosphate applications in medium and high rainfall areas of Western Australia. *Fertilizer Research* 31:21-33.

- Bolland, M.D.A. & Paynter, B.H., 1994. Critical phosphorus concentrations for burr medic, yellow serradella, subterranean clover, and wheat. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 25:385-394.
- Bolland, M.D.A. 1991. Response of defoliated swards of subterranean clover and yellow serradella to superphosphate applications. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 31:777-783.
- Bolland, M.D.A., 1985. Serradella (*Ornithopus* sp.): maturity range and hard seed studies of some strains of five species. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 25:580-587.
- Bolton, J. L., 1962. Alfalfa. Botany cultivation and utilization. Leonard Hill [Books] Ltd., London: and Interscience Publishers, Inc, New York, USA. 474 p.
- Bowman, A., Hebb, D., Munnich, D., Rummary G. & Brockwell, J., 1995. Field persistence of *Bradyrhizobium* sp. (Lupinus) inoculant for serradella (*Ornithopus compressus* L.). *Australian Journal of Experimental Agriculture* 35:357-365.
- Brock J.L., Caradus, J.R. & Hay, M.J.M. 1989. Fifty years of white clover research in New Zealand. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association* 50: 25-39.
- Brougham, R.W. 1960. The effect of frequent hard grazing at different times of the year on the productivity and species yield of a grass-clover pasture. *NZ journal 01 agricultural research* 3: 125-36.
- Brougham, R.W.; Ball, P.R.; Williams, W.M., 1976. The ecology and management of white clover based pasture. In: Wilson, J.R. (ed.). Plant relations in pastures. CSIRO. Canberra, Australia: 309-324.
- Brouwer, D.J.; Duke, S.H. & Osborn T.C., 2000. Mapping genetic factors associated with winter hardiness, fall growth, and freezing injury in autotetraploid alfalfa. *Crop Science* 40:1387-1396.
- Brown, L.G.; Hoveland, C.S. & Karnok, K.K., 1990. Harvest management effects on alfalfa yield and root carbohydrates in three Georgia environments. *Agronomy Journal* 82:267-273.
- Brummer, E.C.; Moore, K.J. & Bjork, N.C., 2002. Agronomic consequences of dormant-nondormant alfalfa mixtures. *Agronomy Journal* 94:782-785.
- Buddenhagen, L.W., 1990. Legumes in farming systems in Mediterranean climates. In: Osman, A.E.; Ibrahim, M.H. & Jones, M.A. (Eds) . The role of legumes in the farming systems of the Mediterranean areas. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Holland. pp: 3-29.
- Bulot S., 1991. Les légumineuses secondaires ont des atouts a valoriser. *Semences et Progres* 69: 9-15.
- Bustos, P., 2002. Caracterización fenológica y agronómica de una colección de leguminosas forrajeras anuales para la zona mediterránea subhúmeda y húmeda de Chile. Tesis para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía, Universidad Adventista de Chile, Chillán, Chile. 70 p.
- Caddel J., & Redmon, L., 1995. Arrowleaf clover. Forage crops - Production technology. Oklahoma State University Vol. 7. N° 13. Oklahoma, USA. 5p.
- Carrillo, R. & Mundaca, N., 1974. Biología de *Hylastinus obscurus* Marsham; Coleoptera Scolytidae. *Agricultura Técnica (Chile)* 34(1): 29 -35.
- Carter, E. B.; Theodorou, M. K. & Morris P., 1997. Responses of *Lotus corniculatus* to environmental change I. Effects of elevated CO₂, temperature and drought on growth and plant development. *New Phytologist Journal* 136: 245-253.
- Chapman, D. F.; Sheath, G. W.; Macfarlane, M. J.; Rumball, P. J.; Cooper, B. M.; Crouchley, G. & Widdup, K. H., 1986. Performance of subterranean and white clover varieties in dry hill country. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association*, 47: 53-62.
- Chavarría, J., Klee, G., Ovalle, C. & Caro, N., 2000. Serradela: una especie forrajera anual para suelos ácidos de baja fertilidad. Informativo Agropecuario BIOLECHE – INIA Quilamapu 13(2):50-52.
- Cisternas, A.E. & Norambuena M.H., 1991. Plagas insectiles. En Torres, B.A. & Dumont, L.J.C. (ed). Producción y utilización de trébol rosado (*Trifolium pratense* L.). Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Estación Experimental Remehue. Serie Remehue N° 13. Osorno, Chile. pp: 35 – 44.
- Clark, D.A., Causley, D.C., Brougham, R.W. 1979. Nitrogen fixation in pasture VI. Manawatu Plains Kairanga. *New Zealand Journal of Experimental Agriculture* 7: 23-25.
- Coblentz, W.K.; G.E. Brink; N.P. Martin & D.J. Undersander, 2008. Harvest timing effects on estimates of rumen degradable protein from alfalfa forages. *Crop Science*. 48:778-788.
- Collins, W., Rhodes, I., Rossiter, R. & Palmer, M. 1983. The effect of defoliation on seed yield of two strains of subterranean clover grown in monocultures and in binary mixtures. *Australian Journal of Agricultural Research*, 34: 671-679.
- Conlan, D.J.; Dear, B.S. & Coombes N.E. 1994. Effect of grazing intensity and number of grazing on herbage production and seed yields of *Trifolium subterraneum*, *Medicago murex*, and *Ornithopus compressus*. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 34: 181-188.
- Cunningham, S.M.; Volenec, J.J. & Teuber, L.R., 1998. Plant survival and root and bud composition of alfalfa populations selected for contrasting fall dormancy. *Crop Science* 38: 962-969.
- Del Pozo, A & Ovalle, C., 2009. Productivity and persistence of yellow serradella (*Ornithopus compressus* L.) and biserrula (*Biserrula pelecinus* L.) in the mediterranean climate region of central Chile. *Chilean Journal of Agricultural Research* 69(3):340-349.
- Del Pozo, A., Ovalle, C. & Avendaño J., 1989. Los *Medicagos* anuales. I. Distribución y abundancia en Chile y Australia. *Agricultura Técnica (Chile)* 49:260-267.
- Del Pozo, L.A.; Ovalle, M.C.; Avendaño, R.J.; Aravena, T. & Díaz, M.E., 2001. Combarbalá-INIA, un cultivar precoz de hualputra (*Medicago polymorpha* L.) para áreas de secano mediterráneo. *Agricultura Técnica (Chile)* 61(1): 13-16.
- Demagnet, F.R. & García, D.J.C., 1992. Trébol encarnado. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Estación Experimental Carillanca. Serie Carillanca N° 26. Temuco, Chile. 3 p.
- Demagnet, F.R. 2009. Praderas y Pasturas para Producción de Carne. En AASA (ed). Manual del Ganadero AASA. Plan de desarrollo de Empresas AASA. Santiago, Chile. pp: 112 – 137.

- Demanet, F.R. 2014. Manual de especies forrajeras. Plan Lechero Watt's. CORFO, Universidad de La Frontera. Imprenta América, Valdivia, Chile. 163 p.
- Demanet, F.R., 1992. Asociación trébol encarnado – trébol subterráneo. Investigación y Progreso Agropecuario, Carillanca. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Temuco, Chile. 11(1): 29-31.
- Demanet, F.R.; Contreras, D.R. & García, D.J.C., 1991. Trébol encarnado: Normas técnicas para mejorar la productividad. Investigación y Progreso Agropecuario, Carillanca. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Temuco, Chile. 10(1): 3-6.
- Demanet, F.R.; Contreras, D.R.; Koeblich, A. & García D.J.C., 1989. El trébol encarnado en el secano interior. Investigación y Progreso Agropecuario, Carillanca. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Temuco, Chile. 8(1): 24-26.
- Demanet, F.R.; Santander, E.J.; Contreras, D.R. & García, D.J.C., 1991. Producción de semilla de trébol encarnado. Investigación y Progreso Agropecuario, Carillanca. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Temuco, Chile. 10(2): 31 - 35.
- Doole, G.J.; Graeme J.; Pannell, D.J. & Revell, C.K., 2009. Economic contribution of French serradella (*Ornithopus sativus* Brot.) pasture to integrated weed management in Western Australian mixed-farming systems: an application of compressed annealing. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics* 53: 193–212.
- Dornbos, D.L.; Spencer, G.F. & Miller, R.W., 1990. Medicago delays alfalfa seed germination and seedling growth. *Crop Science* 30: 162-166.
- Duke, J.A. 1981 a. Handbook of legumes of world economic importance. Plenum Press, New York, USA, 345 p.
- Duke, J.A. 1981 b. *Trifolium incarnatum* L. In: Duke J.A. (ed.) Handbook of Legumes of World Economic Importance, Plenum Press. New York, USA. pp: 245-248
- Echeverría, D.D.; Wernli, K.C. & Cosio, G.F., 1986. Características nutricionales de una pradera naturalizada de lotera de hoja angosta (*Lotus tenuis* Wald et Kit). II Variación en la calidad de las plantas en el tiempo. *Agricultura Técnica (Chile)* 46(3): 245-252
- Evans, P. 2006. Arrowleaf clover. Agriculture Notes. State of Victoria, Department of Primary Industries. Victoria, Australia. 2 p
- Evans, P., 1993. Balansa and Persian clovers can help transform wastelands. Western Focus. Department of Agriculture, Western Australia, Australia. 2 p.
- Evans, P., R. Lawn, and A. Watkinson. 1992. Use of linear models to predict the date of flowering in cultivars of subterranean clover (*Trifolium subterraneum* L.). *Australian Journal of Agriculture Research* 43:1547-1558.
- Ewing, M. & Howieson, J., 1989. The development of Medicago polymorpha L. as an important pasture species for southern Australia. Proceeding of the 16th International Grassland Congress, Nice, France. pp: 197-198.
- Feltner, K.C. & M.A. Massengale, 1965. Influence of temperature and harvest management on growth, level of carbohydrates in the roots and survival of alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Crop Science* 5:585–588.
- Frame, J.; Charlton, J.F.L. & Laidlaw, 1998. Temperate forage legume. Cab International. Wallingford, Oxfordshire. United Kingdom. 327 p.
- Francis, C. & Gladstones, J., 1974. Relationships among rate and duration of flowering and seed yield components in subterranean clover (*Trifolium subterraneum*). *Australian Journal of Agricultural Research* 25: 435-442.
- Francis, C.M.; Quinlivan, B.J. & Nicol, H.L., 1972. Genotypic variation in burburial techniques in subterranean clover. *Australian Agriculture Research* 23:605-610.
- Freebairn, R.D. 1994. Serradella: an advisory perspective. Technical Report N° 219. In Michalk, D., Craig, A. & Collins, B.(eds.). Primary Industries South Australia, Australia. pp: 61-65.
- Fu, S.M., Hampton, J.G., Hill, M.J. & Hill, K.A. 1996. Breaking hard seed of yellow and slender serradella (*Ornithopus compressus* and *O. pinnatus*) by sulphuric acid scarification. *Seed Science and Technology* 24:1-6.
- Fukai, S. & Silsbury, J., 1976. Responses of subterranean clover communities to temperature. I. Dry matter production and plant morphogenesis. *Functional Plant Biology*. 3: 527-543.
- Gabrielsen, B.C.; D.H. Smith & C.E. Townsend, 1985. Cicer milkvetch and alfalfa as influenced by two cutting schedules. *Agronomy Journal* 77:416–422.
- Galdames G.R. & France, I.A., 1996. Enfermedades en praderas. En: Ruíz, I (ed). Praderas para Chile. Instituto de investigaciones agropecuarias (INIA). Santiago, Chile. pp: 267 – 285.
- Galdames, G.R., 1991. Enfermedades fungosas. En Torres, B.A. & Dumont, L.J.C. (ed). Producción y utilización de trébol rosado (*Trifolium pratense* L.). Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Estación Experimental Remehue. Serie Remehue N° 13. Osorno, Chile. pp: 45 – 51.
- Ghamkhar, K., Nichols, P., Erskine, W., Snowball, R., Murillo, M., Appels, R. & Ryan, M.H. 2015. Hotspots and gaps in the world collection of subterranean clover (*Trifolium subterraneum* L.). *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 153: 1069-1083.
- Gibberd, M.; Gray, J.; Cocks, P. & Colmer, T., 2001. Waterlogging tolerance among a diverse range of Trifolium accessions is related to root porosity, lateral root formation and 'aerotropic rooting'. *Annals of Botany* 88:579-589.
- Gladstones, J. S. & Collins, W. J., 1983. Subterranean clover as a naturalized plant in Australia. *Journal of the Australian Institute of Agricultural Science*, 49: 191–202.
- Gladstones, J.S. & McKeown, N.R., 1977. Serradella a pasture legume for sandy soils. *Journal of Agriculture (West Australia)* 18 (1): 11-14.
- Hahn, C., 2007. Desarrollo de mezclas forrajeras para el mejoramiento de la productividad y persistencia de las praderas en áreas de precordillera andina de la zona Centro Sur de Chile. Tesis para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Adventista de Chile, Chillán, Chile. 51 p.
- Harris, S.L., Clark, D.A., Auld, M.J., Waugh, C.D., Laboyrie, P.G. 1997. Optimum white clover for dairy pasture. *Proceeding of New Zealand Grassland Association* 59:29-33.
- Hartley, E., Gemella, L.G. & Herridge, D.F., 2004. Lime pelleting inoculated serradella (*Ornithopus spp.*) increases nodulation and yield. *Soil Biology & Biochemistry* 36: 1289–1294.

- Hintz, R.W. & K.A. Albrecht, 1991. Prediction of alfalfa chemical composition from maturity and plant morphology. *Crop Science*. 31:1561–1565.
- Hyslop, M.G., Fraser, T.J., Smith D.R., Knight, T.L., Slay, M.W.A., Moffat, C.A., 2000. Live weight gains of young sheep grazing tall fescue or perennial ryegrass swards of different white clover content. *Proceeding of the New Zealand Society of Animal Production*. 60:51-54.
- Iglesias, D.M.I. & Gómez Ibarlucea, S.C., 1987. Producción y valor nutritivo del trébol encarnado (*Trifolium incarnatum* L.) en Galicia. *Pastos* 17 (1-2): 97 - 103
- Jara, G., 1984. Comportamiento de especies forrajeras pastoreadas con ovinos en condiciones de alta fertilidad. Tesis de pre grado para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 84p.
- Knight, W. E., Hagedorn, C., Watson, V. H. & Friesner, D. L., 1982. Subterranean clover in the United States. *Advances in Agronomy*, 35: 165–191.
- Knight, W.E. & Hollowell, E.A., 1973. Crimson clover. *Advances in Agronomy*, 25: 48-76.
- Knight, W.E. & Hoveland, C.S., 1985. Arrowleaf, crimson and other anual clovers. In: Heath, M; Barnes, R. & Matcafe, D. (eds.) Forage, the science of grassland agricultura. pp: 136-145.
- Langer, R.H.M. 1994. Pasture their ecology and management. Oxford University Press. Auckland, New Zealand. 499 p.
- Langer, R.H.M., 1990. Pastures: Their Ecology and Management. Oxford University Press, Auckland, New Zealand. pp. 54–55.
- Lincoln University, 2006. Guide for subterranean clover identification and use in New Zealand, Project Number: 408090. Optimization of subterranean clover for dryland pastures in New Zealand. Sustainable Farming Fund 2015-2016. First Edition. Canterbury. New Zealand. 38p.
- Lloveras, J., 1987. Traditional cropping systems in north-western Spain (Galicia). *Agricultural Systems* 23: 259-275.
- Lloveras, J.; Iglesias, I., 2001. Morphological development and forage quality changes in crimson clover. *Grass Forage Science*. 56: 395-404
- Loi, A., Cocks, P.S., Howieson, J.G. & Carr, S.J., 1999. Hardseedness and the pattern of softening in *Biserrula pelecinus* L., *Ornithopus compressus* L., and *Trifolium subterraneum* L. seeds. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 50:1073-1081.
- Loi, A.; Howieson, J.G.; Nutt, B.J. & Carr S.J., 2005. A second generation of annual pasture legumes and their potential for inclusion in Mediterranean-type farming systems. *Australian Journal Experimental Agriculture* 45:289-299.
- Lonati, M.; Moot, D. J.; Aceto, P.; Cavallero, A. & Lucas R.J., 2009. Thermal time requirements for germination, emergence and seedling development of adventive legume and grass species. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 52: 17-29.
- López, C.I., 1992. Leguminosas para suelos marginales de la zona sur. *Trifolium subterraneum* y *Trifolium incarnatum*. En: Latrille, L.L. & Balocchi, L.O. (eds.). Producción animal. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias, Instituto de Producción Animal. Serie B-16. Valdivia, Chile. pp: 90-120.
- López, T.H., 1988. Especies forrajeras mejoradas. En Ruiz, N.I. Praderas para Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Ministerio de Agricultura. Alfabeta Impresiones Santiago Chile. pp: 33-102.
- Lucas, R. J., Wright, A. B., Black, A. D. & Moot, D. J., 2015. Selection of sub clover cultivars for New Zealand dryland pastures. *Journal of New Zealand Grasslands*, 77: 203-210.
- Marticorena, C. & Quezada, M., 1985. Catálogo de la flora vascular de Chile. *Gayana Botánica* 42:1-157.
- Martinello P. & Ciola A., 1993. Effect of agronomic factors on annual leguminous forage crop in Mediterranean environments. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 170: 309-321.
- Martínez-Harms, J.; Palacios, A. G.; Márquez, N.; Estay, P.; Arroyo, M.T.K. & Mpodozis, J., 2010. ¿Can red flowers be conspicuous to bees? *Bombus dahlbomii* and South American temperate forest flowers as a case in point. *Journal of Experimental Biology* 213: 564-571.
- McGuire, W. S., 1985. Subterranean clover. *Clover Science and Technology*. 25: 515-534.
- McMahon, L.R.; Majak, W.; McAllister, T.A.; Hall, J.W.; Jones, G.A. Popp, J.D. & Cheng, K.J., 1999. Effect of sainfoin on in vitro digestion of fresh alfalfa and bloat in steers. *Canadian Journal of Animal Science* 79:203-212.
- McWilliam, J.; Clements, R. & Dowling, P., 1970. Some factors influencing the germination and early seedling development of pasture plants. *Australian Journal of Agricultural Research* 21: 19-32.
- Mitchell, G. & Cooper, J., 1989. Growing Paradana balansa clover. Experience in the mid-north areas of S.A. Bulletin 3/89. Department of Agriculture, South Australia, Australia. 20 p.
- Monks D.P.; Moot D.J.; Smith M.C. & Lucas R.J., 2008. “Bolta” balansa clover persistence in a grazed cocksfoot pasture depended on spring and summer grazing management. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association*, 70: 233–238.
- Monks, D.; Sadatasilan, K. & Moot, D., 2009. Cardinal temperatures and thermal time requirements for germination of annual and perennial temperate pasture species. *Agronomy New Zealand*. 39: 95-109.
- Montaldo, P. & Paredes, F., 1981. Observaciones fenológicas en praderas antropogénicas en dos localidades de la provincial de Valdivia, Chile. *Agro Sur (Chile)* 9(1): 43-54.
- Montes, L. 1988. *Lotus tenuis*. *Revista Argentina de Producción Animal* 8:367-376.
- Moot, D. J.; Scott, W. R.; Roy, A. M. & Nicholls, A. C., 2000. Base temperature and thermal time requirements for germination and emergence of temperate pasture species. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 43: 15-25.
- Moot, D.; Black, A.; Scott, W. & Richardson, J., 2003. Leaf development and dry matter production of subterranean clover cultivars in relation to autumn sward management. In: Legumes for Dryland Pastures. Grassland Research and Practice New Zealand Series 11: 193-200.
- Mora, M.L., & Demanet, F.R. 1995. Efecto de las relaciones Ca/P y Ca/K en el establecimiento de pasturas en suelos acidificados. *Frontera Agrícola* 3: 28-35.
- Morley, F. H. W., 1961. Subterranean clover. *Advances in Agronomy*, 13: 57–123.

- Muñoz, H. 2002. Estudio de la adaptación, crecimiento y producción de leguminosas anuales en precordillera andina. Tesis para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía, Universidad Adventista de Chile, Chillán, Chile. 55 p.
- Muñoz, M., 1980. Flora del parque nacional Puyehue. Editorial Universitaria. Santiago, Chile. 537 p.
- Muslera, P.E. & Ratera G.C., 1991. Praderas y Forrajes. Producción y Aprovechamiento. Ediciones Mundi – Prensa. Segunda Edición. Madrid, España. 674 p.
- Nichols, P. G. H., Foster, K. J. Piano, E., Pecetti, L., Kaur, P., Ghamkhar, K. & Collins, W.J. 2013b. Genetic improvement of subterranean clover (*Trifolium subterraneum* L.) Germplasm, traits and future prospects. *Crop & Pasture Science*, 64: 312–346.
- Nichols, P.; Revell, C.; Humphries A.; Howie J.; Hall, E.; Sandral, G.; Ghamkhar, K. & Harris C., 2013a. Temperate pasture legumes in Australia—their history, current use, and future prospects. *Crop and Pasture Science* 63: 691–725.
- Nori, H.; Moot, D. J.; Monks, D. P.; Black, A. D. & Lucas, R. J., 2014. Reproductive development of four top flowering annual clovers. *Crop and Pasture Science* 65: 388–399.
- Norman, H. C.; Masters, D. G.; Rintoul, A. J.; Wilmot, M. G.; Jayasena, V.; Loi, A. & Revell, C. K., 2005. The relative feeding value of a new pasture legume, eastern star clover (*Trifolium dasyurum*), compared with subterranean clover (*Trifolium subterraneum*). *Australian Journal of Agricultural Research*. 56: 637–644.
- Nutt, B. 1994. Serradela for acid soils in Western Australia. Technical Report N° 219. In Michalk, D., Craig, A., & Collins, B. (eds.). Primary Industries South Australia, Australia pp: 50–52.
- Ovalle M. C., Del Pozo L. A., Avendaño R. J., Fernández E. F. & Arredondo S. S., 2005. Adaptación, Crecimiento y Producción de Nuevas Leguminosas Forrajeras Anuales en la Zona Mediterránea de Chile: II. Comportamiento de las Especies en Suelos Graníticos del Secano Interior Sub húmedo. *Agricultura Técnica (Chile)* 65(3): 265–277.
- Ovalle M.C., Arredondo S.S. & Romero Y.O., 2006. Serradela amarilla (*Ornithopus compressus*) y Serradela rosada (*O. sativus*): dos nuevas especies de leguminosas forrajeras anuales para la zona mediterránea de Chile. *Agricultura Técnica (Chile)* 66 (2):196–209.
- Ovalle M.C., Bustos B.P., Del Pozo L.A., Avendaño R.J., & Arredondo S.S., 2003. Caracterización preliminar de una colección de leguminosas forrajeras anuales para la zona mediterránea de Chile. *Agricultura Técnica (Chile)* 63(2): 156–168.
- Ovalle, C. & Squella, F., 1988. Terrenos de pastoreo con especies anuales en el área de influencia climática mediterránea. En I. Ruiz (ed.). Praderas para Chile. Ministerio de Agricultura, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Santiago, Chile. pp: 369–410.
- Ovalle, C.; Avendaño, J. & Del Pozo, A., 1998. Productividad de accesiones de *Medicago polymorpha* en relación a la precocidad y a la altura de corte. *Agricultura Técnica (Chile)* 58:15–22.
- Ovalle, C.; Del Pozo, A.; Arredondo, S. y Chavarría, J., 2005. Crecimiento y producción de nuevas leguminosas forrajeras anuales en la zona mediterránea de Chile. I. comportamiento de las especies en la precordillera andina. *Agricultura Técnica, (Chile)* 65 (1): 35–47.
- Ovalle, C.; Del Pozo, A.; Avendaño, J.; Bustos, P. & Arredondo, S. 2003. Caracterización preliminar de una colección de leguminosas forrajeras anuales para la zona mediterránea de Chile. *Agricultura Técnica (Chile)* 63:156–168.
- Ovalle, C.; Del Pozo, A.; Squella, F.; Arredondo, S. & Cussen, R., 1997. Leguminosas forrajeras anuales. Recomendación de especies y cultivares para el secano mediterráneo de Chile. Serie Quilamapu 79. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Chillán, Chile. 32 p.
- Ovalle, C.; Fraga, A.; Avendaño, J. & Acuña, H. 2000. Trébol balansa (*Trifolium michelianum*): nueva forrajera leguminosa anual para suelos con problema de drenaje. En Pérez, C. (ed.). Propositiones tecnológicas para un desarrollo sustentable del secano. Boletín INIA N° 42. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Quilamapu, Chillán, Chile. pp:155–157.
- Ovalle, C.; Squella, F.; Arredondo, S.; Del Pozo, A. & Avendaño, J., 1997. Trébol balansa (*Trifolium michelianum*) una leguminosa forrajera promisionaria para sistemas pastorales del secano mediterráneo de Chile. *Agricultura Técnica (Chile)* 57:50–57.
- Ovalle, M.C., 2011. Especies y variedades de praderas permanentes para sistemas silvopastorales en la zona centro-sur de Chile. En Ruiz, S.C. (Ed.), Recomendación de praderas para sistemas silvopastorales en la zona centro sur de Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación Quilamapu. Serie Actas INIA N° 46, Chillán, Chile. pp: 8–19.
- Ovalle, M.C.; Del Pozo, A.; Fernández, F.; Chavarría, J. & Arredondo, S., 2010. Arrowleaf clover (*Trifolium vesiculosum* Sav): a new species of annual legumes for high rainfall areas of the mediterranean climate zone of Chile. *Chilean Journal of Agricultural Research* 70(1):170–177.
- Ovalle, M.C.; Del Pozo, L.A.; Avendaño, R.J.; Aravena, T. & Díaz, M.E., 2001. Cauquenes-INIA, nuevo cultivar de hualputra chilena (*Medicago polymorpha*) para áreas de secano mediterráneo. *Agricultura Técnica (Chile)* 61(1): 8–12.
- Pacheco, A.B.; Parra, B.L.; Ortega, K.F. & Quiroz, C.A., 2014. Guía para el reconocimiento de pulgones en trébol rosado. Universidad de La Frontera, INIA Carillanca. Temuco, Chile. 25 p.
- Paynter, B. 1990. Comparative phosphate requirements of yellow serradella (*Ornithopus compressus*), burr medic (*Medicago polymorpha* var. *brevispina*) and subterranean clover (*Trifolium subterraneum*). *Australian Journal of Experimental Agriculture* 30:507–514.
- Paynter, B.H. & Bolland, M.D.A., 1993. Comparison of the phosphate requirements of burr medic and yellow serradella with that of wheat in the low rainfall wheatbelt of Western Australia. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 33:145–157.
- Paynter, B.H. 1992. Comparison of the phosphate requirements of burr medic and yellow serradella with subterranean clover in the low rainfall wheatbelt of Western Australia. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 32:1077–1086.
- Paynter, B.H. 1993. Effect of external phosphorus and seed phosphorus supply on the shoot and root growth of yellow serradella, burr medic, and subterranean clover. *Journal of Plant Nutrition* 16:2313–2331.
- Pérez-Rivero, J.; Aguilar-Setién, A.; Martínez-Maya, J.; Pérez-Martínez, M. & Serrano, H., 2007. Los fitoestrógenos y el efecto de su consumo en diferentes órganos y sistemas de animales domésticos. *Agricultura Técnica (Chile)* 67(3): 325–331.
- Piano, E., Pecetti, L. & Carroni, A. M., 1996. Climatic adaptation in subterranean clover populations. *Euphytica*, 92: 39–44.
- Pinkerton, A. & Randall, P.J., 1993. A comparison of the potassium requirements during early growth of *Lotus pedunculatus*, *Medicago murex*, *M. polymorpha*, *M. truncatula*, *Ornithopus compressus*, *Trifolium balansa*, *T. resupinatum*, *Pennisetum clandestinum*, and *Phalaris aquatica*. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 33:31–39.

- Pinkerton, A., & Randall, P.J., 1994. Internal phosphorus requirements of six legumes and two grasses. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 34:373-379.
- Power, D.; Pollock, K.; Lucas, R. & Moot, D., 2003. Clover species cover on summer dry hill country in Central Otago. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association*. 68: 343-347.
- Powles, S.B., Preston, C., Bryan, I.B. & Jutsum, A.R., 1997. Herbicide resistance: impact and management. *Advances in Agronomy* 58, 57-93.
- Quinlivan, B.J. & Francis, C.M., 1971. The effect of burr burial on the seed of some early maturing subterranean clover cultivars. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry* 11:28-35.
- Reed, K. 1999. Persian clover. Agriculture Notes, Department of Primary Industries, State of Victoria, Australia. 2 p.
- Revell, C.K., Taylor, G.B. & Cocks P.S., 1998. Long-term softening of surface and buried hard seeds of yellow serradella grown in a range of environments. *Australian Journal of Agricultural Research* 49:673-685.
- Revell, C.K., Taylor, G.B. & Cocks, P.S. 1999. Effect of length of growing season on development of hard seeds in yellow serradella and their subsequent softening at various depths of burial. *Australian Journal of Agricultural Research* 50:1211-1223
- Rimi, F.; Macolino, S.; Leinauer, B.; Laurialt, L.M. & Ziliotto, U., 2010. Alfalfa yield and morphology of three fall-dormancy categories harvested at two phenological stages in a subtropical climate. *Agronomy Journal* 102 (6): 1578-1585.
- Rochon, J.J.; Doyle, C.J.; Greef, J.M., Hopkins, A.; Molle, G.; Sitzia, M.; Scholefield, D. & Smith, J.C., 2004. Grazing legumes in Europe: a review of their status, management, benefits, research needs and future prospects. *Grass and Forage Science*, 59: 197-214.
- Rogers, M.E.; Noble, C.L. & Pederick R.J., 1997. Identifying suitable temperate forage legume species for saline areas. *Australian Journal Experimental Agriculture* 37:639-645.
- Rojas, C., Romero, O. & Barrientos, L., 2002. Producción de carne bovina en praderas naturalizadas de serradella amarilla (*Ornithopus compressus* L.) y trébol subterráneo (*Trifolium subterraneum* L.), en condiciones de secano de la IX Región, Chile. *Agricultura Técnica (Chile)* 62(4): 519-529
- Romero, E.J., 2006. Efecto del estado fenológico de *Trifolium incarnatum* en el rendimiento y calidad de la pastura. Tesis de grado para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales, Universidad de La Frontera. Temuco, Chile. 74 p.
- Romero, Y. O. 1990. La lotera en la IX Región. *Investigación y Progreso Agropecuario, Carillanca (Chile)* 9(3): 28 - 30.
- Romero, Y.O. & Demanet, F.R., 1988. La pradera en el secano de la IX Región (suelos rojo-arcillosos). En: En Ruiz, N.I. Praderas para Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Ministerio de Agricultura. Alfabetas Impresiones Santiago Chile. pp: 453-466.
- Romero, Y.O., 1992. Perspectivas de la alfalfa en las regiones de Bio Bio La Araucanía y Los Lagos, En: Alfalfa y su utilización en la zona sur. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Estación Experimental Carillanca. Serie Carillanca N° 31. Temuco, Chile. pp: 1-14.
- Rossiter, R.C., Collins, W.J., & Klein. L., 1985. Winter growth and nutritive quality of serradella (*Ornithopus spp.*). *Australian Journal of Experimental Agriculture* 25:362-366.
- Rotili, P.; Gnocchi, G. & Scotti, C., 1993. Genetic improvement of nutritive value of lucerne: Crude protein content. In M.J. Baker (ed.) Proceeding. of International Grassland Congress, 17th, Palmerston North, NZ. 8-17 June. New Zealand Grassland Association, Palmerston North. New Zealand. pp: 399-400
- Ru, Y. J. & Fortune, J., 2000. Effect of grazing intensity and cultivar on morphology, phenology, and nutritive value of subterranean clover II. Nutritive value during the growing season. *Crop and Pasture Science*. 51: 1047-1055.
- Ruiz, I., 1996. Praderas para Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Ministerio de Agricultura. Segunda Edición. Santiago, Chile. 734 p.
- Saxby, S. H., 1956. The history of subterranean clover in New Zealand. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 92: 518-527.
- Sheaffer, C.C.; Martin, N.P.; Lamb, J.F.S.; Cuomo, G.R.; Jewett, J.G. & Quering, S.R., 2000. Leaf and stem properties of alfalfa entries. *Agronomy Journal* 92:733-739.
- Smetham, M. L. 2011. The ecology and use of subterranean clover (*Trifolium subterraneum*) as a pasture legume. An Australasian perspective. *Pastos* 29: 5-63.
- Smetham, M.S., 1981. Especies y variedades de leguminosas forrajeras. En Langer, R.H.M. Las pasturas y sus plantas. Editorial Hemisferio Sur. Montevideo, Uruguay. pp: 97-148.
- Snowball, R.; Wiley, T. & Revell, C., 2005. Cefalu arrowleaf clover. Farmnote. Department of Agriculture N° 38. State of Western Australia, South Perth, Western Australia, Australia. 4 p.
- Soto, K.L. & López, H., 1984. Comportamiento de variedades forrajeras en mezcla o solas bajo régimen de corte. *Investigación y Progreso Agropecuario La Platina (Chile)*. 24:3-6.
- Soto, O.P., 1990. Adaptación y establecimiento de alfalfa. En: Soto O.P., Producción y utilización de Alfalfa zona centro sur y sur. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Estación Experimental Quilamapu. Serie Quilamapu N° 24. Chillan, Chile. pp: 1-20.
- Soto, O.P., 1999. Seminario Producción y Utilización de Alfalfa. Zona Centro Sur y Sur. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Estación Experimental Quilamapu. Serie Quilamapu N° 24. ISSN 0716-6265. Chillán, Chile. 308 p.
- Soto, O.P., 2000. Alfalfa en la Zona centro Sur de Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Ministerio de Agricultura. Centro Regional de Investigación Quilamapu. Colección libros INIA N° 4. ISSN 0717-4713. Chillan, Chile. 266 p.
- Speeding, C.R.W. & Diekmahns, E.C., 1972. Grasses and Legumes in British Agriculture. Bulletin 49. Commonweal Bureau of Pasture and Field Crop. 511 p.
- Stewart, A & Charlton, D., 2006. Pasture and forage plants for New Zealand. New Zealand Grassland Association, New Zealand Grassland Trust. Grasland Research and Practice Series N° 8, Third Edition. New Zealand. 128 p.
- Stewart, A., Kerr, G.; Lissaman, W. & Rowarth, J., 2014. Pasture and forage plants for New Zealand. Grassland Research and Practice Series N° 8. New Zealand Grassland Association. Taieri, Fairfield, Dunedin, New Zealand. 139 p.

- Sulc, R.M.; Albrecht, K.A.; Cherney, J.H.; Hall, M.H.; Mueller, S.C. & Orloff, S.B., 1997. Field testing a rapid method for estimating quality. *Agronomy Journal* 89:952-957.
- Tang, C., Barton, L. & Raphael, C., 1998. Pasture legume species differ in their capacity to acidify soil. *Australian Journal of Agricultural Research* 49:53-58.
- Tanner, G.J.; Moate, P.J.; Davis, L.H.; Laby, R.H.; Li, I.G. & Larkin P.J., 1995. Proanthocyanidins (condensed tannins) destabilize plant protein foams in a dose dependant manner. *Australian Journal of Agricultural Research* 46:1101-1109.
- Taylor, A.O., Hughes, K.A., Haslemore, R.M. & Holland, R., 1977. Influence of maturity and frequency of harvest on the nutritive quality of cool season forage legumes. *Proceedings of the Agronomy Society of New Zealand* 7:45-49.
- Taylor, G.B., & Revell, C.K., 1999. Effect of pod burial, light, and temperature on seed softening in yellow serradela. *Australian Journal of Agricultural Research* 50:1203-1209.
- Teixeira, C.S.P.; Lucas, D. & Moot, D.J., 2005. Subterranean clover – Literature Review. Optimization of subterranean clover for dryland pastures in New Zealand. Sustainable Farming Fund. Lincoln University. New Zealand. 81 p.
- Tekeli, A.; Ates, E. & Varol, F., 2005. Nutritive values of some annual clovers (*Trifolium* sp.) at different growth stages. *Journal of Central European Agriculture* 6:323-330.
- Teuber, K.N., 1980. Especies y variedades forrajeras para la X Región. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Estación Experimental Remehue. Osorno, Chile. Boletín Divulgativo N° 27 (37 Ref). 11 p.
- Teuber, K.T., 2009. Praderas permanentes en las zonas lecheras de Chile. Curvas de crecimiento, distribución y producción. Consorcio Lechero, INIA. Osorno, Chile. 62 p.
- Thomas, R. 2003. Comparative growth forms of dryland forage legumes. In: Legumes for Dryland Pastures. Grassland Research and Practice New Zealand Series 11: 18-19.
- Unkovich M.J., Pate J.S., Sanford P., 1997. Nitrogen fixation by annual legumes in Australian Mediterranean agriculture. *Australian Journal of Agriculture Research* 48:267-293.
- Unkovich, M., Pate, J.S. & Sanford, P., 1997. Nitrogen fixation by annual legumes in Australian mediterranean agriculture. *Australian Journal of Agricultural Research* 48:267-293.
- Veale, R., 1961. Trébol subterráneo. Departamento de conservación y administración de recursos naturales del Ministerio de Agricultura. Segunda Edición. Santiago, Chile. 45p.
- Weir, W.C.; Jones, L.H. & Meyer, J.H., 1960. Effect of cutting interval and stage of maturity on the digestibility and yield of alfalfa. *Journal Animal Science* 19:5-19.
- Weishaar, M.A.; Brummer, E.C.; Volenec, J.J.; Moore, K.J. & Cunningham, S., 2005. Improving winter hardiness in nondormant alfalfa germplasm. *Crop Science* 45:60-65.
- Wernli, K.C.; Echeverría, D.D. & Cosío, G.F., 1986. Características nutricionales de una pradera naturalizada de lotera de hoja angosta (*Lotus tenuis* Wald et kit). I. Efecto de la temporada, frecuencia de corte y altura de residuo. *Agricultura Técnica (Chile)*. 46(3): 237-244.
- White, J. & Hodgson, J., 1999. New Zealand. Pasture and Crop Science. Oxford University Press. Auckland, New Zealand. 323 p.
- White, R.E.; Helyar, K.R.; Ridley, A.M.; Chen, D.; Heng, L.K. & Evans, J., 2000. Soil factors affecting the sustainability and productivity of perennial and annual pastures in the high rainfall zone of south-eastern Australia. *Australian Journal Experimental Agriculture* 40:267-283.

Capítulo V

Cultivos y forrajes suplementarios

Rolando Demanet Filippi
Juan Carlos García Díez

Contenido

Introducción	196
<i>Avena sativa</i> L. (avena)	198
<i>Triticum aestivum</i> L. (trigo)	204
x <i>Triticosecale</i> sp. (triticale)	209
<i>Hordeum vulgare</i> L. ssp. <i>vulgare</i> (cebada)	215
<i>Secale cereale</i> (L.) M.Bieb (centeno)	220
<i>Zea mays</i> L. (maíz)	223
<i>Sorghum bicolor</i> (L.) (sorgo)	238
<i>Pisum sativum</i> L. (arveja)	242
<i>Vicia atropurpurea</i> Desf. syn. <i>Vicia benghalensis</i> L. (vicia)	248
<i>Lupinus</i> spp. (lupino)	252
<i>Brassica rapa</i> L. subsp. <i>rapa</i> (nabo forrajero)	254
<i>Brassica napus</i> L. subsp. <i>napobrassica</i> (rutabaga o colinabos)	259
<i>Brassica napus</i> L. subsp. <i>napus</i> (raps forrajero)	262
<i>Brassica oleracea</i> L. (col forrajera)	265
<i>Beta vulgaris</i> L. (remolacha forrajera)	268
<i>Cichorium intybus</i> L. (achicoria)	275
<i>Plantago lanceolata</i> L. (plantago)	278
<i>Helianthus tuberosus</i> L. (topinambur)	281
<i>Silphium perfoliatum</i> L. (silfo)	288
Bibliografía	289

Introducción

Los cultivos y forrajes suplementarios responden a la necesidad de cubrir los periodos de déficit que produce la estacionalidad de las praderas y pasturas permanentes. La curva de crecimiento de los pastizales presenta una concentración de la producción en el periodo de primavera, específicamente en los meses de octubre a diciembre en los que la tasa de crecimiento puede superar los 100 kg de MS/ha/día (Figura 5.1.). Esto determina que entre el 60 y el 80% de la producción anual se produzca en esta estación del año. Por otra parte, la oferta se reduce drásticamente en verano e invierno, siendo los meses de menor disponibilidad de forraje febrero, marzo, junio, julio y agosto.

Los cultivos y forrajes suplementarios son opciones que se utilizan para el consumo animal de pastoreo, soiling, forraje conservado o en combinación de alternativas (Tabla 5.1.). Se caracterizan por generar un abundante volumen de forraje verde que se concentra en un periodo muy acotado y su calidad está relacionada con la especie y el momento de utilización. Las opciones destinadas a la conservación de forraje se aprovechan preferentemente en los periodos de escasez, pero en sistemas ganaderos intensivos constituyen parte de la dieta de los animales durante todo el año.

Además de constituir un suplemento de calidad en la dieta de los animales, los cultivos y forrajes suplementarios reducen el consumo de concentrados, evitan el uso de praderas y pasturas permanentes durante el invierno y son una opción de pre-cultivo para el establecimiento de pasturas. También se usan como cabecera de rotación en áreas de mejoramiento de los suelos y habilitación de terrenos para hacer agricultura.

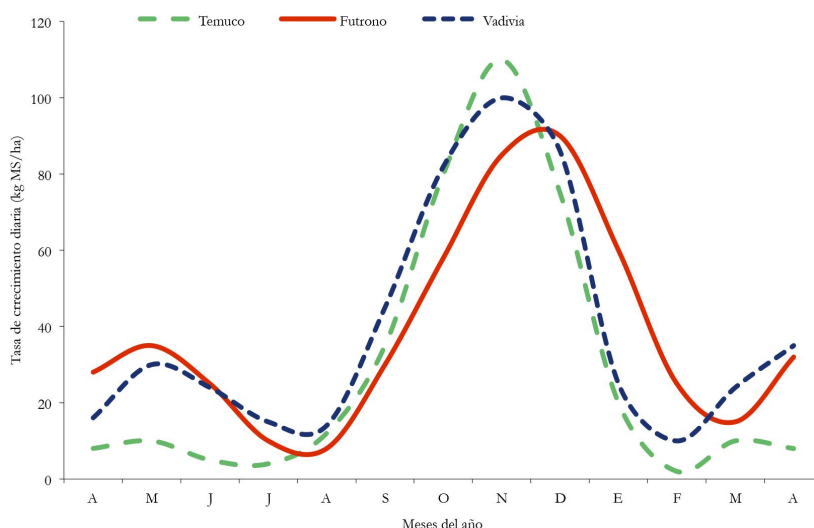


Figura 5.1. Curva de crecimiento del pastizal templado en Temuco, Valdivia y Futrono.

Tabla 5.1. Opciones de cultivos y forrajes suplementarios utilizados en la zona mediterránea húmeda y templada.

Especie	Pastoreo	Soiling	Conservación de forraje
Avena	✓	✓	✓
Trigo	✓	✓	✓
Triticale	✓	✓	✓
Cebada	✓	✓	✓
Centeno	✓	✓	✓
Maíz		✓	✓
Sorgo	✓	✓	✓
Nabo forrajero	✓		
Rutabaga	✓		
Raps forrajero	✓		
Col forrajera	✓		
Remolacha forrajera	✓	✓	
Arveja	✓		✓
Vicia			✓
Achicoria	✓		
Plantago	✓		
Topinambur	✓	✓	

Todas las alternativas de cultivos y forrajes suplementarios poseen altos requerimientos nutricionales para expresar su potencial de producción. Esto determina el uso de niveles de fertilización elevados, cuyo efecto residual es utilizado por el siguiente cultivo o pastura.

Es habitual observar que pasturas permanentes establecidas después de la cosecha de un cultivo suplementario producen en los dos primeros años un alto rendimiento de forraje, el cual decae a partir del tercer año de forma drástica. Esta situación es el resultado de la falta de mantenimiento de los niveles de fertilidad en el suelo. Por consiguiente, se genera un balance negativo que produce deficiencias de los nutrientes que fueron aportados por el efecto residual del cultivo suplementario.

Un ejemplo clásico es el establecimiento de pasturas permanentes después de la cosecha de maíz. El efecto residual de la fertilización del cultivo permite el desarrollo de pasturas de alto nivel productivo en los dos primeros años, aunque estas se reducen drásticamente a partir del tercer año, cuando la pastura no logra superar

el 50% de la producción conseguida en las dos primeras temporadas. Esta situación se puede corregir aplicando dosis controladas de fertilizantes de origen inorgánico u orgánico, como purines o guanos estabilizados, que permiten corregir las deficiencias provocadas por la sobre extracción de los primeros años.

EL programa de pastizales y cultivos de la Universidad de La Frontera durante 30 años ha desarrollado investigación aplicada en el área de cultivos y forrajes suplementarios. Esta investigación ha generado resultados en el ámbito de la incorporación de nuevos cultivares y el manejo de estas especies. En este capítulo se presenta esta información en la que se pretende analizar el avance tecnológico que se ha logrado en las últimas décadas.

***Avena sativa* L. (avena)**

La avena es una especie monocotiledónea anual perteneciente a la familia Poaceae, subfamilia Pooideae, tribu Aveneae, género *Avena*. Corresponde a una planta hexaploide (42 cromosomas) que se cultiva en la mayor parte de las zonas templadas y mediterráneas del mundo. Este alohexaploide natural se formó por la hibridación de dos especies diploides que formaron un tetraploide por duplicación de cromosomas y posterior hibridación de este tetraploide con una tercera especie diploide, lo que dio origen a un hexaploide estable que es el que hoy existe (Thomas, 1992).

Origen: El origen de la *Avena sativa* L. es el Oriente próximo y desde ahí se diseminó hacia Europa. La introducción en Chile se produjo en la segunda mitad del siglo XIX por los alemanes que colonizaron la zona sur del país (Opazo, 1932). Antes de la llegada de avenas cultivadas en el país existían algunas especies de avenas silvestres (*Avena fatua* L. y *Avena barbata* L.), que ingresaron como contaminantes de otros granos en el periodo de la colonización española y que hoy forman parte de los pastizales naturalizados del área mediterránea y templada (Matthei *et al.*, 1995).

Descripción botánica: La planta se distingue de otros cereales de grano pequeño por la presencia de una panícula, denominada panoja, donde se encuentran las diferencias morfológicas más importantes entre las especies del mismo género. Tiene dos tipos de raíces: las seminales o primarias, formadas a partir de la radícula durante la germinación de la semilla, y las principales o adventicias que emergen de la base de los tallos y crecen desde el inicio de la macolla hasta la emergencia de la panoja (Beratto, 2006). Las hojas ubicadas a lo largo del tallo de forma alterna y opuesta son solitarias y sésiles y constan de vaina foliar, lamina y lígula (Bonnett, 1961). La panoja de aspecto piramidal, está formada por un raquis central que posee nudos desde donde nacen los verticilos que, a su vez, constan de varios raquis secundarios. A partir de estos nacen los pedicelos que sostienen las espiguillas (Figura 5.2). El fruto es una cariósipide que se encuentra rodeada por dos cubiertas protectoras, la lemma y la palea, que en conjunto forman la cáscara (Beratto, 2006).



Figura 5.2. *Avena sativa* L. (avena)

Cultivares: La historia en Chile de los cultivares de *Avena sativa* L. es reciente. Tras la llegada de las semillas con los alemanes colonizadores de la región templada, los agricultores importaron materiales principalmente de Europa. A los distintos cultivares se les nombraba mediante una característica y el país de origen. Así tenemos Blanca de Polonia, Precoz de Siberia, Blanca de Hungría y Blanca de Alemania (Opazo, 1932; Beratto, 2006). Los cultivares posteriores mantuvieron el nombre original y entre ellos destacaron Alteza Dorada, Gris Concordia, Soleil II, Condor y Putnam 61 (Beratto, 2006).

Para el país fue importante el desarrollo nacional de la avena rubia, cultivar que dominó las siembras en la zona mediterránea y templada. Este fue el resultado de la mezcla de tipos heterogéneos y altamente homocigotos con características morfológicas comunes a los presentes en Chile. A partir de 1940 la investigación y creación de nuevos cultivares de avena se fue sucediendo de forma ininterrumpida a través del departamento de genética y fitotecnia del Ministerio de Agricultura y la empresa privada creada por Erick von Baer. A partir de 1964 la obtención de cultivares estuvo marcada por el desarrollo de materiales creados por el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) (Beratto, 1977; Beratto, 2006) y la empresa de semillas Baer.

Utilización

Los cultivares de avena disponibles en Chile son de tipo alternativo y hábito de crecimiento erecto, pudiendo ser todos ellos destinados a la producción de grano y forraje. Establecidos en verano y otoño son utilizados para pastoreo o corte invernal. Sembrados en primavera son destinados a la elaboración de ensilaje, heno, henilaje o cosecha de grano (doble propósito). La versatilidad de la avena viene dada por la capacidad que tiene de producir en un corto periodo, un volumen de forraje de calidad en condiciones de temperatura y humedad que otras especies son incapaces de generar. Esto permite su uso como forraje verde en pastoreo y soiling, ensilaje o cultivo acompañante en el establecimiento de pasturas.

Uso invernal

El uso de avena en pastoreo se realiza entre los meses de abril y septiembre. En estos meses se usa como suplemento voluminoso de alta calidad bromatológica, con niveles de proteína superiores a 30%.

Periodo de siembra: El tiempo de establecimiento depende de la localidad, el sistema de preparación de suelos y los objetivos del cultivo. En pastoreo invernal la siembra se hace entre los meses de enero y marzo para tener la opción de utilizar la pastura a inicios de otoño. La siembra se hace en sistema de cero labranza o mínima labor para tener un piso firme apto para el pastoreo durante el invierno. La siembra se hace en línea o al voleo, procurando en ambos casos que la semilla quede en contacto con el suelo. Para la utilización en pastoreo la siembra se puede hacer con avena sola o en mezcla con cereales de grano pequeño, gramíneas o leguminosas forrajeras de rotación.

En la zona templada es frecuente la siembra de avena + ballica de rotación corta + trébol rosado que, además de permitir el uso invernal en la primera temporada, extiende la longevidad de la pastura a tres años. En áreas de clima mediterráneo húmedo la siembra de avena se hace con trébol encarnado o tréboles de resiembra anual e incluso ballicas anuales de resiembra. Todas estas mezclas son utilizadas durante el invierno en pastoreo y en primavera son rezagadas para elaboración de forraje conservado: ensilaje, henilaje o heno.

Dosis de semilla: Los principales factores que definen la dosis de semilla son el sistema de siembra, la época de siembra y la asociación con otras especies (Tabla 5.2). Para la siembra de verano, cuyo objetivo es el pastoreo invernal, la dosis es entre 200 y 240 kg/ha, equivalente a 480 y 576 semillas/m². En asociación con ballicas de rotación corta, la dosis es 80 kg de avena/ha (lo que equivale a 192 semilla de avena/m²) + 25 kg/ha de ballica diploide ó 30 kg/ha de ballica tetraploide.

Tabla 5.2. Dosis de semilla (kg/ha) de *Avena sativa* L. sembrada sola o en mezcla con gramíneas y leguminosas de rotación corta.

Especie	<i>A. sativa</i>	<i>L. multiflorum</i> (2n)	<i>L. multiflorum</i> (4n)	<i>T. pratense</i>	<i>T. incarnatum</i>
<i>Avena sativa</i>	220 - 240				
<i>Avena sativa</i> + <i>Lolium multiflorum</i> (2n)	80	25			
<i>Avena sativa</i> + <i>Lolium multiflorum</i> (4n)	80	30			
<i>Avena sativa</i> + <i>Trifolium pratense</i>	80			12	
<i>Avena sativa</i> + <i>Lolium multiflorum</i> (4n) + <i>Trifolium pratense</i>	80		20	10	
<i>Avena sativa</i> + <i>Lolium multiflorum</i> (4n) + <i>Trifolium incarnatum</i>	120		25		30
<i>Avena sativa</i> + <i>Trifolium incarnatum</i>	120				35

Manejo de pastoreo: El manejo de pastoreo se realiza controlando el consumo a través de cercos eléctricos ubicados en franjas largas y angostas. Esto permite regular el residuo (no inferior a 7 cm) y evita la destrucción de las plantas por pisoteo (Figura 5.3). Este control de ingreso y salida de los animales permite excluir del pastoreo a pasturas que son afectadas por heladas, lo que reduce la muerte de las plantas.



Figura 5.3. Consumo en pastoreo de *Avena sativa* L. en invierno.

En suelos de alta fertilidad con fuerte presencia de nitrógeno residual (pre-cultivo maíz y remolacha) es posible que los animales se intoxiquen al consumir avena debido a la presencia de altos niveles de nitritos en la planta, que pueden llegar a causar la muerte (Kozloski *et al.*, 2009). Predispone la presencia de nitritos la acidez de los suelos y la deficiencia de fósforo, azufre o molibdeno.

En sus primeros estados de desarrollo las plantas presentan una alta tasa de crecimiento y son capaces de acumular una importante cantidad de nitrógeno en forma de nitratos que son transformados en proteínas. Estos nitratos, ubicados en el follaje y consumidos por el animal, ingresan al rumen y son reducidos de forma gradual a nitritos que, por su magnitud, no llegan a ser transformados en amoníaco. Así, ingresan en la sangre convirtiendo la hemoglobina en metahemoglobina, con lo cual se reduce la capacidad de transporte de oxígeno. Además, se produce un cambio alostérico en la proteína, es decir, un cambio estructural en la hemoglobina parcialmente oxidada, que genera una mayor afinidad entre ella y el oxígeno, lo que dificulta la liberación de oxígeno a los tejidos y la presencia de una anoxia generalizada en el animal (Haymond *et al.*, 2005).

La detección de nitritos y nitratos en plantas de avena se puede realizar con pruebas de laboratorio, o test rápidos de campo que producen la primera alerta y definen la pertinencia de uso de la pastura en pastoreo. Algunas formas de prevención de la intoxicación son la extensión del periodo de rezago, en especial cuando se aplican fertilizantes nitrogenados. Otra alternativa es el uso de alimentos con alta concentración de carbohidratos, pero la más importante es evitar el consumo de avena con animales hambrientos y de baja condición corporal.

El fin del uso de la avena en invierno está definido por el objetivo de la pastura. Si el objetivo es solo consumo en invierno, el fin de su utilización se hace cuando las plantas mueren por consumo del nudo reproductivo. Si la opción es de doble propósito, esto es, pastoreo invernal y producción de ensilaje o grano en primavera, el fin del pastoreo se hace cuando el nudo reproductivo está visible en su base y los animales no lo han consumido.

Rendimiento invernal: Los principales factores que determinan la producción invernal son la fecha de siembra, el cultivar, la dosis de semilla, el nivel de fertilidad del suelo, la nutrición de las plantas, las condiciones climáticas y el manejo del pastoreo. En siembras tempranas de febrero la avena puede alcanzar la mejor expresión del rendimiento en invierno debido a que es posible su uso a inicios del otoño. En siembras posteriores la producción se reduce a menos de 2 ton MS/ha y su uso en pastoreo sólo a finales de julio y agosto (Tabla 5.3).

Tabla 5.3. Efecto de la época de siembra en la producción invernal de *Avena sativa* L.*. Estación Experimental Maquehue. Universidad de La Frontera. Temuco, 2016.

Fecha de siembra	Número de utilizaciones	Producción (ton MS/ha)
15 febrero	4	4,6 a
1 marzo	4	3,2 b
15 marzo	3	2,2 c
30 marzo	3	1,6 c
1 abril	2	1,1 d
15 abril	1	0,8 d
2 mayo	1	0,2 e

Medias que no comparten una letra en común son diferentes según Prueba de Tukey ($p > 0,05$)
(*) Medición realizada hasta el 10 de septiembre

Calidad bromatológica: Al igual que todos los cereales de uso invernal, la avena posee una excelente palatabilidad y un buen contenido de nutrientes. Destacan los buenos niveles de proteína y digestibilidad de su materia seca, factores que determinan que este producto sea consumido con avidez por el ganado (Tabla 5.4). Limita su consumo el contenido de humedad del follaje, que puede alcanzar valores superiores a 88%. Lo anterior determina que el ganado que consume este recurso presente una muy buena condición corporal pero no logre ganancias de peso relevantes (> 600 g/cabeza/día).

Tabla 5.4. Calidad bromatológica de la *Avena sativa* L. medida en diferentes estados de desarrollo de las plantas. Futrono, 2019.

Componente	Unidad	4 a 5 hojas expandidas	5 a 6 hojas expandidas
Materia seca	%	11,8	12,6
Humedad	%	88,2	87,4
Proteína cruda	% MS	30,5	28,3
Proteína soluble	% PC	34,9	33,8
Proteína ligada FDA	% PC	3,1	3,4
Proteína ligada FDN	% PC	14,7	13,8
Proteína degradable ruminal	% PC	67,4	66,9
FDA	% MS	23	23,5
FDN	% MS	39,1	39
Lignina	% FDN	5,4	5,7
Digestibilidad FDN (30 horas)	% FDN	82,3	78
Carbohidratos solubles en etanol	% MS	7,9	8,7
Carbohidratos no fibrosos	% MS	16,6	17,6
Carbohidratos no estructurales	% MS	9,8	11
Almidón	% MS	1,9	2,3
Extracto etéreo	% MS	5,7	5,6
Cenizas	% MS	12,6	13,3
Calcio	% MS	0,6	0,6
Fósforo	% MS	0,52	0,48
Magnesio	% MS	0,28	0,29
Potasio	% MS	4,17	4,22
Azufre	% MS	0,4	0,39
Total nutrientes digestibles (NDT)	% MS	71,1	70

MS: materia seca; PC: proteína cruda, FDN: fibra detergente neutra

Uso doble propósito

El uso en doble propósito significa que la avena es consumida en invierno por los animales en pastoreo y, posteriormente en primavera, es rezagada para la elaboración de forraje conservado (ensilaje, henilaje o heno) o cosecha de grano y empaque de los residuos (paja).

Diversos factores fijan el rendimiento invernal y primaveral de la avena de doble propósito. Los más destacados son la época de siembra, el cultivar, el tiempo de rezago y el estado fenológico al momento de la cosecha. En la zona de transición de clima mediterráneo a templado la producción anual puede ser superior a las 14 ton MS/ha (Tabla 5.5) y en el área templada puede alcanzar las 17 ton MS/ha (Tabla 5.6).

Tabla 5.5. Rendimiento invernol y anual (ton MS/ha) en tres localidades de la zona de transición de mediterránea a templada de *Avena sativa* L. Región de La Araucanía.

Zona agroecológica	Localidad	Producción invernol	Producción Anual
Precordillera	Curacautín	1,1	8,5
Secano Interior	Traiguén	1,4	8,2
Secano Costero	Hualpín	2,3	14,7

Tabla 5.6. Rendimiento invernol y anual (ton MS/ha) en la zona templada de *Avena sativa* L. y *Avena strigosa* Schreb.. Osorno, Región de Los Lagos.

Especie de avena	Producción invernol	Producción anual
<i>Avena sativa</i> L. cv Nehuen	3,99	17,21
<i>Avena strigosa</i> Schreb.	4,01	17,22

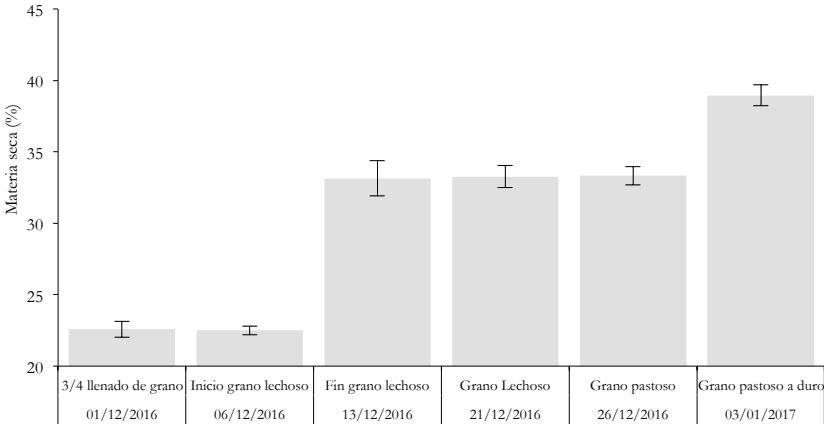
Fuente: adaptado de Soto, 1988.

Uso solo en conservación de forraje

La conservación de la avena (ensilaje, henilaje o heno) es una alternativa que en los sistemas ganaderos se utiliza para la mantención del ganado durante periodos críticos de escasez de forraje. Se siembra sola o en mezcla con leguminosas trepadoras, como vicia y arveja o con leguminosas de crecimiento erecto, como trébol rosado, trébol encarnado o trébol alejandrino. La siembra se hace entre los meses de junio a septiembre en sistema de siembra convencional o cero labranza y distancia entre hilera de 12 a 15 cm. La dosis de semilla es 140 kg/ha, que equivale a 336 semilla/m², y en siembras asociadas a leguminosas como trébol encarnado, trébol alejandrino, trébol rosado o vicia, la dosis es 80 kg/ha, equivalente a 192 semilla/m².

Para la elaboración de ensilaje o henilaje la avena se cosecha cuando tiene entre 35 y 40% de materia seca que coincide con el estado de grano pastoso. En esta condición de madurez el proceso de conservación es efectivo, ya que se produce una buena compactación y rápida producción de un ambiente anaeróbico. La cosecha hecha en estados más inmaduros requiere la elaboración de ensilaje premarchito, en el que el corte, hilerado, colecta y transporte produce pérdidas de algunas de las estructuras de la panoja, incluyendo el grano en formación.

Mediciones que relacionan la producción y la calidad nutricional de la avena han demostrado que, en cosechas hechas en estados inmaduros de las plantas, la producción es inferior y la calidad nutricional superior a cuando el corte se efectúa en estados avanzados de madurez (grano pastoso) (Figura 5.4). Al igual que en otros cereales de grano pequeño con el avance de la madurez se reduce el efecto negativo que produce el incremento de la fibra con la formación del grano, lo que conlleva a una mejor respuesta productiva de los animales (Dumont & Lanuza, 1990; Khorasani *et al.*, 1993; Khorasani & Kennelly, 1997; Edmisten *et al.*, 1998; Dumont *et al.*, 2005).



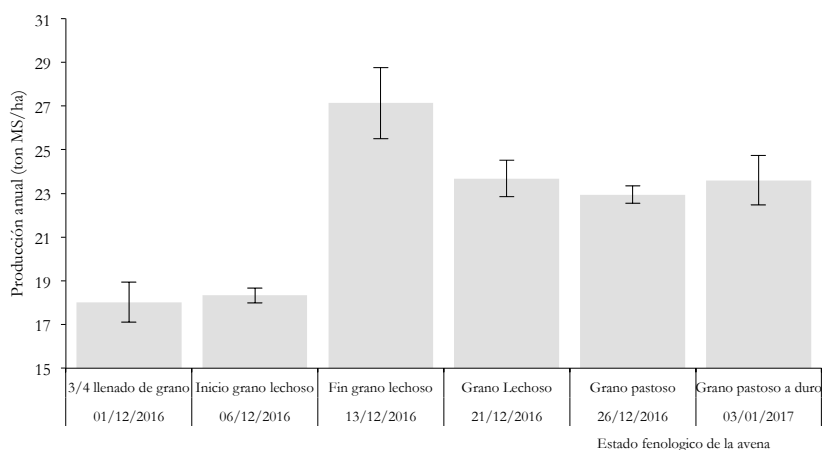


Figura 5.4. Efecto de la época de cosecha en el porcentaje de materia seca (%MS) y la producción anual de *Avena sativa* L. Estación Experimental Maquehue. Universidad de La Frontera. Temuco. 2016 - 2017.

Coefficiente de variación MS: 5,61%

Coefficiente de variación producción anual: 6,43%

La producción y calidad de la avena destinada a la elaboración de forraje conservado está definida por diversos factores: el tipo de cultivar, el estado fenológico en el momento del corte (Tabla 5.7), la nutrición de las plantas y las condiciones climáticas. Un buen indicador de la calidad nutricional de la avena es el estado fenológico. A partir de la formación de los granos el contenido de nutrientes cambia en forma drástica: la proteína se reduce de un 18 a un 7%, el contenido de FDN (fibra detergente neutra) aumenta de un 35 a un 48% y la digestibilidad se reduce de un 67 a un 54%.

Tabla 5.7. Porcentaje de materia seca y producción de cinco cultivares de *Avena sativa* L., en el secado de la zona templada. Estación Experimental Las Encinas, Universidad de La Frontera. Temuco, 2001.

Cultivar	Estado grano lechoso		Estado grano pastoso	
	MS (%)	Producción (ton MS/ha)	MS (%)	Producción (ton MS/ha)
Neptuno	38,2 a	15,1 a	45,6 a	12,7 b
Llaofen	40,2 a	14,0 b	45,2 a	14,0 a
Nehuen	4,02 a	16,1 a	47,7 a	14,8 a
Urano	39,3 a	15,3 a	47,1 a	14,5 a
Saturno	28,3 b	14,4 b	46,5 a	14,2 a
Promedio	37,6	15	46,4	14

Medias que no comparten una letra en común en sentido vertical son diferentes según Prueba de Tukey ($p > 0,05$)

Los nuevos cultivares de *Avena sativa* L. han evolucionado hacia un tipo recto, de baja altura y mayor índice de cosecha, elementos que han producido un aumento importante en el nivel productivo en las diferentes áreas de la región templada (Figura 5.5).

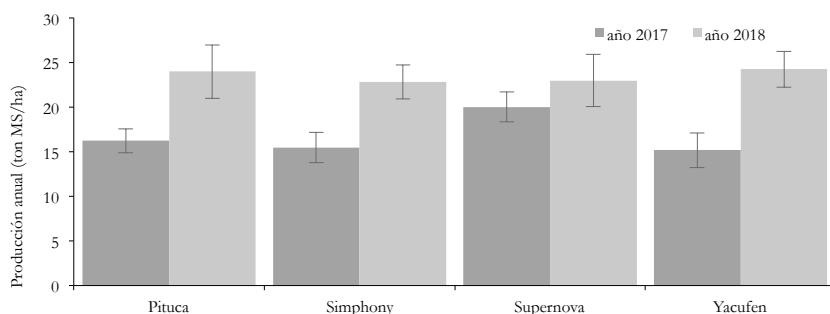


Figura 5.5. Rendimiento anual de cuatro cultivares de *Avena sativa* L. Estación Experimental Maquehue. Universidad de La Frontera. Temuco. 2017 - 2018.

Coefficiente de variación: 8,32%

Ensilaje: El ensilaje de avena puede ser elaborado en estados tempranos de desarrollo de las plantas solo si es confeccionado bajo la modalidad de pre deshidratado o premarchito. El corte para ensilaje en estados previos a floración reduce el rendimiento y mejora el valor nutritivo del forraje (David *et al.*, 2012). El hacer ensilajes de avena en estados tempranos de madurez tiene la limitante de presentar un alto contenido de humedad, que debe ser reducido a través de la exposición del forraje al viento y sol en una época donde las condiciones climáticas son inestables. Bajo estas condiciones existe el riesgo de ensilar el forraje húmedo, lo que aumenta las posibilidades de que durante el ensilaje ocurran fermentaciones butíricas, se expulsan del silo efluentes y se reduzca el valor nutritivo (McDonald *et al.*, 1991).

Cuando se elabora ensilaje en forma directa no es una buena práctica cosechar el forraje con valores elevados de materia seca. Cuando el forraje posee más del 40% de materia seca, en el ensilaje se reduce la estabilidad aeróbica (Pahlow *et al.*, 2003) debido a la disminución de productos controladores de hongos como el ácido acético (Wilkinson & Davies, 2013). Este deterioro se produce, principalmente, en el momento de la apertura del silo, cuando la masa ensilada queda expuesta al aire. Una alternativa de reducción del deterioro es la aplicación en el momento de elaborar el ensilaje de un inoculante bacteriano heterofermentativo que contenga *Lactobacillus buchneri* (Kleinschmit & Kung, 2006), bacteria que hoy se incluye en diversos inoculantes biológicos comerciales.

Consumo: Mediciones realizadas con ensilajes de corte directo han demostrado que el bajo contenido de materia seca produce niveles de nitrógeno amoniacal elevados (> 18%) que limitan el consumo de materia seca y la ganancia de peso de los animales (Tabla 5.8). Ensilajes elaborados con plantas de avena en estados de madurez avanzada presentan una disminución del contenido de ácido láctico, una reducción del proceso fermentativo y por tanto una disminución de su calidad (Hargreaves, 1994; Dumont *et al.*, 2005).

Tabla 5.8. Parámetros de calidad de ensilaje en distintos momentos de corte de *Avena sativa* L., consumo y ganancia de peso de vaquillas.

Ensilaje de avena	Panoja emergida	Grano pastoso
Materia seca (%)	15,8	29,4
Proteína (%)	9,5	7,7
pH	4,5	4,6
Nitrógeno amoniacal (%)	19,1	14,4
Consumo ensilaje (kg MS/cabeza/día)	2,3	3,0
Consumo total (kg MS/cabeza/día)	3,2	3,9
Ganancia de peso (kg PV/cabeza/día)	0,17	0,42

Fuente: adaptado de Dumont, 1987.

Triticum aestivum L. (trigo)

Los cereales de tipo templados como son el trigo (*Triticum*), cebada (*Hordeum*), avena (*Avena*), centeno (*Secale*) y el híbrido artificial triticale (*Triticosecale*), son de ciclo anual y han evolucionado en conjunto con la humanidad durante más de 11.000 años. Su desarrollo fue crítico para la sociedad moderna y se logró a través de la domesticación de los antepasados silvestres (Willcox & Stordeur, 2012; Stépanoff & Vigne, 2018).

En la década de los 60 del siglo pasado, el ingeniero agrónomo y genetista americano de ascendencia noruega Norman Ernest Borlaug produjo la mayor modificación en la arquitectura y producción de los cereales a través de la creación de cultivares de baja altura y alto rendimiento. Este logro le permitió la obtención del premio nobel de la paz en el año 1970 y por el cual, hasta hoy, se le reconoce como el padre de la agricultura moderna y de la revolución verde. Entre los considerandos definidos para la entrega de esta distinción estuvo la ayuda que generó este cambio en la creación de un nuevo escenario en el orbe, donde el pesimismo se transformó en optimismo, producto de la minimización de la dramática carrera que existía entre la explosión demográfica y la producción de alimentos.

Especies: Actualmente existen más de 30 especies de trigo, que se pueden clasificar según el número de cromosomas en diploides (14 cromosomas), tetraploides (28 cromosomas) y hexaploide (42 cromosomas). Solo tres especies son comercialmente importantes: *Triticum aestivum* L. (hexaploide) es la más importancia en el mundo y se la conoce como trigo panadero o harinero. La segunda en importancia mundial es *Triticum turgidum* cv. *durum* (tetraploide), que se caracteriza por presentar un alto contenido en gluten y es utilizada en

la elaboración de pastas y galletas. La tercera especie es *Triticum compactum* (hexaploide) considerada una sub especie del *Triticum aestivum* L. y se destina a la producción de un trigo blando utilizado en pastelería (Stépanoff & Vigne, 2018).

Descripción Botánica: El trigo es una especie monocotiledónea perteneciente a la familia Poaceae, subfamilia Pooideae, tribu Triticeae, género *Triticum*. Tiene un sistema radical fasciculado, constituido por un conjunto de raicillas de igual grosor. Sus raíces se concentran en los primeros 30 centímetros de profundidad, pero en condiciones de suelos profundos y mullidos alcanza hasta un metro. El tallo principal puede lograr una altura de 1,5 metros (Figura 5.6) y su tamaño depende del cultivar y nivel de nutrición de las plantas. Las hojas están constituidas por una vaina hendida longitudinalmente que envuelve al tallo sobre los nudos y la lámina suele ser larga, angosta y en su base tiene las aurículas cortas y entrecruzadas ligeramente (Curtis *et al.*, 2002).



Figura 5.6. *Triticum aestivum* L. (trigo)

A partir de las yemas axilares se desarrollan los macollos, cuyo número depende del cultivar, la densidad de siembra, la época de establecimiento, la nutrición de las plantas y la disponibilidad de agua. La inflorescencia corresponde a una espiga que se forma a partir de cada macollo. La floración ocurre una vez que la espiga está fuera de la vaina de la hoja superior o también denominada hoja bandera. Las flores se auto polinizan y proyectan sus estambres al exterior una vez terminada la antesis (periodo de floración). El llenado de grano (semilla) acontece desde la fecundación hasta la madurez fisiológica, momento en el que las espigas toman color pardo. El fruto es una cariópse de carácter indehisciente y contiene en su interior una sola semilla (Curtis *et al.*, 2002).

Utilización

Como forraje suplementario su principal forma de uso es como ensilaje. Sin embargo, desde su ingreso a Chile como cultivo de grano se sometió durante el invierno a pastoreo con el objetivo de reducir la competencia generada por las especies residentes o acompañantes y estimular la producción de tallos que permitirían obtener una mayor cantidad de espigas por metro cuadrado y así tener la posibilidad de optar a un mejor rendimiento en grano.

Desde mediados de los años 70 del siglo pasado, con el desarrollo de la tecnología de fertilización, aplicación de herbicidas e incorporación de cultivares de alto potencial de rendimiento, esta práctica fue abolida y el doble propósito fue eliminado como práctica en los campos de cultivos de cereales. Fue así como el uso de trigo en alimentación animal se limitó al consumo del grano seco, habitualmente descartado por la industria.

Con el desarrollo de sistemas intensivos de producción animal y el perfeccionamiento de las técnicas de ensilado el uso de cereales ensilados como planta entera pasó a ser una alternativa debido a la facilidad de cosecha, interesante volumen y calidad del forraje almacenado. Durante los últimos cuarenta años se ha evaluado y

utilizado el trigo para ensilaje, en especial en áreas donde no es factible el cultivo de maíz. Este ensilaje, al igual que el de todos los cereales de grano pequeño, es de fácil confección debido al buen contenido de carbohidratos y baja capacidad tampón. Desde el punto de vista nutricional presenta un adecuado nivel energético, elevado contenido de carbohidratos estructurales (fibra efectiva), bajo contenido de proteína e intermedio nivel de almidón.

Uso invernal

Los nuevos cultivares de trigo han permitido retomar la idea del uso invernal o doble propósito. Las evaluaciones realizadas en la Estación Experimental Maquehue, de la Universidad de La Frontera, han demostrado que es factible este uso y que tiene sólo como limitante el alto costo de la semilla. El periodo de siembra se extiende entre los meses de enero y marzo. El establecimiento se hace en cero labranza o mínima labor, lo que permite tener en invierno un piso firme para pastoreo.

La asociación de cereales de grano pequeño con especies forrajeras fue muy popular en el siglo pasado. El objetivo era proteger a la pastura contra las heladas y obtener un ingreso adicional con la venta del grano, que a veces financiaba el establecimiento de la pastura. Sin embargo, en esta práctica, los cultivos acompañantes siempre involucraron una gran competencia con las especies forrajeras y el resultado eran la obtención de pasturas con muy baja cobertura (Silva & Correa, 1969), por lo que esta forma de siembra fue descartada.

Los cultivares utilizados en siembras de uso invernal son de hábito de crecimiento alternativo o primaveral ya que presentan crecimiento en invierno a diferencia de los de tipo invernal que su follaje se desarrolla en primavera a partir del aumento de las horas de luz diaria (fotoperiodo). La dosis de semilla en siembras en línea o al voleo es 220 kg/ha equivalente a 440 semillas/m². La dosis se corrige de acuerdo con el peso, que cambia según el cultivar y la calidad de la semilla.

El uso de la pastura en invierno se hace cuando las plantas presentan entre dos y cuatro hojas expandidas (lígula visible). Los cultivares presentes en el mercado no se han seleccionado para el pastoreo y son sensibles al pisoteo extremo, lo que limita su utilización a través de un pastoreo controlado (cerco eléctrico) de baja presión.

Mediciones realizadas en la zona templada han demostrado que algunos cultivares de trigo pueden alcanzar una producción de forraje invernal similar, e incluso superior, a otros cereales de grano pequeño (Figura 5.7) con un alto valor nutritivo (Tabla 5.9).

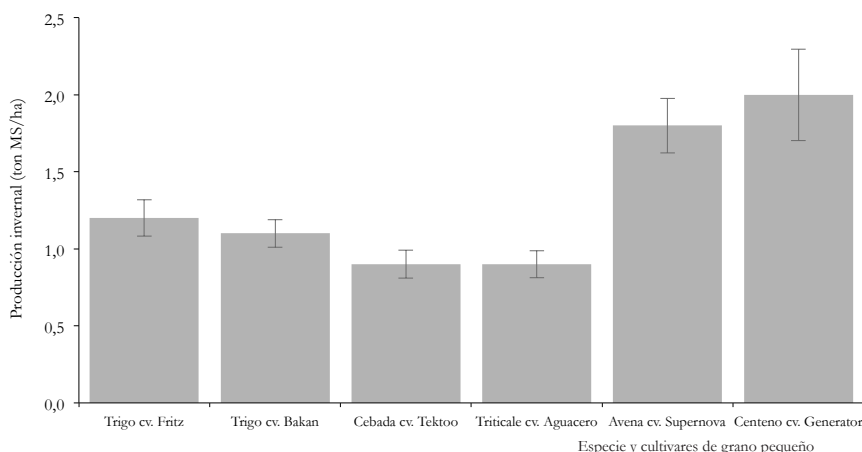


Figura 5.7. Producción invernal de especies y cultivares de cereales de grano pequeño. Periodo marzo – septiembre. Estación experimental Maquehue. Universidad de la Frontera. Temuco, 2018.

Coefficiente de variación: 9,78%

Tabla 5.9. Contenido en nutrientes de dos cultivares de *Triticum aestivum* L., evaluados al estado de cuatro hojas expandidas. Estación experimental Maquehue. Universidad de la Frontera. Temuco. Temporada 2018.

Componente	Unidad	Bakan	Fritz
Materia seca	%	12,9	13,1
Humedad	%	87,1	86,9
Proteína cruda	% MS	27,2	26,9
Proteína soluble	% PC	32,4	31,5
Proteína ligada FDA	% PC	3,1	3,1
Proteína ligada FDN	% PC	13,9	13,7
Proteína degradable ruminal	% PC	66,3	65,8
FDA	% MS	22,9	22,5
FDN	% MS	40,2	41,1
Lignina	% FDN	5,6	5,8
Digestibilidad FDN (30 horas)	% FDN	79,5	78,4
Almidón	% MS	1,8	2,1
Total nutrientes digestibles (NDT)	% MS	69,2	68,7

Uso doble propósito

El uso invernal (pastoreo) y posteriormente en primavera (doble propósito) es una alternativa de riesgo ya que cuando se producen condiciones climáticas adversas en invierno, si se acompaña de sobre pastoreo, se puede reducir la población de tallos y el rendimiento de grano o forraje conservado (ensilaje, henilaje o heno).

Las mediciones hechas en la Universidad de La Frontera han considerado el uso invernal y la producción de forraje para ensilaje, demostrando que bajo este esquema productivo el trigo logra un rendimiento anual de 17 ton MS/ha, de las que el 11% es producción invernal y el 89% de ensilaje (Figura 5.8).

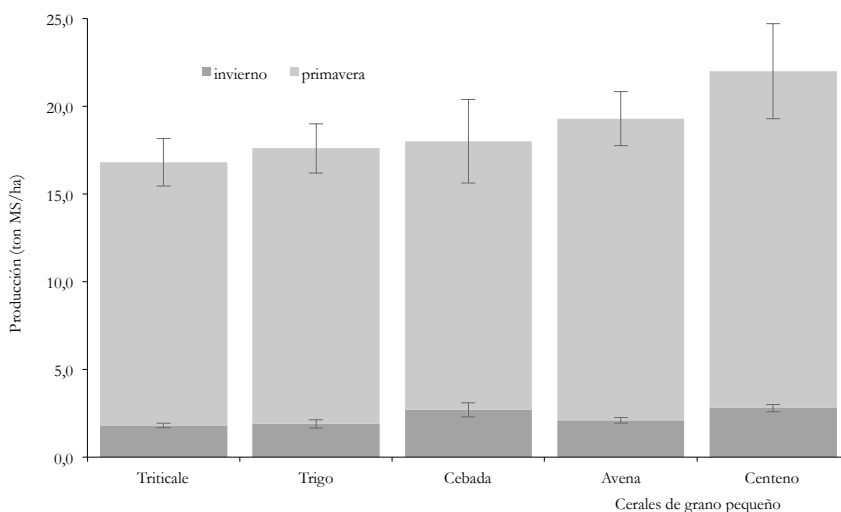


Figura 5.8. Producción de invierno y primavera de cinco especies de cereales de grano pequeño destinadas a pastoreo y producción de ensilaje. Estación experimental Maquehue. Universidad de La Frontera. Temuco. Temporada 2019.

Coefficiente de variación producción invernal: 7,56%

Coefficiente de variación producción primavera: 8,98

Uso en conservación de forraje

El principal objetivo que tiene *Triticum aestivum* L. como cultivo suplementario en la zona templada es la elaboración de ensilaje. El volumen y calidad que produce permite su inclusión en la dieta de vacas lecheras y ganado de carne.

El ensilaje de planta entera de cereales de grano pequeño se puede utilizar de forma tan eficiente como el ensilaje de maíz en dietas para ganado de carne y leche. Los resultados obtenidos en estudios realizados en Europa, Estados Unidos y Chile han demostrado que la inclusión de ensilaje de trigo en raciones para bovinos de engorde y vacas lecheras logra un 80% del nivel de respuesta animal respecto al uso de ensilaje de maíz, sólo si el trigo tiene una alta proporción de grano en el ensilaje (Staples *et al.*, 1984; Ariel & Adine, 1994; Harper *et al.*, 2017).

La siembra de trigo destinada a la elaboración de ensilaje se puede mezclar con leguminosas de crecimiento erecto, como es el *Trifolium pratense* L., con el objetivo de aprovechar en una labor el establecimiento de la leguminosa, cuya longevidad será de tres años. En el corte para ensilaje el trébol produce un aporte importante a la mezcla (> 8%) pero limita las aplicaciones de nitrógeno y el control químico de especies residentes, lo que se traduce en una reducción del rendimiento anual.

Otras mezclas se hacen con leguminosas anuales como arveja y vicia, en las que el crecimiento trepador puede obstaculizar el desarrollo del trigo hasta el punto de que en el momento del corte para ensilaje se presenta un dominio total de la leguminosa, lo que en la mayoría de los casos resulta en tendadura y dificultad de cosecha.

En el comercio mundial hay una gran oferta de cultivares de trigo, con hábitos de desarrollo invernal, alternativo y primaveral. La mejor opción para conservación de forraje es los cultivares alternativos; sin embargo, todas las opciones son factibles de utilizar y la diferencia está en el tiempo prolongado del uso del suelo (hábito invernal) y el menor potencial de crecimiento (hábito primaveral).

La fecha de siembra se extiende desde la primera quincena de junio hasta la última de agosto y el sistema de establecimiento puede ser desde cero labranza a siembra convencional con movimiento de suelo. La distancia entre hilera se define de acuerdo con la disponibilidad de maquinaria, pero es preferible el uso de sembradoras con distancia entre hilera de 12 cm, que permiten una mejor distribución de las semillas y una rápida cobertura del suelo.

La dosis de semilla es 400 semillas/m² cuya equivalencia en kilos cambia según el cultivar. En el caso del cultivar Fritz Baer la dosis es 200 kg de semilla/ha y en el del cultivar Bakan Baer de 240 kg/ha. El nitrógeno se aplica post siembra, y es posible aplicar dosis superiores a 250 kg/ha. Esta dosis implica la aplicación previa a la siembra de una enmienda de corrección equivalente a 4 kg de carbonato de calcio/kg de nitrógeno (1 ton cal/ha). Adicionalmente, las altas dosis de nitrógeno suponen el uso de reguladores del crecimiento como Cloruro de clomequat + Cloruro de colina (Belcofel), Cloruro de Mepiquat (Medax top), o Trinexapac-etilo (Moddus), entre otros, que se aplican en dosis y parcialidades (1 a 3) según el desarrollo del cultivo. Además, es necesario el control químico o manual de las especies acompañantes que obstaculizan el desarrollo de las plantas, produciendo una reducción de hasta un 40% en el rendimiento final para ensilaje y una modificación de los parámetros de calidad. Mediciones realizadas en la zona templada en condiciones de secano han demostrado que el trigo puede alcanzar un rendimiento entre 14 y 22 ton MS/ha (Figura 5.9).

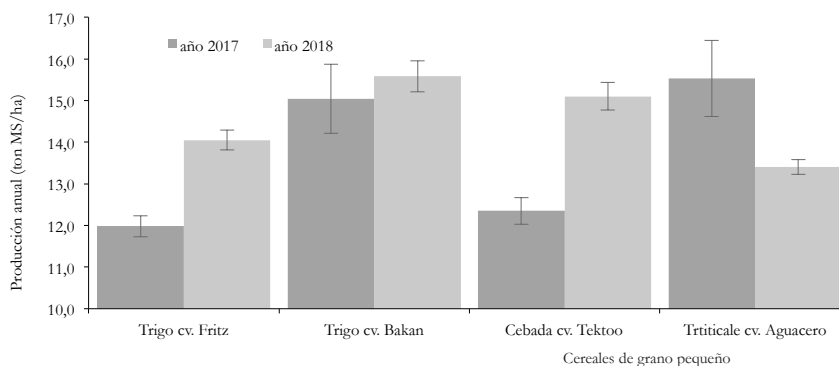


Figura 5.9. Rendimiento de cereales de grano pequeño destinado a elaboración de ensilaje. Estación experimental Maquehue. Universidad de La Frontera. Temuco. Temporadas 2017 y 2018.

Coefficiente de variación año 2017: 10,88%
 Coeficiente variación año 2018: 8,34%

El uso de ensilaje de planta completa de cereales de grano pequeño es una práctica difundida en todo el mundo, en especial, en Europa, Norteamérica y China (Huyghe *et al.*, 2014; Liua *et al.*, 2019). Entre estos cereales se ubica *Triticum aestivum* L. que es considerado un alimento que aporta fibra efectiva, un adecuado contenido de proteína y energía

Esta especie puede ser ensilada bajo las modalidades de corte directo o premarchito. El ensilaje de corte directo se desarrolla cuando el grano se encuentra pastoso. Estados de mayor madurez más del 35% son difíciles de ensilar debido a que es casi imposible compactar la masa ensilada. Esto produce un ambiente propenso para el desarrollo de hongos en el interior del ensilaje. En ensilaje premarchito el corte se puede efectuar en estados de menor madurez, lo que supone un menor rendimiento de materia seca pero una mayor digestibilidad del producto ensilado.

El estado fenológico de las plantas en el momento del corte y almacenaje define el valor nutritivo del ensilaje de *Triticum aestivum* L. (Tabla 5.10). Chen & Weinberg (2009) mencionan que los ensilajes de trigo elaborados con las plantas en estado de floración y grano pastoso son de mayor estabilidad y calidad respecto a los elaborados en estados maduros. Los ensilajes hechos con plantas en estados avanzados de madurez (grano harinoso) son difíciles de compactar e inestables bajo condiciones aeróbicas.

Tabla 5.10. Composición nutricional de ensilajes de trigo, maíz y pradera.

Componente	Unidad	Trigo	Maíz	Pradera
Materia seca	%	40 - 60	28 - 38	18 - 32
Energía metabolizable	Mcal/kg	2,2 - 2,5	2,5 - 2,8	2,2 - 2,8
Proteína cruda	%	09 - 12	07 - 10	12 - 18
Almidón	%	10 - 20	28 - 38	0
FDN	%	50 - 55	35 - 55	44 - 55
pH	%	4,0 - 5,3	3,5 - 4,2	3,7 - 4,5
N-NH ₃	%	3 - 7	4 - 7	4 - 15

x Triticosecale Wittmack (triticale)

Origen: Producto del cruzamiento artificial entre trigo (*Triticum* spp.) y centeno (*Secale cereale* L.), fue el primer cereal obtenido mediante cruzamiento por el hombre. El primer híbrido fue infértil y se produjo en Escocia en el año 1875 (Stace, 1987). En el año 1888 el agricultor y criador de plantas Arnold Diedrich Wilhelm Rimpau desarrolló en Alemania el híbrido viable de trigo y centeno hexaploide a través de la duplicación cromosómica espontánea (Mergoum *et al.*, 2009). En Hungría, en 1968 se obtuvo el primer híbrido comercial que hizo de Europa el continente pionero en el desarrollo de este cultivo (Blum, 2014).

Las características de este cereal son intermedias entre sus progenitores. Combina la robustez, la eficiencia de uso de nutrientes, la tolerancia al estrés hídrico y temperaturas bajas del centeno, el alto rendimiento de grano y las cualidades nutricionales del trigo (Furman *et al.*, 1997; Dennett *et al.*, 2013).

Descripción botánica: Es una especie de la familia Poaceae, subfamilia Pooideae, tribu Triticeae y género *Triticosecale*. La planta es de crecimiento erecto y los cultivares de hábito de desarrollo invernal tienen una alta densidad de macollos. Su color verde azulado resulta de la cristalización de la cera epicuticular, cuya máxima expresión se produce antes del espigado (Figura 5.10).



Figura 5.10. Triticale (*x Triticosecale* sp.).

Cultivares: Los cultivares desarrollados en las últimas décadas producen mayor cantidad de biomasa y rendimiento de grano que el trigo (Mergoum & Macpherson, 2004) y su producción es comparable con la del centeno (Kavanagh & Hall, 2015). Los cultivares comerciales son de hábito de crecimiento invernal y alternativo. Se siembran en suelos con deficiencias de nutrientes, condiciones de acidez y diversos factores de estrés biótico y abiótico (Jessop, 1996; Blum, 2014; Randhawa *et al.*, 2015; Liu *et al.*, 2017).

Utilización

En el mundo existe una superficie superior a cuatro millones de hectáreas de triticale, cuyo principal destino es la producción de grano. En total se producen anualmente 17 millones de toneladas, de las que el 72% se obtienen entre Polonia, Alemania, Bielorrusia y Francia (Ayalew *et al.*, 2018).

Las plantas tienen la capacidad de producir un sistema radical fuerte y profuso que les permite un buen anclaje al suelo. Además, adquiere fácilmente y hace un uso eficiente del nitrógeno del suelo, siendo un cultivo óptimo para siembras posteriores a otros cultivos que dejan nitrógeno residual en el suelo (Ketterings *et al.*, 2015a; Ketterings *et al.*, 2015b). Se puede incluir como cultivo intermedio (catch crop) entre siembras de maíz con el objetivo de reducir la lixiviación de nitrógeno y controlar parte de las especies residentes o acompañantes (Mergoum *et al.*, 2009; Ketterings *et al.*, 2015a).

En producción animal se utiliza principalmente como grano. Se incluye en las raciones de vacas lecheras y ganado de engorde sustituyendo a los granos de maíz, avena y cebada (Vidal & Jahn, 1989; McQueen & Fillmore, 1991; Rojas *et al.*, 1991). Como forraje se destina a pastoreo invernal, elaboración de ensilaje y doble propósito.

Uso invernal

La obtención de una producción temprana (mayor) se logra con siembras hechas entre los meses de enero y marzo. A diferencia de avena y trigo, las tasas de crecimiento iniciales son bajas, lo que implica que el retraso en la fecha de siembra reduce las posibilidades de uso en invierno. La dosis de semilla es 240 kg/ha, equivalente a 480 semillas/m², que permite lograr una alta densidad y cobertura del suelo, producto del efecto sinérgico creado por la competencia homotípica.

Los cultivares de triticale no han sido seleccionados para el pastoreo, solo se ha considerado para su cultivo la producción de grano y su tolerancia a enfermedades. La selección de los cultivares para pastoreo se ha en realizado en forma natural teniendo en cuenta que existen pocas opciones que soporten el consumo animal en invierno.

Para uso invernal se utilizan los cultivares con hábito de crecimiento primaveral que, además, pueden ser manejados con doble propósito, es decir, pastoreo invernal y producción de ensilaje o grano en primavera. Una alternativa es el cultivar Aguacero-INIA, que ha demostrado tener una cierta tolerancia a las condiciones habituales de estrés invernal como son las heladas, algunas inundaciones eventuales y sobrepastoreo.

Mediciones hechas en la localidad de Osorno en siembras de marzo demostraron que la acumulación de materia seca hasta el mes de julio fue de 0,86 ton MS/ha y hasta el mes de agosto 5,0 ton MS/ha (Teuber, 2000). Estos resultados son similares a los obtenidos en Temuco con el cultivar Aguacero, que sembrado en el mes de marzo alcanzó una producción acumulada hasta julio de 0,98 ton MS/ha y hasta septiembre de 6,1 ton MS/ha (Figura 5.11).

En invierno las plantas de triticale presentan un alto contenido de agua (Tabla 5.11), lo que limita el consumo de materia seca y nutrientes de los animales en pastoreo. Esto obliga a la inclusión en las dietas de forrajes fibrosos como pajas, henos o ensilajes elaborados en estados avanzados de madurez para cumplir con los requerimientos nutricionales.

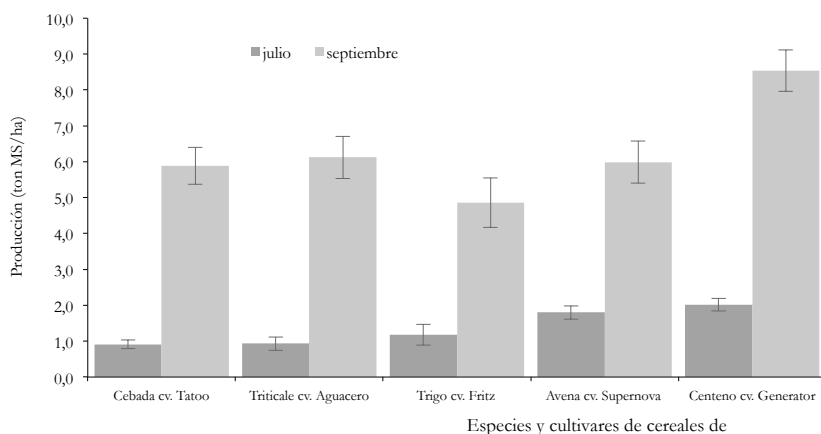


Figura 5.11. Acumulación de materia seca en el periodo invernal de cereales de grano pequeño (ton MS/ha). Estación Experimental Maquehue. Universidad de la Frontera. Temuco. Temporada, 2017.

Coefficiente de variación mes de julio: 10,11
 Coeficiente de variación mes de septiembre: 9,44

Tabla 5.11. Contenido de nutrientes de triticale cv. Aguacero medido en dos estados de desarrollo en el periodo invernal. Estación Experimental Maquehue. Universidad de la Frontera. Temuco. Temporada 2018.

Componente	Unidad	2 a 4 hojas	4 a 6 hojas
Materia seca	%	11,9	14,2
Humedad	%	87,1	86,9
Proteína cruda	% MS	32,5	30,2
Proteína soluble	% PC	35,8	36,2
Proteína ligada FDA	% PC	3,3	3,4
Proteína ligada FDN	% PC	14,5	14,8
Proteína degradable ruminal	% PC	70,2	69,2
FDA	% MS	21,8	22,6
FDN	% MS	38,9	40,5
Lignina	% FDN	5,5	5,7
Digestibilidad FDN (30 horas)	% FDN	80,2	79,4
Almidón	% MS	1,9	2,2
Total nutrientes digestibles (NDT)	% MS	70,1	69,4

Uso en doble propósito

Considerando el potencial productivo y la aptitud de producción de forraje de esta especie (Camide *et al.*, 1988; López, 1991) existen estudios que mencionan la utilidad del doble propósito en los que se considera el corte o pastoreo en las primeras etapas de crecimiento y la cosecha de grano o corte para ensilaje (Andrews *et al.*, 1991; Royo *et al.*, 1993). Si bien esta opción se utiliza de forma esporádica en algunos sectores de la zona templada, no es una práctica frecuente debido al desconocimiento que se tiene del comportamiento de los cultivares en condiciones de pastoreo.

Mediciones hechas en la localidad de Osorno demostraron que el uso invernal tiene un efecto negativo en la producción de ensilaje cuando no se respetan las normas de manejo de pastoreo (Teuber, 2000). Además, en la localidad de Temuco, en condiciones de secano se demostró que las especies de cereal de grano pequeño que más reducen su producción de primavera después de haber sido utilizadas en pastoreo invernal son el triticale y el trigo (Figura 5.8).

Uso en conservación de forraje

El uso de ensilaje de triticale en los sistemas de producción animal de la zona templada tiene por objetivo aportar a los animales un alimento voluminoso, de calidad energética y con alto aporte de fibra efectiva. Este forraje, además de alimentar al ganado, permite eliminar el uso de pajas de cereales en la ración.

La siembra de cultivares de hábito de crecimiento invernal se hace entre los meses de marzo a abril, los de hábito alternativos entre los meses de mayo a junio y los de primavera entre junio y agosto. El retraso de la época de siembra produce siempre una reducción de la producción y un aumento del riesgo de daño por heladas en el periodo de floración. En todas las alternativas la siembra se puede hacer de forma convencional, mínima labor o cero labranza. Para tener una mejor distribución espacial de las plantas y una mayor cobertura, la distancia entre hilera se ha reducido de 17,5 a 12 cm.

El tamaño de la semilla y la fecha de siembra definen la dosis de siembra. En cultivares de hábito de crecimiento invernal la dosis es 400 semillas/m² (200 kg semilla/ha) y en los de hábito de crecimiento alternativo y primaveral 480 semillas/m² equivalentes a 240 kg semilla/ha.

La mezcla de triticale con leguminosas trepadoras como vicia y arveja mejora el contenido de proteína respecto a la del triticale solo. Mediciones hechas en la zona templada demostraron que los cultivares disponibles en el mercado no tienen coincidencias en la altura y en el estado fenológico de los componentes de las mezclas, lo que produce tendedad y sobre maduración de una de las especies que conforman la asociación.

En una investigación realizada durante dos temporadas en la localidad de Temuco, se pudo observar que en dos fechas de siembra la asociación triticale + arveja y triticale + vicia presentaron una producción inferior a la alcanzada por el triticale sembrado solo (Figura 5.12). Esto se debe a la fuerte competencia heterotípica que se produce entre el triticale y la leguminosa, que no permite la expresión en altura y madurez del cereal. Este efecto fue evidente en la siembra tardía de septiembre, donde ambas leguminosas presentaron un aporte superior al 35% de la producción total (Figura 5.13).

La siembra de triticale asociada a pasturas perennes y de rotación es una alternativa que se utiliza para reducir los costos de siembra y adelantar el uso de las pasturas después de la cosecha del triticale para ensilaje. Este sistema no siempre tiene éxito y el resultado depende de la densidad de siembra del cereal. Con clima favorable y buen nivel de fertilidad del suelo el triticale presenta un gran desarrollo y eso reduce el desarrollo de las pasturas. La baja cobertura de la pastura que hay después de la cosecha del triticale obliga al uso de pastoreos intensos en el periodo de otoño y primavera, cuyo objetivo es promover el rápido desarrollo de nuevos tallos de las especies componentes.

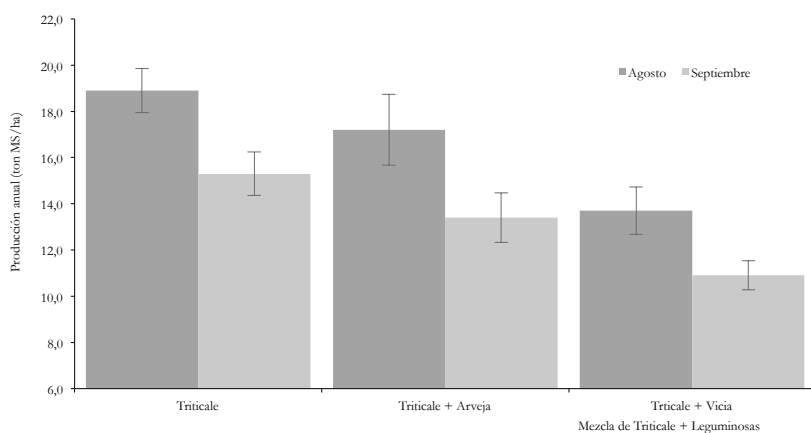


Figura 5.12. Efecto de la época de siembra en la producción de triticale, triticale + arveja y triticale + vicia. Estación experimental Maquehue. Universidad de La Frontera. Temuco. Promedio de años 2017 y 2018.

Coefficiente de variación agosto: 7.03%

Coefficiente de variación septiembre: 6.65%

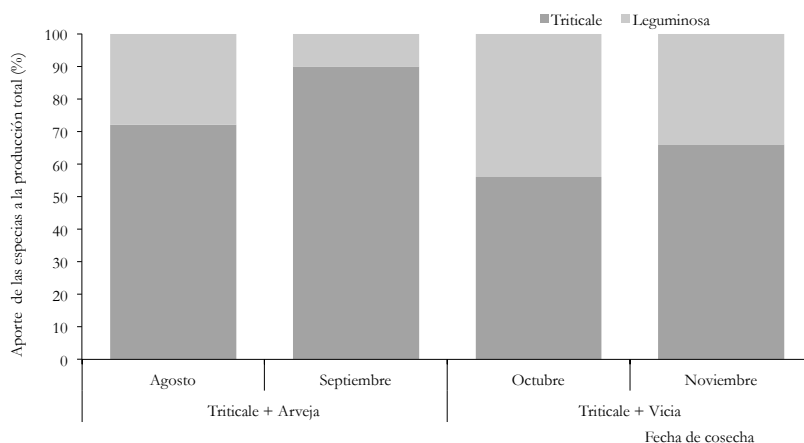


Figura 5.13. Efecto de la fecha de siembra en el aporte porcentual de las especies a la producción total de triticale + arveja y triticale + vicia. Estación experimental Maquehue. Universidad de La Frontera. Temuco. Promedio de los años 2017 y 2018.

Mediciones hechas en la localidad de Futrono demostraron que la siembra de triticale asociada a ballica perenne, establecidas en dosis de 160 semillas de triticale/m² y 600 semillas de ballica/m², produjeron 10,4 ton MS/ha en el corte de ensilaje, con un 4% de aporte de ballica y un 96% de triticale. La cobertura de la pastura medida dos meses después de la cosecha de ensilaje fue inferior a 55% ya que los espacios libres fueron ocupados por especies residentes.

Las principales labores que se desarrollan en el cultivo de triticale, una vez ocurrida la emergencia de las plantas, es el control de las especies residentes o acompañantes que pueden interferir de forma importante en el desarrollo de esta pastura. La forma de control puede ser química o mecánica y los productos o labores a desarrollar dependen de las especies presentes en el cultivo.

Para alcanzar un rendimiento superior a 15 ton MS/ha es necesario ajustar las dosis de nitrógeno según el tipo y nivel de fertilidad del suelo. En la zona templada los requerimientos habituales son entre 200 y 250 kg N/ha que son aplicados en dosis repartidas (de 2 a 3 aplicaciones) que tienen como condición la aplicación de enmiendas de neutralización, que es necesaria para el mantenimiento de un sistema equilibrado en el suelo. Con el uso de altas dosis de nitrógeno es necesaria la aplicación de reguladores de crecimiento para evitar la tendedura. Algunas alternativas son cloruro de cloromequat + cloruro de colina (belcel), cloruro de mepiquat (medax top), trinexapac-etilo (moddus), entre otros, que se aplican en dosis repartidas (de 1 a 3 aplicaciones) según el desarrollo del cultivo.

El momento de la cosecha (corte) se define según la forma de conservación (ensilaje, henilaje o heno), estado fenológico de las plantas y calidad esperada del forraje. Los cortes hechos en etapas tempranas (inmaduro) con la materia seca inferior al 25%, se hacen en forma de pre deshidratado o premarchito, con lo que se obtiene un forraje de buena digestibilidad y adecuado contenido energético y proteico, pero bajo rendimiento. En estados avanzados de madurez el ensilaje se puede realizar en forma de corte directo pero el porcentaje de materia seca es mayor al 25%, la fibra aumenta sobre el 45% y la proteína es inferior a 10% (Tabla 5.12).

Tabla 5.12. Efecto del momento de cosecha en el contenido de materia seca, rendimiento, porcentaje de proteína y contenido de energía metabolizable de triticale. Vilcún. Temporada 1999/2000.

Estado fenológico	Días de crecimiento	Producción (ton MS/ha)	MS (%)	PC (%)	EM (Mcal/kg)
Bota	190	11,71 e	20,2	10,6	2,56
Espiguilla visible	196	15,10 de	23	9,3	2,53
Antesis	203	18,57 d	26,2	7,6	2,46
Grano acuoso	217	23,92 bc	32,7	7,1	2,43
Grano lechoso	231	27,17 a	39,2	6,2	2,36
Grano harinoso	238	28,00 a	42,4	5,4	2,32
Grano duro	252	28,08 a	48,9	4,2	2,25

Cifras que no comparten letras son estadísticamente diferentes según prueba de Tukey ($p < 0,05$). Fuente: adaptado de Rojas *et al.*, 2004.

En la zona templada la producción alcanzada por el triticale ha sido superior a la de trigo, avena y cebada (Royo *et al.*, 1994). El equilibrio más favorable cantidad y calidad del forraje se ha conseguido cuando las plantas se cosechan en el estado de grano pastoso (Royo *et al.*, 1994; Rojas *et al.*, 2004). Mediciones hechas en la localidad de Temuco, en plantas cosechadas en estado de grano pastoso, alcanzaron una producción de entre 16 y 22 ton MS/ha (Figura 5.14).

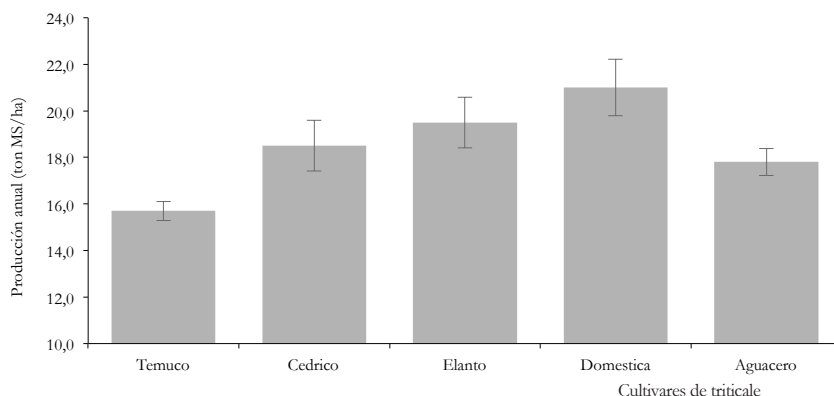


Figura 5.14. Producción de cinco cultivares de triticale. Estación Experimental Maquehue. Convenio Universidad de La Frontera – Anasac Chile S.A. Temuco, temporada 2016/2017. Coeficiente de variación: 4,73%

En los planteles lecheros y de engorde de ganado de carne la principal fuente de energía es el maíz grano o ensilado y de proteína afrecho de soya o raps, todos ellos alimentos con bajo contenido de fibra. La incorporación de ensilaje de triticale a la dieta aporta fibra efectiva que mejora la rumia y elimina el uso de residuos de cereales (pajas). Lo anterior demuestra que no es correcto comparar el ensilaje de maíz con el ensilaje de triticale, ya que no tienen el mismo objetivo en la dieta. El ensilaje de triticale aporta a las dietas la fibra efectiva y un nivel superior de proteínas que otros cereales (Harper *et al.*, 2017) (Tabla 5.13). Sin embargo, el contenido de nutrientes se reduce abruptamente con el avance del estado de madurez y con ello aumenta la variabilidad en su calidad nutricional (Tabla 5.14).

Tabla 5.13. Consumo y digestibilidad aparente de ensilaje de maíz, triticale y trigo consumido por vacas en lactancia.

Nutriente	Ensilaje de maíz	Ensilaje de triticale	Ensilaje de trigo
	Consumo (kg/día/animal)		
Materia seca	26,6	27	27,2
Proteína cruda	4,28	4,65	4,6
Almidón	7,33	5,77	5,62
FDN	8,85	9,18	9,25
FDA	5,61	5,99	6,01
Nutriente	Ensilaje de maíz	Ensilaje de triticale	Ensilaje de trigo
	Digestibilidad aparente (%)		
Materia seca	66,9	67	65,1
Proteína cruda	64,4	65	63
Almidón	99,5	99,3	99,1
FDN	44,2	47	42,9
FDA	37,1	41,9	36,8

Fuente: adaptado de Harper, *et al.*, 2017.

Tabla 5.14. Contenido nutricional de ensilajes de triticale.

Componente	Unidad	Contenido
Materia seca	%	28 - 32
Proteína	%	7,5 - 9,5
FDA	%	38 - 44
FDN	%	58 - 62
Energía metabolizable	Mcal/kg	2,2 - 2,3
Cenizas	%	5 - 7

Hordeum vulgare L. subsp. *vulgare* (cebada)

La cebada es el cuarto cereal de importancia en el mundo después del trigo, el maíz y el arroz. Anualmente se cosechan 47 millones de hectáreas, que producen 141 millones de toneladas (FAO, 2018). En la alimentación animal se incluye en las raciones como grano seco, grano húmedo, ensilaje o forraje fresco a través del pastoreo o soiling. En la zona templada es una alternativa al maíz y sorgo en áreas donde estos cereales no logran un buen nivel productivo (Rojas & Catrileo, 2000; Catrileo *et al.*, 2003; Elizalde & Gallardo, 2003; Elizalde & Menéndez, 2004).

Origen: Es una de las primeras especies domesticadas para el consumo humano y se han encontrado restos de cebada de hace aproximadamente 10.500 años equivalente a 8.480 años AC en Tell Abu Hureyra (Siria). La actual cebada es producto de la domesticación de la cebada silvestre (*Hordeum spontaneum* (K. Koch) Thell.), diploide, con 14 cromosomas y originaria del oriente medio, Marruecos y las altiplanicies de China. El inicio de su cultivo data de cuando el hombre neolítico recién adquiría su condición de agricultor y ganadero sedentario o seminómada, esto es de hace entre 7.650 y 7.550 años (5.630 – 5.530 AC) (Martínez-Moreno *et al.*, 2017).

Conocida por egipcios, griegos y romanos, la cebada fue parte del desarrollo de la civilización moderna, siendo utilizada para su consumo directo como grano y elaboración de cerveza. Las rutas de ingreso a Europa fueron diversas, siendo las principales el mar mediterráneo y los Pirineos (Zapata *et al.*, 2004; García-Martínez de Lagrán, 2015). En la historia de Europa la cebada marcó una diferenciación de clases sociales, donde los pobres solo podían consumir pan de cebada, mientras que el pan elaborado con trigo estaba reservado para los grupos más pudientes (Molina, 1989). La cebada ingresó en Chile con la colonización europea y su difusión se produjo a través de la producción de cerveza.

Descripción botánica: Se trata de una monocotiledónea anual perteneciente a la familia Poaceae, subfamilia Pooideae, tribu Triticeae y género *Hordeum*. La especie *Hordeum vulgare* L. se divide en dos subespecies: *Hordeum vulgare* L. subsp. *spontaneum* Kch. y *Hordeum vulgare* L. subsp. *vulgare*. Esta última está representada por dos especies cultivadas: *Hordeum distichon* L., que es utilizada para la elaboración de cerveza, y *Hordeum hexastichon* L., destinada a la producción de grano para alimentación animal (Molina, 1989).

Presenta un sistema radical fasciculado superficial que se concentra en los primeros 30 centímetros de profundidad. Es de crecimiento erecto y los tallos pueden alcanzar una altura de entre 0,8 y 1,5 metros, con entre seis y nueve internodos. Las hojas son más largas que las del trigo y poseen un par de aurículas largas y abrazadoras con cierta pigmentación proporcionada por las antocianinas. La lígula es glabra, corta y dentada. Los tallos secundarios, también denominados macollos, aparecen en la planta a partir de la tercera hoja. La inflorescencia es una espiga compacta que es generalmente barbada (Figura 5.15). El fruto es una cariópside y sus semillas logran la madurez fisiológica cuando la cariópside tiene entre 35% y 45% de humedad (Rosales, 1999).



Figura 5.15. Cebada (*Hordeum vulgare* L. subsp. *vulgare*).

Cultivares: Los cultivares de cebada se clasifican según su hábito de crecimiento en invernales, alternativos y primaverales. Entre estos los hay generados a partir de genética convencional o por hibridación. Los cultivares se pueden clasificar también según el número de hileras que tiene la espiga. La cebada posee tres espiguillas unifloras situadas sobre cada articulación del raquis. Cada espiguilla tiene dos glumas que envuelven los órganos reproductivos. De acuerdo a la fertilidad de la espiga las cebadas se dividen en dos grupos: cebadas de dos hileras, que sólo tiene la espiguilla central fértil, y cebadas de seis hileras, en las que las tres espiguillas producen grano (Salinas, 1996).

En el mercado también existen cultivares de cebada con grano vestido o desnudo. En los primeros el grano está encerrado en sus glumillas adherentes, prolongándose la glumilla inferior en una arista o barba que se caracteriza por ser áspera y de longitud variable (Canseco, 2004).

Los cultivares utilizados para producción de forraje son habitualmente de genética convencional, de hábito de crecimiento primaveral y que son destinados a la elaboración de ensilaje, en especial, en aquellas zonas donde no es posible el establecimiento y producción de maíz para ensilaje. Además, en la última década se han introducido en Chile materiales de cebadas convencionales e híbridos con hábito de crecimiento invernal, que se supone tienen mayor potencial de crecimiento y mejor calidad nutricional.

Utilización

Como forraje suplementario la principal forma de uso es la elaboración de ensilaje. Con el ingreso de cultivares con hábito de crecimiento invernal se ha estudiado su uso en pastoreo invernal y doble propósito, cuyos resultados son incipientes y requieren un mayor tiempo de experimentación, especialmente en relación con el manejo del pastoreo y carga animal.

Uso invernal y doble propósito

Para uso invernal y doble propósito sólo es posible utilizar cultivares de hábito de crecimiento invernal. Los cultivares de hábito primaveral producen un gran y rápido crecimiento invernal, pero su sensibilidad a helmintosporiosis (*Helminthosporium teres*) y rincosporiosis (*Rhynchosporium secalis*) causa la pérdida del follaje y muerte de parte de las plantas.

Mediciones realizadas en Temuco con cultivares híbridos de hábito de crecimiento invernal demostraron la sensibilidad de la cebada a la fecha de siembra y severidad de las condiciones climáticas de invierno. En siembras tempranas de marzo la producción de invierno fue superior a 2 ton MS/ha (Figura 5.8); sin embargo, en siembras de mediados de abril los mismos cultivares no alcanzaron 1 ton MS/ha (Figura 5.11).

Uso en conservación de forraje

En conservación de forraje la principal utilización de la cebada es la elaboración de ensilaje, que ha sido ampliamente estudiada en Chile ya que es una alternativa más económica y flexible que los ensilajes de maíz y sorgo. El papel nutricional del ensilaje de cebada en los sistemas ganaderos es clave ya que es una fuente de fibra, tanto digestible –energía metabolizable– como “efectiva” –buffer ruminal.

Para mejorar el contenido nutricional del ensilaje de cebada se ha estudiado la producción y calidad de mezclas con leguminosas trepadoras como arvejas afilas y vicias. En cuatro localidades de la zona templada las mediciones demostraron que la producción disminuía entre un 4 y un 18% respecto a la siembra sola, pero se produjo un aumento entre el 4 y el 5% del contenido de proteína. La principal razón de la reducción de la producción es la mala sincronía entre el crecimiento de las especies y la debilidad de los tallos de la cebada (Figura 5.16).

Para aprovechar la gestión y los costos de siembra, en algunos sectores de la zona templada se establecen mezclas de cebada con especies forrajeras de crecimiento erecto y longevidad no superior a tres años. Mediciones hechas en la localidad de Vilcún de las mezclas de cebada con trébol rosado, ballicas de rotación y ballica perenne + trébol blanco demostraron que ninguna de las alternativas mejoró la calidad del ensilaje y la densidad del cultivo de cebada provocó una reducción de la cobertura inicial de las pasturas (Catrileo *et al.*, 2003).

La fecha de siembra se extiende desde los meses de abril a septiembre. Los cultivares de hábito de crecimiento invernal (Tatoo, Tektoo y Antonella) se establecen entre abril y junio y los primaverales (Acuario y Alteza) entre julio y septiembre. En ambas épocas la siembra se puede hacer bajo un sistema convencional, con preparación de suelos, mínima labor o cero labranza y la elección depende del pre cultivo, las características físicas del suelo

y la disponibilidad de maquinaria. Para tener una rápida cobertura del suelo y una eficiente competencia con las especies residentes o acompañantes se utilizan maquinarias de siembra con distancia entre hilera de 15 ó 12 centímetros.

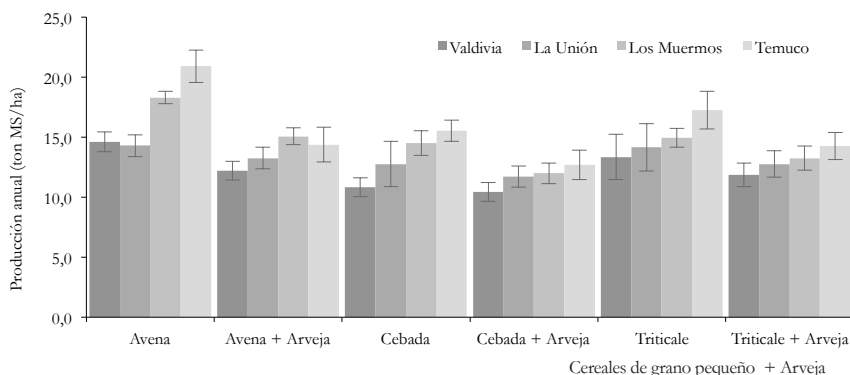


Figura 5.16. Producción de cuatro cereales de grano pequeño sembrados solos y en mezcla con arveja (*Pisum sativum* L.) en cuatro localidades de la zona templada. Temuco, Valdivia, La Unión, Los Muermos. Temporada 2017.

La dosis de semilla está determinada por la época de siembra, el tamaño de las semillas y la calidad de la preparación del suelo. En siembras de otoño – invierno la dosis de semilla es entre 140 y 160 kg/ha, equivalente a 280 y 320 semilla/m². En siembras de finales de invierno y primavera la dosis es entre 200 y 220 kg semilla/ha que equivalen a 400 y 440 semilla/m². Las dosis superiores en cada época se utilizan en suelos con preparación imperfecta y sistemas de cero labranza.

Después de a la emergencia de las plantas se desarrollan labores que permiten alcanzar altos rendimientos. La primera corresponde a la aplicación de nitrógeno, que se hace en dos o tres veces y en la que la dosis de aplicación cambia según el tipo de suelo y la expectativa de rendimiento. Para lograr producciones de materia seca superiores a 15 ton MS/ha se aplican entre 200 y 240 kg N/ha. La segunda es el control de las especies residentes o acompañantes, que se puede realizar con productos químicos o en forma mecánica (sistemas orgánicos). La tercera labor es la aplicación de reguladores del crecimiento, que permite disminuir las probabilidades de tendadura o encamado. Esta labor cuenta con diversas alternativas, entre las que destacan el uso del trinexapac-ethyl producto comercializado con el nombre de Moddus, cuya acción en la planta, una vez absorbido por las hojas, es inhibir temporalmente la conversión de una de las formas bioactivas del ácido giberélico, lo que conduce a una reducción del alargamiento de los entrenudos (Resende *et al.*, 2001; Faria *et al.*, 2015).

Mediciones hechas en cuatro localidades de la zona templada (Figura 5.17), mostraron que el trinexapac-ethyl producía un incremento del 5,4% en el rendimiento de cebada para ensilaje como consecuencia de la reducción de la tendadura de las plantas. El mantenimiento de las plantas erguidas hasta la cosecha facilitó las labores de corte y evitó las pérdidas de forraje.

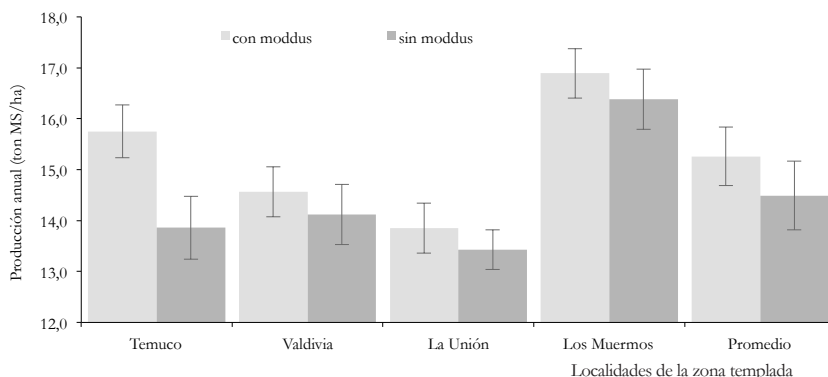


Figura 5.17. Efecto de la aplicación de un regulador de crecimiento (500 cc Moddus/ha) en la producción para ensilaje de cebada en cuatro localidades de la zona templada. Temuco, Valdivia, La Unión y Los Muermos. Temporada, 2016.

Coefficiente de variación: 3,99%

El estado fenológico en el que son cosechadas las plantas define la producción y calidad de la cebada destinada a la elaboración de ensilaje (Acosta *et al.*, 1991; Khorasani *et al.*, 1997). El rendimiento aumenta con el avance en la madurez de las plantas (Tabla 5.15) y la calidad con la disminución del aporte de los tallos (Acosta *et al.*, 1991; Canseco, 2004; Paine 2007) (Tabla 5.16).

Tabla 5.15. Producción de cebada cosechada en distintos estados fenológicos en localidades de la zona templada.

Estado fenológico	Producción (ton MS/ha)	Localidades
Encañado	1,02	Río Bueno
	1,04	Vilcún
Bota	3,38	Vilcún
Espigadura	5,3	Vilcún
Antesis	7,65	Río Bueno
	8,5	Vilcún
Grano lechoso	8,01	Vilcún
	13,2	Río Bueno
Grano harinoso	15,9	Vilcún
Caryopsis dura	17,13	Vilcún

Fuente: adaptado de Teuber *et al.*, 2000; Teuber *et al.*, 2001; Romero *et al.*, 1999; Hazard, *et al.*, 2001; Catrileo *et al.*, 2003.

Tabla 5.16. Efecto del estado fenológico en la altura, el contenido de materia seca, la producción y la proporción de espigas y tallos de cebada. Púa, 2013.

Estado fenológico	Altura (cm)	MS (%)	Producción (ton MS/ha)	Tallos (%)	Espiga (%)
Grano pastoso	104	32,0	18,5	65,8	34,2
Grano pastoso harinoso	103	37,2	18,4	52,3	47,7
Grano harinoso suave	105	44,1	22,7	44,0	56
Grano harinoso duro	104	58,1	21,7	38,5	61,5
Grano duro	93	87,3	19,6	35,1	64,9

Desde la perspectiva nutricional, los carbohidratos solubles en agua presentes en las plantas de cebada se polimerizan cuando los granos se encuentran en estado lechoso (Crovetto *et al.*, 1998). En esta etapa las plantas poseen una mayor concentración de azúcares (Burgess *et al.*, 1989) que producen un buen nivel de ácido láctico para estabilizar el pH en menos tiempo. Por su parte, la fibra aumenta con la madurez, pero se estabiliza con el llenado del grano permaneciendo su concentración constante a partir de ese momento (Filya, 2003). Con estos antecedentes parece lógico que el momento adecuado de corte para elaborar ensilaje es cuando las plantas se encuentran con sus granos en estado pastoso. Esto fue corroborado por Elizalde & Gallardo (2003), Canseco (2004) y Paine (2007) que determinaron que en esta etapa de madurez de las plantas se encuentra la mejor relación entre el rendimiento y la calidad nutricional (Tabla 5.17).

Tabla 5.17. Producción y contenido en nutrientes de cebada cv. Acuario cosechada en ocho estados fenológicos. Estación experimental Maquehue. Universidad de La Frontera. Temuco. Temporada 2003.

Estado fenológico	Escala Zadocks ¹	Altura (cm)	Hoja (%)	Producción (ton MS/ha)	MS (%)	PC (%)	FDA (%)	FDN (%)	EM (Mcal/kg)
Eje principal	Z 2.7	40	78	1,58	12,9	27,21	24,2	40,6	2,61
Tercer nudo	Z 3.3	73	63	4,71	12,8	19,73	33,8	50,3	2,26
Barbas visibles	Z 4.9	102	36	7,39	14	15,45	37,2	60,2	2,13
Espiga emergida	Z 5.9	109	25	9,69	17,9	9,92	38,7	65,6	2,07
Antesis	Z 6.9	112	18	10,56	19,3	9,13	42,3	65,9	1,94
Grano lechoso	Z 7.7	115	14	13,75	25,3	7,73	39,6	63,6	2,04
Grano harinoso	Z 8.5	112	13	15,76	27,4	7,59	36,9	61,6	2,14
Caryopsis dura	Z 9.2	100	6	24,97	55,4	5,64	33,1	51,1	2,28

1: Zadocks *et al.*, 1974.

Fuente: adaptado de Canseco, 2004.

El nivel de producción que se ha logrado con la incorporación de los cultivares híbridos de hábito de crecimiento invernal y que son sembrados en otoño supera las 20 ton MS/ha (Figura 5.18). En cultivares de hábito primaveral el rendimiento no supera las 16 ton MS/ha (Tabla 5.18).

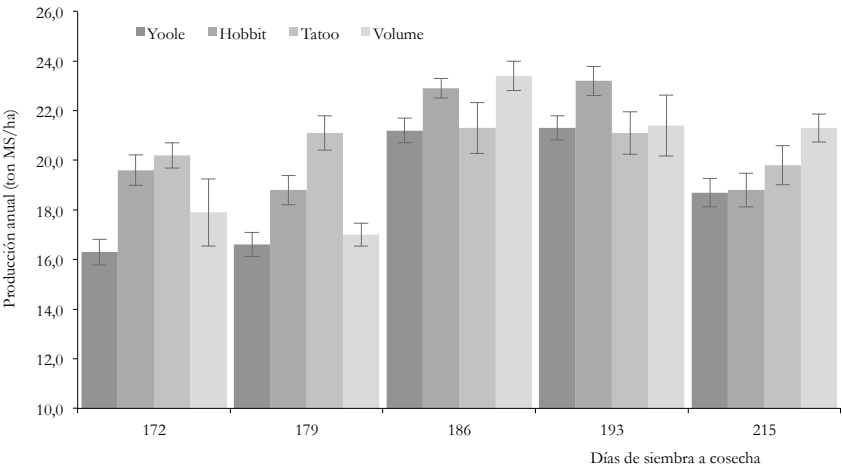


Figura 5.18. Producción de cebada para ensilaje. Estación Experimental Maquehue. Universidad de La Frontera. Temuco. Temporada 2016/2017.
 Coeficiente de variación: 5.98%

Tabla 5.18. Efecto de la época de cosecha en la producción y calidad de cebada para ensilaje. Estación experimental Maquehue. Universidad de La Frontera. Temuco. Temporada 2007.

Estado fenológico	Grano lechoso	Grano harinoso suave
Altura (cm)	98,0	96,0
Espiga (%)	26,6	51,0
Producción (ton MS/ha)	12,8	15,3
MS (%)	30,3	53,2
PC (%)	8,90	7,0
FDA (%)	36,0	32,2
FDN (%)	60,2	59,9
EM (Mcal/kg)	2,18	2,32

Fuente: adaptado de Paine, 2007.

La forma de elaborar el ensilaje define la calidad del producto conservado. En estado vegetativo o previo a la formación del grano el ensilaje se hace pre deshidratado. En estado pastoso la única forma de conservar este forraje es a través del ensilaje de corte directo, ya que en el proceso de deshidratado en el campo se produce una pérdida de grano que es parte importante del rendimiento y la calidad.

La ensilabilidad de la cebada depende del estado de madurez de las plantas debido a que a medida que avanza el desarrollo los granos son más duros y los cambios estructurales de las paredes celulares del tallo producen tallos más rígidos que son más difíciles de compactar en el silo que el material vegetal que se cosecha en las primeras etapas de madurez (Kennely & Weinberg, 2003). El mayor contenido de humedad de las plantas en estados anteriores al de grano lechoso genera procesos fermentativos más extensos en los que se producen pérdidas de materia seca y energía (Bergen, 1991).

Para mejorar y acelerar los procesos de fermentación en el ensilaje y reducir las pérdidas producidas por el impacto aeróbico una vez que se abre el silo, se aplica a la masa ensilada aditivos biológicos (McAllister *et al.*, 1991) que incluyen la bacteria homofermentativa *Lactobacillus plantarum* y la heterofermentativa *Lactobacillus buchneri*.

Mediciones hechas por Rojas & Catrileo (2000) demostraron que el ensilaje de cebada es una opción al de maíz ya que, en el estado de grano harinoso produce ganancias de peso similares a las alcanzadas por el del

maíz en novillos de engorde estabulados. En producción de leche el ensilaje de cebada supera en calidad, consumo y producción a los ensilajes de avena y trigo (Elizalde & Menéndez, 2004). Esta diferencia en la respuesta productiva de las vacas se debe al mayor contenido de almidón, menor concentración de fibra y mejor digestibilidad de la materia orgánica que posee el ensilaje de cebada (Nadeau, 2007).

***Secale cereale* (L.) M.Bieb (centeno)**

Origen: Es originaria de la península de Anatolia, en Asia menor (*Secale ancestrale*; *Secale montanum*). Fue reconocida como cereal (3.000 años AC) en Turquestán desde donde se extendió al norte de Europa. Su difusión a través del curso del Danubio y los Balcanes fue muy rápida. Durante el imperio romano, en los siglos I y II, ingresó en la zona del Po, Grecia y Macedonia. En la edad media adquiere relevancia y se transforma en el cereal panificable de mayor importancia hasta el siglo XIX, cuando fue desplazado por el trigo, cereal con mayor contenido de gluten y producción de harina de color blanco (López Bellido, 1991). En Chile ingresó con la colonización europea y desde entonces ha sido utilizado como fuente de grano para elaboración de harina (Figura 5.19).



Figura 5.19. Centeno (*Secale cereale* (L.) M.Bieb.)

En Chile la producción de grano se encuentra ubicada en áreas de pequeños productores que utilizan este cereal para autoconsumo y venta a nichos específicos de alimentos gourmet. La superficie de siembra no supera las 1.500 hectáreas y su cultivo se concentra entre las regiones de O'Higgins y La Araucanía. El uso forrajero es muy escaso y en algunos sectores se ha considerado como una opción para la elaboración de ensilaje sembrado solo o en mezcla con leguminosas de crecimiento erecto.

Descripción botánica: Se trata de una monocotiledónea perteneciente a familia Poaceae, subfamilia Pooideae, tribu Triticeae y género *Secale*. La arquitectura de la planta se caracteriza por presentar un crecimiento erecto, su inflorescencia es una espiga y el fruto una cariopsis. Posee un sistema radical fasciculado, de mayor desarrollo que otros cereales de grano pequeño, lo que le confiere una mayor rusticidad. Las raíces habitualmente se ubican próximas a la superficie del suelo, aunque presenta algunas que penetran hasta dos metros de profundidad. La polinización es cruzada y anemófila y sus cultivares no presentan homogeneidad y estabilidad como otros cereales. La semilla es de forma alargada, desnuda, ligeramente aplastada por los lados, habitualmente de color grisáceo y presenta una ligera sutura ventral que recorre desde el embrión hasta el inicio de la arista (Osca Llunch, 2007).

Cultivares: En Chile solo existen cultivares con hábito de crecimiento invernal. Los antiguos cultivares solo se utilizaban para la producción de grano, pero con el ingreso del cultivar diploide de floración precoz Generator se amplió el espectro al uso en pastoreo, conservación de forraje y producción de grano.

Uso invernall

En siembras tempranas a finales de verano, el centeno con hábito de crecimiento invernall ha demostrado que logra una producción de invierno significativamente superior a otros cereales de grano pequeño. En siembras hechas entre los meses de febrero y marzo se consigue una producción invernall superior a 2 ton MS/ha (Figura 5.11). El retraso en la fecha de siembra produce el desplazamiento de la disponibilidad de forraje para los meses de agosto y septiembre.

La mezcla de centeno y avena es una alternativa que permite acelerar la utilización invernall respecto a la siembra de centeno solo. Con esta asociación las mediciones realizadas han demostrado que es posible el uso de la pastura 15 días antes que cuando se usa el centeno solo, y el aporte de la avena a la producción invernall no supera el 45% (Tabla 5.19). Otra opción de mezcla es con ballicas de rotación y trébol rosado, que además de tener un aporte a la producción de invierno, incrementa en tres años la longevidad de la pastura.

Tabla 5. 19. Producción invernall y aporte de las especies a la composición botánica de centeno sembrado solo y en mezcla con dos cultivares de avena. Estación Experimental Maquehue. Universidad de La Frontera. Periodo abril – septiembre. Temporada 2018.

Especies	cv Centeno	cv. Avena	Producción (ton MS/ha)	Avena (%)	Centeno (%)
Centeno	Generator		5,14 a	0	100
Avena + Centeno	Generator	Supernova	4,79 a	42	58
Avena + Centeno	Generator	Pituca	4,47 a	38	62

Cifras que no comparten la misma letra son diferentes estadísticamente según prueba de Tukey ($p<0,05$) Periodo abril – septiembre. Temporada 2018.

Para uso invernall la siembra de centeno solo o asociado a otras especies se hace en sistema de cero labranza con el objetivo de tener un piso firme que soporte la presencia de animales en pastoreo en épocas de precipitación abundante. Siembras convencionales con movimiento de suelo no soportan el pisoteo animal.

La dosis de semilla en siembras solas es de 180 kg semillas/ha, equivalente a 450 semillas/m². En asociación con avena, ballica de rotación o trébol rosado, la dosis se reduce a 80 kg de semillas/ha que corresponde a 200 semillas/m².

El uso de centeno solo o asociado a otras especies en invierno se realiza con un pastoreo controlado donde prima el sistema infrecuente - laxo que permite la rápida recuperación del cereal. Pastoreos intensos dañan las plantas y limitan la capacidad de rebrote. Para lograr una alta eficiencia de utilización se usa cerco eléctrico móvil, en franjas largas y angostas que evita la destrucción excesiva de las plantas por pisoteo de los animales. El residuo mínimo es de siete centímetros y no es una buena práctica el consumo de las plantas en días con heladas.

La producción de invierno depende de diversos factores como son la fecha de siembra, el nivel de fertilidad del suelo, la nutrición de las plantas y el manejo del pastoreo. La mayor producción se logra en siembras de febrero y la invernall fluctúa entre 2 y 5 ton MS/ha.

Uso doble propósito

En doble propósito solo hay mediciones de la modalidad pastoreo invernall - elaboración de ensilaje. La fecha y el sistema de siembra, la dosis de semilla y el manejo de pastoreo se hace de igual forma a lo que se ha descrito en uso invernall. El pastoreo se interrumpe cuando el nudo reproductivo queda expuesto al consumo animal, es decir, a tres centímetros de altura del suelo. Mediciones realizadas en la Estación Experimental Maquehue de la Universidad de La Frontera en Temuco demostraron que el aporte de la producción invernall a la producción total fluctúa entre el 3 y 8% (Figura 5.8) y depende de la población de plantas supervivientes al estrés que significa el pastoreo invernall.

Uso en conservación de forraje

Con la entrada de cultivares de hábito de crecimiento invernall el uso para la elaboración de ensilaje pasó a constituir una alternativa de alto rendimiento y calidad. Las mediciones han demostrado la buena adaptabilidad y alta versatilidad que esta especie tiene en la zona templada.

Para elaboración de ensilaje se siembra solo o en mezcla con vicia o arveja. La inclusión de la leguminosa tiene por objetivo el aumento del contenido de proteína de la mezcla ensilada. Mediciones hechas en Temuco

demonstraron que existe un aumento de entre el 5 y 12% en el contenido de proteína, pero se produce una reducción de entre un 5 y 8% en la producción de materia seca respecto a la siembra de centeno solo.

La siembra se extiende desde el mes de mayo al mes de junio y el sistema de establecimiento puede ser hecho con cero labranza, mínima labor o labranza convencional. La elección de la forma de siembra depende del pre-cultivo y las condiciones particulares de cada sitio. La dosis de semilla depende de la época de siembra y la calidad de la preparación del suelo. En siembras de mayo y junio con labranza convencional la dosis de semilla es 140 kg/ha equivalentes a 350 semillas/m². En establecimientos posteriores y cero labranza la dosis es 160 kg semilla/ha (400 semillas/m²).

Después de la siembra hay labores que son necesarias para lograr un alto rendimiento. La primera es la aplicación de nitrógeno. La dosis total (160 kg N/ha) se reparte en dos o tres aplicaciones. La segunda, que está relacionada con el nitrógeno es la aplicación post emergente de reguladores de crecimiento para el control de la tendadura. Hay diversas opciones, pero las más utilizadas son el cloruro de mepiquat en dos aplicaciones: cuando la planta tiene un nudo (0,5 L Medax Top + 150 cc LI 700/ha) y con plantas en tres nudos (0,6 L Medax Top + 150 cc LI 700/ha). Otra alternativa es el uso de cloruro de cloromequat en dos aspersiones: cuando la planta tiene un nudo (2 L Belcotel 750 SL/ha) y con tres nudos (2,4 L Belcotel 750 SL/ha).

El periodo óptimo de cosecha es muy estrecho. El avance de la madurez es más rápido que en otros cereales ya que, en menos de diez días, las plantas pasan del estado de formación de grano a grano pastoso, con grandes diferencias en calidad. En la etapa Zadock 39, en la que se puede ver la lígula de la última hoja, el contenido de proteína de las plantas se aproxima al 18% y la FDN al 50%. En la etapa Zadock 55, en la que ya está formada la espiga, la proteína decae a valores inferiores al 14% y la FDN aumenta por encima del 60%. Con las plantas en estado de grano pastoso, la proteína es inferior al 7% y la FDN alcanza valores superiores al 65%, lo que hace disminuir su digestibilidad a niveles inferiores al 60%. Con esta variabilidad, la elaboración de ensilaje se hace de la forma premarchito, en las primeras etapas, y de corte directo en etapas avanzadas de madurez.

La producción para ensilaje depende de diversos factores como son la época de siembra, la dosis de nitrógeno, el manejo del cultivo, las condiciones del sitio y el estado fenológico de las plantas en el momento de la cosecha. En tres años de medición el centeno demostró ser una interesante alternativa para la producción de forraje para ensilaje, ya que el rendimiento fue similar o superior a otras especies de cereales de grano pequeño (Figura 5.20).

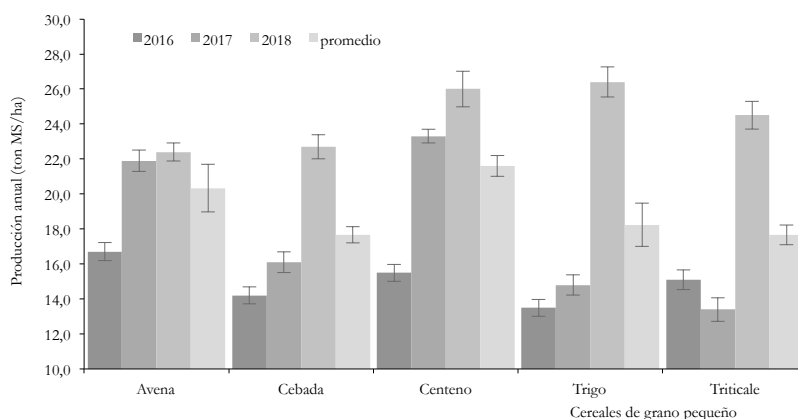


Figura 5.20. Producción de cinco cereales de grano pequeño para ensilaje. Estación Experimental Maquehue. Universidad de La Frontera. Temuco. Años 2016, 2017 y 2018.

Coefficiente de variación 2016: 6,58%
 Coeficiente de variación 2017: 7,54%
 Coeficiente de variación 2018: 8,81%

En algunas áreas de producción del mundo el centeno se utiliza como doble cultivo. Se siembra en verano para pastoreo invernal o elaboración de ensilaje en estados tempranos de madurez (premarchito), lo que permite la inclusión en primavera, de un segundo cultivo. Con alto contenido de proteína (16%) y energía superior a 2,5 Mcal/kg, pero baja producción (< 7 ton MS/ha), este producto es incluido en las dietas ganaderas como un alimento de calidad y alta digestibilidad (Tabla 5.20).

Tabla 5.20. Efecto de la época de cosecha en la producción y calidad del ensilaje de centeno.

Parámetro	Hoja bandera	Grano pastoso
Rendimiento (ton MS/ha)	6,9	12,7
Materia seca (%)	35,2	36,1
Proteína (%)	14,2	6,3
Energía metabolizable (Mcal/kg)	2,55	2,24
Digestibilidad (%)	68,9	59,3

Fuente: adaptado de Wannasek, *et al.*, 2019

Alelopatía

El centeno se usa ampliamente como cultivo de cobertura debido a sus efectos alelopáticos y su eficacia en la supresión de malezas. Es por esta razón por lo que en sistemas de rotación de cultivos es necesario tener en cuenta que los efectos alelopáticos que produce se prolongan hasta un año. El uso de centeno como pre-cultivo de alfalfa (*Medicago sativa* L.) produce a la siembra una reducción en la población de plantas de entre un 35 y 64% y una disminución en la producción de forraje entre un 15 y 43% en el año de siembra que se puede prolongar a temporadas posteriores (Adhikari *et al.*, 2018).

Impacto en los ecosistemas

El centeno es una planta que ha sido catalogada como un mejorador de suelos y conservador del recurso hídrico. Debido a su sistema radical fibroso produce una profusa exploración radical del suelo, mejorando su estructura, permeabilidad, contenido de humedad y biodiversidad. Incorporado al suelo como abono verde (de 30 a 60 ton material verde/ha) aumenta la cantidad y calidad de la materia orgánica a un ritmo de descomposición lento, más lento que cuando se usan otros cereales. Esto permite alcanzar una mayor retención de agua en el suelo y un mejor control de la erosión. Esta especie requiere entre un 20 y 30% menos de agua por unidad de materia seca producida que el trigo (GRDC, 2018).

Zea mays L. (maíz)

Origen: Se considera que fue una de las primeras especies cultivadas hace unos 7.000 a 10.000 años. La evidencia más antigua como alimento humano proviene de México, donde fueron encontradas pequeñas mazorcas estimadas en más de 5.000 años (Wilkes, 1979). La determinación del origen de *Zea mays* L. ha sido motivo de controversia.

Existen tres teorías cuya verosimilitud aún no ha podido ser aclarada con precisión. La teoría más antigua, denominada tripartita, posee tres postulados básicos:

- 1.- El maíz cultivado fue domesticado desde un maíz silvestre.
- 2.- Este maíz se hibridó con *Tripsacum* y dio origen a una nueva planta: el teocintle.
- 3.- La hibridación directa de maíz con *Tripsacum*, o la introgresión de germoplasma de *Tripsacum* vía teocintle, dio origen a la mayoría de los tipos de maíz que actualmente existen en el mundo (Mangelsdorf, 1961; Mangelsdorf & Reeves, 1959).

La segunda teoría sostiene que el maíz es el resultado de la hibridación entre *Tripsacum* y *Zea diploperennis* (Eubanks, 2001). La última teoría es la que tiene mayor cantidad de adeptos y postula que el teocintle anual mexicano fue el ancestro del maíz cultivado y que se originó mediante la domesticación realizada por el hombre (Sundberg & Orr, 1986; Matsuoka *et al.*, 2002).

Desde el centro de México el maíz se difundió a toda América del norte, central y del sur. Se considera que alrededor del año 1.000 DC experimentó un proceso de selección y mejoramiento por parte de los agricultores que reconocieron en esta especie un alimento energético de alto valor nutritivo (Listman & Estrada, 1992). Cuando llegaron los españoles a América se cultivaba desde Canadá a Chile con variedades mejoradas. Hacia finales del 1.500 el maíz era cultivado en España, Italia y sur de Francia, África y Asia, hasta donde llegó a través de comerciantes portugueses y árabes (Miracle, 1965; Brandolini, 1970). En menos de 300 años se difundió en todo el mundo y se transformó en un cultivo relevante en la mayoría de los países que lo cultivaron (Dowswell *et al.*, 1996).

En Chile fue introducido por los incas cien años antes de la llegada de los españoles y su cultivo era para la producción de grano y choclo fresco de consumo humano. Tuvo un centro de desarrollo genético en la zona norte de Chile, donde se pueden distinguir algunos ecotipos locales como Camiñano, LLuteño y Calameño, cuyos nombres están referidos a los lugares de adaptación y que hoy se consideran germoplasmas nativos y reservorios genéticos (Carevic, 2017).

Con la introducción de la ganadería doméstica en Chile, el maíz no solo fue destinado a la producción de grano, sino también al consumo de forraje verde fresco para los animales. La conservación como ensilaje fue hecha por primera vez en el año 1883 por Luis Dávila Larraín en el fundo Lo Caña, ubicado al oriente de Santiago (Águila, 1997).

Descripción botánica: El maíz es una especie monocotiledónea anual perteneciente a la familia Poaceae, subfamilia Panicoideae, género *Zea*. La planta posee una raíz primaria desde donde nacen algunas raíces adventicias que le permiten mantenerse erecta. El tallo es grueso, con epidermis exterior impermeable y transparente. Sus hojas tienen forma alargada y se ubican arrolladas al tallo. La planta es monoica con flores unisexuales. A partir de las yemas axilares de las hojas nacen la inflorescencia femenina, que corresponde a la mazorca (Figura 5.21). La inflorescencia masculina es la panícula, en la que a partir de los estambres se desarrolla el polen que cae en los pistilos ubicados en la mazorca. El grano es un fruto independiente que posee el nombre de cariósipide (Kato *et al.*, 2009).



Figura 5.21. Maíz (*Zea mays* L.)

Semilla: En todo el mundo el mercado ofrece semillas procedentes de variedades de polinización libre o abierta, que se multiplican generalmente a nivel local, especialmente en el área andina. Se producen por polinización no controlada o abierta y aun cuando poseen una apariencia característica, las plantas resultan ser desuniformes en tamaño, arquitectura, precocidad y tamaño de mazorca y grano.

Para producción de ensilaje la semilla que se utiliza es híbrida, resultado del cruzamiento controlado de líneas puras seleccionadas. Existen diferentes tipos de cruzamiento que buscan características definidas del híbrido que se pretende producir. Este se logra seleccionando una línea pura, que se fecunda con su propio polen por lo menos cinco años para obtener el mayor porcentaje posible de homocigosis. Según el número de líneas puras que intervienen en la producción, los híbridos se clasifican en híbridos simples, dobles y de tres líneas (Tabla 5.21).

El tamaño, forma y color de los granos, así como la consistencia del almidón, permiten la agrupación de las semillas de maíz. Las principales categorías corresponden a dentado, córneo, amiláceo, reventón, céreo y tunicado (Tabla 5.22). En cada uno de estos grupos hay diversos calibres que determinan el tipo de máquina y disco de siembra a emplear.

Tabla 5.21. Tipos de híbridos de maíz (*Zea mays* L.).

Tipo de híbrido	Cruzamiento
Simple	Cruzamiento de dos líneas puras
Dobles	Cruzamiento entre dos híbridos simples
Tres líneas	Cruzamiento entre un híbrido simple y una línea pura

Tabla 5.22. Agrupación de las semillas de maíz según sus características físicas.

Tipo de grano	Características principales
Dentado	Almidón blando. Posee una hendidura en la corona del grano
Córneo o cristalino (camelia)	Grano duro, liso y posee poco almidón blando
Amiláceo harinoso	Alta proporción de almidón blando y el grano es poco dentado
Reventón (<i>Popcorn</i>)	Endosperma con almidón córneo. El grano contiene sustancia coloidal que permite incremento de presión de vapor que al calentar revienta
Céreo	Grano de aspecto ceroso. El almidón está formado en su totalidad por amilopectina
Tunicado	Sus granos están cubiertos por una vaina

Fuente: adaptado de Altamirano, 1978.

El primer cultivar de maíz utilizado en Chile fue Eureka, que presentaba una mala relación mazorca/planta entera. Posteriormente, la Estación Experimental de la Universidad de Chile, produjo un cultivar para ensilaje denominado LH-Rinconada, que fue ampliamente utilizado en la zona mediterránea de riego (Águila, 1997).

Híbridos: A nivel mundial se acepta la clasificación de los híbridos de maíz mediante un índice establecido en el año 1952 por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) que cataloga los híbridos en 10 grupos según su precocidad. Esta segmentación ubica a los híbridos según el índice FAO de 100 a 1.000 y se basa en los días que se requieren entre la siembra y la madurez fisiológica, medida en el área del cinturón maiceros (*corn belt*) ubicado en la región del medio oeste de los Estados Unidos (Tabla 5.23).

Tabla 5.23. Clasificación de los híbridos de maíz según el índice de precocidad de la FAO.

Índice FAO	Integral térmica (Grados día (°C) acumulados)	Días ¹
200	< 1.826	86 - 95
300	1.826 - 1.925	96 - 105
400	1.926 - 2.000	106 - 115
500	2.001 - 2.075	116 - 120
600	2.076 - 2.125	121 - 130
700	2.126 - 2.176	131 - 140
800	2.177 - 2.227	141 - 150
900	2.228 - 2.278	151 - 160
1.000	> 2.278	> 160

1: Días entre la siembra y la madurez fisiológica (30 a 35% humedad en el grano).

Este índice incorpora la integral térmica, que corresponde a la acumulación de grados día desde la siembra hasta la madurez fisiológica, momento en que el grano posee entre 30 y 35% de humedad. Según la zona los híbridos pueden tener distinto índice ya que el comportamiento depende de la acumulación de temperatura y las condiciones ambientales específicas del sitio de producción. Así cada híbrido tiene su propia integral térmica, tanto para la floración, como para la madurez fisiológica, que se mantiene constante entre años, pero cambia según el número de días que demora la floración y la madurez fisiológica y que está definido por la condición de humedad y temperatura del ambiente. En años cálidos el número de días entre la siembra y la madurez fisiológica es menor que en años húmedos.

Un ejemplo es la zona templada, que en los últimos 25 años los grados día acumulados base 6°C ha fluctuado entre 1.560 y 2.450 y el periodo desde la siembra a la madurez fisiológica entre 164 y 178 días. Esta condición ha determinado que para la zona templada los híbridos más estables en comportamiento productivo sean aquellos que poseen un índice FAO de 180 a 240. Este amplio rango de índice FAO está definido por las condiciones climáticas, que cambian con la latitud y altitud. En dirección sur y a mayor altitud los híbridos utilizados son de mayor precocidad (FAO 180 a 210) y en las zonas más cercanas a la costa y en latitud inferior se usan los híbridos de precocidad intermedia (FAO 220 a 240).

Además de la precocidad, Demanet (2019) menciona otros parámetros relevantes en la elección de un híbrido para la elaboración de ensilaje:

- ✓ Vigor de las plantas y tolerancia a frío: Las semillas tienen que cumplir con los test de germinación y vigor en frío (*cold test*). Para semillas sembradas en zonas de bajas temperaturas el vigor en frío se realiza sometiendo a la semilla durante cuatro días a temperaturas de 8°C y en zonas más cálidas esta prueba se hace manteniendo las semillas el mismo número de días a 10°C.
- ✓ Rendimiento: En la zona templada los resultados experimentales y de campo han demostrado que el rendimiento que puede alcanzar un híbrido en condiciones de siembra convencional y nutrición equilibrada es, en promedio 24 ton MS/ha, con un rango de 18 a 32 ton MS/ha.
- ✓ Estabilidad de las plantas: El híbrido debe ser tolerante a plagas y enfermedades de la zona y resistente a la tendadura causada por los habituales vientos que se generan antes del momento de la cosecha. Las principales plagas que afectan a la planta en su establecimiento son *Listronotus bonariensis* (Kuschel), que corresponde al gorgojo barrenador del tallo de las ballica. En la mazorca es habitual la presencia de *Heliothis zea* (Boddie), *noctuidae*, *syn Helicoverpa zea* (gusano del choclo), *Rhopalosiphum maidis* (Fitch) y *R. padi* (L.) (pulgón negro). En cuanto a enfermedades, el híbrido debe ser tolerante al ataque de *Puccinia sorghi* (roya común del maíz).
- ✓ Producción de grano: Los híbridos de mayor calidad bromatológica presentan un índice de cosecha superior al 40%, que es la relación entre la producción de grano y el rendimiento de la planta entera en base a materia seca. En la zona templada se espera que los híbridos presenten una producción de grano húmedo de 15.000 kilos/ha, que equivalen a 12.000 kilos/ha en base a un 14,5% de humedad del grano.
- ✓ Contenido en almidón: Considerando que el maíz es cosechado con un contenido de materia seca entre el 30 y el 35%, el nivel mínimo de almidón que se espera tener en el híbrido seleccionado es del 30%.
- ✓ Energía metabolizable: Una de las características de mayor importancia en el maíz para ensilaje, es la producción de energía. El contenido mínimo exigido para escoger un híbrido es de 2,8 Mcal/kg.
- ✓ Digestibilidad y valor nutritivo: La digestibilidad de la fibra y de la materia seca, son parámetros que determinan el valor nutritivo del maíz ensilado. Este es un parámetro que está relacionado, directamente, con el estado de madurez de la planta en el momento de la cosecha. Al seleccionar el híbrido se espera que este posea una digestibilidad de la fibra superior al 68%.
- ✓ Inclusión en la dieta de los animales: En dietas basadas en uso de pasturas, en las que hay excesos de proteína, la inclusión de ensilaje de alto contenido de almidón permite una adecuada complementación (híbrido precoz). En raciones con predominio de granos y concentrados, el híbrido debe contener niveles intermedios de almidón debido a que consumos excesivos de ensilaje de maíz con alto contenido de almidón pueden generar problemas de acidosis ruminal.

Durante 28 años la Universidad de La Frontera midió en las localidades de Temuco y Futrono un total de 240 híbridos para ensilaje con el objetivo de definir la capacidad de adaptación a las condiciones de la zona templada en riego y secano. Los híbridos más recientes se presentan en la Tabla 5.24, en la que es posible observar un amplio rango de precocidad (índice FAO entre 170 y 230).

Tabla 5.24. Híbridos de maíz para ensilaje evaluados en la zona templada y ordenados según nivel de precocidad (Índice FAO).

Híbrido	Índice FAO	Híbrido	Índice FAO
Conny	170	Metronom	220
Fieldstar	180	Messago	220
Severus	180	LG 30.220	220
8070	180	P7631	220
Barman	190	Hobbit	220
Mas 11.F	190	Falkone	220
RGT Oxxgood	200	T-90	220
LG 30.211 HDI	200	9005	220
Koloris	200	LG 30.224	225
Mas 12.H	210	9010	225
Davos	210	9012	228
Ambrosini	215	Ricardinio	230
P7524	215	P7951	230
Mas 18.T	220	Ayrro	230
LG 30.218 HSV	220	9020	230

En la zona templada la evolución de este cultivo estuvo determinada por la inclusión de híbridos provenientes del norte de Europa, principalmente materiales precoces (FAO < 210) de alto rendimiento y calidad (almidón). Además, se desarrolló en paralelo la tecnología de cosecha y conservación, lo que permitió hacer las operaciones de forma oportuna y rápida. El producto final alcanzado por la tecnología actual ha permitido lograr niveles de rendimiento superiores a 25 ton MS/ha, con una calidad marcada por buenos niveles de materia seca y nutrientes.

Requerimientos del cultivo: La producción de materia seca está supeditada a la disponibilidad de agua y al cumplimiento de los requerimientos térmicos. En mediciones realizadas en las zonas de Temuco, Valdivia y Futrono se ha determinado que por cada milímetro de agua que llega al maíz (mediante lluvia o riego) en el periodo de diciembre a marzo, se producen entre 30 y 40 kg de materia seca por hectárea.

El maíz es una planta que presenta un buen crecimiento cuando la temperatura ambiente se encuentra entre 18 y 28°C. Con temperaturas promedio entre 20 y 22°C y máximas no superiores a 30°C se logra su mejor crecimiento. En el periodo de establecimiento las bajas temperaturas (< 8°C) asociadas a escasa luminosidad afectan el desarrollo inicial de las plantas limitando la absorción de nutrientes. Esto es especialmente evidente en la zona de suelos de origen volcánico, ya que se reduce la absorción de fósforo y con ello la planta presenta el síntoma característico, esto es, coloración violácea de las hojas.

Temperaturas superiores a 32°C reducen la capacidad de producción de grano, provocando el enrollamiento de los estilos (pelos de los choclos) y con ello la reducción de la polinización y fecundación. En estas condiciones las mazorcas presentan espacios en los que no existe grano. Cada híbrido tiene un requerimiento térmico necesario para su crecimiento y desarrollo, valor que es medido en horas calóricas. En los híbridos utilizados en la zona templada el requerimiento mínimo de horas calóricas necesario para lograr un rendimiento superior a 18 ton MS/ha es de 1.800 grados día base 6°C.

La expresión del rendimiento de una planta es multifactorial, pero existen situaciones complejas al inicio del desarrollo del cultivo que se pueden mantener hasta la cosecha afectando a la producción y calidad. Uno de estos factores contrarios a la expresión de la producción son las heladas en los primeros estados de desarrollo de las plantas. Las heladas producen clorosis y posteriormente necrosis del tejido vegetal que se mantiene hasta la cosecha, en la que las hojas afectadas presentan hongos saprofitos oportunistas como *Cladosporium* sp., *Stemphylium* sp. y *Alternaria* sp. (Figura 5.22).



Figura 5.22. Efecto de la helada en plantas de maíz para ensilaje.

Rotación de cultivos: En la zona templada el maíz no presenta problemas sanitarios importantes. Hay evidencia de siembras de maíz durante más de doce años consecutivos en el mismo suelo, en las que el cultivo no ha presentado problemas sanitarios ni tampoco reducción de rendimiento. Sin embargo, en el mantenimiento de este monocultivo siempre se ha aplicado un perfecto balance nutricional a través de fertilización orgánica e inorgánica, intentando mantener una alta actividad biológica y reponiendo todos los años la mayor parte de los nutrientes extraídos.

Periodo de siembra: Se establece en el mes de octubre, cuando la temperatura del suelo es superior a 10°C. Temperaturas inferiores producen germinaciones y emergencias defectuosas que en algunos híbridos pueden reducir la población de plantas hasta en un 60%, ocasionando una pérdida irreversible de producción. Algunas semillas de híbridos poco tolerantes al frío germinan desarrollando sólo la radícula y no la plántula completa. Para reducir este riesgo se usan semillas con valor de *cold test* superior al 90%.

Para evitar el estrés térmico en el momento de la siembra, controlar las especies residentes y mejorar el mantenimiento de la humedad del suelo se utiliza un acolchado o *mulching* de polietileno biodegradable ubicado en franjas sobre la línea de siembra del maíz. Esta técnica evita el paso de la luz fotosintética, reduciendo el desarrollo de malezas y el consumo de agua. Este doble filtro actúa acumulando calor durante el día y liberándolo en la noche, lo que reduce el riesgo de bajas temperaturas y heladas (Robledo y Martín, 1988). Con esta tecnología es posible adelantar la fecha de siembra y asegurar una condición apropiada para la germinación y desarrollo de las plántulas. Además, se mejora el control inicial de malezas, se reduce la presencia de enfermedades, mejora el ciclo del nitrógeno, disminuye la evaporación e incrementar el rendimiento en hasta un 25% (Montemayor *et al.*, 2018).

Un estudio realizado en la zona templada demostró que el retraso en la época de siembra produce una reducción significativa en el rendimiento y contenido de materia seca en el momento de la cosecha de la planta entera (Tabla 5.25) y una disminución del contenido de almidón en el ensilaje (Parga & Torres, 1993).

Tabla 5.25. Efecto de la época de siembra en la producción y porcentaje de materia seca del maíz para ensilaje.

Fecha de siembra	MS planta entera (%)	Producción (ton MS/ha)	Reducción rendimiento (%)
10 a 20 de octubre	27,01	17,40	0
21 a 31 de octubre	27,37	16,25	7
1 a 11 de noviembre	25,22	15,35	12
12 a 22 de noviembre	24,08	14,35	18
22 de noviembre en adelante	21,57	13,71	21

Fuente: adaptado de Klein *et al.*, 1990.

Sistema de siembra: La forma más utilizada en la siembra es la labranza convencional, en la que se incluye la incorporación de rastrojos y enmiendas orgánicas. Además, en esta labranza se aplica el paso del arado subsolador con el objetivo de reducir la compactación de los suelos provocada por el excesivo paso de maquinaria en las labores de siembra y cosecha. También es posible sembrar maíz en sistema de mínima labor y cero labranza.

La incorporación de rastrojos y el uso de enmiendas orgánicas (guanos) permiten mejorar la estabilidad de los agregados del suelo, mejorando su estructura. Además, produce un ambiente edáfico caracterizado por la presencia de macro poros que permite un mayor intercambio de aire, movimiento de agua y exploración radical (Ellies *et al.*, 1991; Ellies, 1994). También esta incorporación dificulta los procesos de erosión característicos de los suelos de la zona templada en los que este riesgo es alto como consecuencia de las condiciones climáticas y geomorfológicas (Honorato, 2000). Estos beneficios son mayores cuando se usa el paso de arado subsolador que rompe y resquebraja el perfil en profundidad, en especial, cuando esta labor se realiza con el suelo seco (Faiguenbaum, 2017).

La descompactación del suelo es una labor que permite al sistema radical su expansión en el perfil del suelo tanto de forma lateral, como en profundidad. La exploración en profundidad deriva en un incremento en la absorción de nutrientes y en una mayor eficiencia en el uso del agua, lo que conlleva una mayor producción. Los síntomas de este problema suelen pasar inadvertidos dado que se confunden con deficiencias de nutrientes, pero la observación de las raíces puede aclarar la real causa. Una manifestación evidente de compactación se puede observar entre el periodo de floración y la formación de grano, en el que las plantas presentan una característica amarillez que avanza desde las hojas basales hasta las hojas ubicadas en torno a la mazorca (Faiguenbaum, 2017).

Densidad de siembra: La siembra se hace en línea con máquinas de precisión a distancia definitiva. La dosis fluctúa entre 100.000 y 105.000 semillas/ha con el objetivo de lograr una densidad de 10 plantas/m² (Tabla 5.26). El exceso de plantas produce mazorcas pequeñas y tallos débiles, lo que retrasa la madurez del grano e incrementa la susceptibilidad a la tendadura (Parodi & Altamirano, 1995). Poblaciones inferiores a 100.000 plantas/ha favorecen el proceso de maduración del grano y aumentan el diámetro de los tallos y las mazorcas, pero reducen la producción de forraje.

Tabla 5.26. Número de semillas de maíz por kilo y kilos de semilla/ha equivalente a una siembra de 100.000 semillas/ha.

Híbridos	Nº semillas/kg	kg de semilla/ha
Katarsis	4.542	22,0
Corfelixx	4.487	22,3
LG 30224	4.475	22,3
Falkone	4.169	24,0
Falkone	4.169	24,0
P7631	3.953	25,3
Crossman	3.746	26,7
Caradexx	3.709	27,0
Kroissans	3.613	27,7
P7951	3.609	27,7
P7951	3.609	27,7
Asgaard	3.497	28,6
Juliett	3.416	29,3
Amazing	3.410	29,3
LG 31211	3.188	31,4
LG 31235	3.180	31,4
Messago	3.176	31,5
Oxxford	3.162	31,6
Watson	3.160	31,6
Metronom	3.082	32,5
Hubble	2.991	33,4
Ricardinio	2.778	36,0
Promedio	3.596	28,3

Para lograr una emergencia de las plántulas superior al 95% las semillas se tratan con un insecticida controlador de *Listronotus bonariensis* (Kuschel) y un fungicida que reduce la incidencia de enfermedades provocadas por *Aspergillus* spp., *Penicillium* spp., *Alternaria alternata* sp., *Cladosporium* sp. y *Fusarium* sp. En el mercado existen diferentes opciones que permiten una buena protección del cultivo en los primeros estados de desarrollo.

Profundidad de siembra: La profundidad de siembra depende del calibre de la semilla, la calidad de la preparación del suelo y el sistema de riego. El rango de profundidad en el que se localiza la semilla es de entre tres y cinco centímetros. Semillas de calibre pequeño se establecen a menor profundidad que aquellas de mayor calibre y en sistemas de riego tecnificado (carrete o pivote) la semilla se localiza entre tres y cuatro centímetros. La sembradora, además de ubicar la semilla, ubica el fertilizante cinco centímetros al costado de la hilera de siembra y un centímetro bajo la profundidad de la semilla. Esta localización del fertilizante produce la rápida absorción de los nutrientes una vez desarrollado el sistema radical (Aldrich & Leng, 1974).

Distancia entre hilera: La siembra se realiza con máquinas de precisión que permiten localizar las semillas en el surco de siembra a distancia definitiva. Existen diversas opciones de distancia entre hileras en las que las más utilizadas son: 50, 70 y 75 cm. Para los híbridos sembrados en la zona templada la distancia entre hilera es de 70 centímetros, que a dosis de 100.000 semillas/ha produce una distancia sobre hilera de 13 centímetros, esto es, 7 semillas por metro lineal.

Fertilización: La fertilización está definida por la extracción de nutrientes del cultivo y el contenido de nutrientes del suelo. En el momento de la siembra la mezcla de fertilizantes se incorpora con la máquina de precisión. La fertilización nitrogenada (de 220 a 260 kg N/ha), se aplica en forma secuencial: 35% pre-siembra

incorporado, 30% en el momento de la siembra y 35% en la aporca o cuando las plantas tienen entre tres y cuatro hojas expandidas. En sistemas de riego tecnificado (pivote), la fertilización post emergente se realiza a través del agua, utilizando para ello urea disuelta en los estanques de fertirrigación o mezclas completas de fertilizantes líquidos (Demanet, 2109).

La corrección de la acidez del suelo y la neutralización es una práctica ineludible que se realiza aplicando dosis controladas de enmienda calcárea. Esta práctica agronómica, además, permite la mejora indirecta de la estructura del suelo debido a que la corrección de las condiciones de acidez produce un incremento de la actividad biológica, creando condiciones para mejorar la porosidad y estructura del suelo. Dosis altas de enmienda calcárea (> 2 ton/ha) producen una fuerte agregación superficial que permite la rápida infiltración de agua en el perfil y reduce la evaporación desde los estratos profundos actuando como barrera de evaporación del suelo a la atmósfera (Ellies, 1994).

La aplicación de enmiendas orgánicas es una práctica frecuente en las siembras de la zona templada. Mediciones realizadas en dos localidades (Temuco y Futrono) durante dos temporadas demostraron que la sustitución parcial de la fertilización inorgánica por estabilizado de pavo y bioestabilizado de cerdo produce un incremento en el rendimiento (Tabla 5.27), modifica los parámetros de calidad (Tabla 5.28) y aumenta el nivel de nutrientes del suelo, en especial, nitrógeno, fósforo, potasio, sodio, magnesio y boro.

Tabla 5.27. Porcentaje de materia seca y producción (ton MS/ha) de maíz para ensilaje fertilizado con diferentes dosis de bioestabilizado de cerdo y estabilizado de pavo. Futrono. Temporada 2018/2019.

Tratamientos	Guano	Mezcla ¹	Urea	KCL	MS Planta entera		Producción		Incremento
	kg/ha				%		ton MS/ha		%
Testigo	0	800	400	0	30,20	abc	20,68	c	100
Estabilizado pavo	2000	700	400	50	32,10	a	23,92	ab	116
Estabilizado pavo	4000	600	350	0	28,00	bc	21,70	bc	105
Estabilizado pavo	6000	400	300	0	27,60	c	24,42	a	118
Bioestabilizado cerdo	2000	700	400	100	29,10	abc	21,00	c	102
Bioestabilizado cerdo	4000	500	400	100	31,60	ab	22,00	bc	106
Bioestabilizado cerdo	6000	200	350	100	26,90	c	21,43	c	104
Promedio					29,4		22,16		107

Medias que no comparten una letra en común son diferentes según Prueba de Tukey ($p > 0,05$)

1: Mezcla compuesta por 6% nitrógeno, 32% fósforo, 12% potasio, 5% magnesio, 6% azufre, 0,2% boro y 0,2% zinc.

Tabla 5.28. Parámetros de calidad en maíz para ensilaje fertilizado con diferentes dosis de bioestabilizado de cerdo y estabilizado de pavo. Futrono. Temporada 2018/2019.

Tratamientos	Unidad	Testigo	Estabilizado de pavo			Bioestabilizado de cerdo		
Mezcla fertilizante ¹	kg/ha	800	700	600	400	700	500	200
Urea	kg/ha	400	400	350	300	400	400	350
Cloruro de potasio	kg/ha	0	50	0	0	100	100	100
Bioestabilizado de cerdo	kg/ha	0	0	0	0	2.000	4.000	6.000
Estabilizado de pavo	kg/ha	0	2.000	4.000	6.000	0	0	0
Materia seca	%	30,2	32,1	28	27,6	29,1	31,6	26,9
Proteína cruda	%	7,8	7,5	8,3	8,2	8,1	7,7	7,8
FDA	%	22,1	22,2	26,8	24,6	22,4	22,1	26,6
FDN	%	40,5	38,3	45,0	40,6	39,0	39,0	45,0
Digestibilidad FDN 30 h	%	67,8	62,7	55,4	57,5	62,7	64,5	58,2
Almidón	%	32,4	35,2	26,4	32,2	34,1	34,6	28,1
Cenizas	%	4,68	4,97	6,27	5,87	4,75	4,01	5,55
Total de nutrientes digestibles	%	72,8	72,7	67,6	70,7	72,9	73,2	68,8
Energía digestible	Mcal/kg	3,21	3,23	3,03	3,21	2,98	3,12	3,21
Energía metabolizable	Mcal/kg	2,64	2,65	2,49	2,63	2,44	2,56	2,63

1: Mezcla compuesta por 6% nitrógeno, 32% fósforo, 12% potasio, 5% magnesio, 6% azufre, 0,2% boro y 0,2% zinc.

En el comercio mundial existen diversos productos biológicos que tienen como objetivo promover la actividad biológica del suelo y mejorar el ambiente edáfico. La medición del efecto de un polipéptido de bajo peso molecular enriquecido con aminoácidos, ácidos fúlvicos, carbohidratos, lípidos, nitrógeno, fósforo, potasio, zinc, hierro, manganeso, calcio y magnesio de nombre comercial Bioamino L, demostró que este compuesto puede incrementar el rendimiento del maíz para ensilaje sin modificar los parámetros de calidad (Tabla 5.29).

Tabla 5.29. Efecto de la aplicación de Bioamino L con las semillas en la pre siembra sobre el rendimiento y calidad de maíz para ensilaje. Estación Experimental Maquehue. Universidad de La Frontera. Promedio de dos temporadas 2017/18 y 2018/19.

Parámetros	Testigo	Bioamino-L (40 L/ha)
Materia seca planta entera (%)	35,2	37,1
Rendimiento (ton materia verde/ha)	68,7	72,5
Rendimiento (ton materia seca/ha)	24,1	26,9
Aporte de la mazorca (%)	61,5	58,9
Proteína cruda (%)	7,5	8,1
Proteína soluble (%)	19,9	19,3
Total de nutrientes digestibles (%)	77,9	78
Energía digestible (Mcal/kg)	3,44	3,47
Energía metabolizable (Mcal/kg)	2,79	2,83
FDA (%)	18,1	18,9
FDN (%)	29,3	31,6
Digestibilidad de la FDN (%)	63,9	64,2
Almidón (%)	44,5	44,6
Extracto etéreo (%)	3,35	3,46
Cenizas (%)	3,7	3,83

Control de malezas: El efecto que genera la competencia de las especies residentes o acompañantes en la producción y calidad del maíz es mayor al esperado en otros tipos de pasturas. Mediciones realizadas en la localidad de Futrono demostraron que sin control de malezas en post emergencia el rendimiento de maíz para ensilaje se reduce entre el 52 y 65%. Además, la presencia de un tapiz vegetal abundante entre hileras aumenta el efecto de las heladas, comprometiendo la viabilidad de las plantas.

El control de las especies indeseables en el cultivo se puede realizar de forma mecánica o química. El paso de aporcadore en las primeras etapas del cultivo permite reducir la presencia de malezas entre hileras, pero no en la línea de siembra. Esto obliga a realizar un control químico con herbicidas de pre y post emergencia. Existen diversas opciones y fórmulas en el mercado que deben ser utilizadas según el tipo y la densidad de malezas presentes en el cultivo.

Entre las opciones de preemergencia (inmediatamente después del paso de la sembradora), se encuentra la aplicación de 130 g de Heat WG (*Saflufenacil*) + 1,5 L de Frontier P (*Dimethenamid*)/ha en 200 L de agua. Otra alternativa para sectores con exceso de sanguinaria (*Polygonum aviculare* L.) es la aspersión de la mezcla de 0,8 L de Dinamic 70 WG (*Amicarbazona*) + 3 L de Tiger 700 EC (*Acetocloro* + *Diclorimid*)/ha en 200 litros de agua.

El control químico posterior a la emergencia de las plantas se hace con herbicidas controladores de especies de hoja ancha y gramíneas: 150 g Arrat (*Tritosulfurón* + *Dicamba*) + 30 g Accent (*Nicosulfuron*) + 250 cc Dash HC/ha en 200 L agua/ha. Ante la presencia abundante de malezas como hualcacho (*Echinochloa colona* (L.) Link), pasto de la perdiz (*Panicum capillare* L.), maicillo (*Sorghum halepense* (L.) Pers.), pata de gallina (*Digitaria sanguinalis* (L.) Scop.) y otras especies de hoja ancha otra alternativa es la mezcla de 150 g Arrat (*Tritosulfurón* + *Dicamba*) + 250 g Soberan 420 SC (*Tembotriona*) + 250 cc Dash HC/ha en 200 litros de agua.

Hay tres malezas complejas de controlar en este cultivo: chufa (*Cyperus rotundus* L.), sanguinaria (*Polygonum aviculare* L.) y pasto quila (*Elytrigia repens* (L.) Nevski). El control se inicia con la incorporación profunda de herbicidas de pre-siembra (chufa) junto a la doble aplicación de barbecho químico distanciado al menos 60 días. Para el control de la chufa es posible incorporar en pre-siembra 3 L Dual Gold 960 EC/ha con paso de rastra cruzada profunda (>15 cm). Las aplicaciones de post emergencia con herbicidas como Basagran, Semptra o Option pro, tienen un efecto supresor inferior al 70%.

Crecimiento y desarrollo: El concepto de crecimiento en los vegetales se refiere al aumento de tamaño de las plantas o parte de ellas. El desarrollo corresponde a la progresión de la planta desde los estados vegetativos a reproductivos y está condicionado por la temperatura y la luminosidad. El avance del desarrollo de las plantas de maíz se clasifica de acuerdo a estados que se identifican según se puede percibir a la vista, sin necesidad de diseccionarla. Se distinguen estados de desarrollo vegetativos y reproductivos (Tabla 5.30) y se considera que el cultivo presenta un estado de desarrollo concreto cuando el 50% de las plantas se encuentra en estado específico.

Tabla 5.30. Estados de desarrollo de plantas de maíz.

Estado de desarrollo	Nomenclatura	Identificación
Vegetativo	VE	Emergencia
Vegetativo	V1	Primera hoja
Vegetativo	V2	Segunda hoja
Vegetativo	V3	Tercera hoja
Vegetativo	V6	Seis hojas
Vegetativo	V9	Nueve hojas
Vegetativo	V12	Doce hojas
Vegetativo	V15	Quince hojas
Vegetativo	V18	Hoja 18 formada
Vegetativo	VT	Panoja
Reproductivo	R1	Emergencia de estigmas
Reproductivo	R2	Ampolla (granos)
Reproductivo	R3	Grano lechoso
Reproductivo	R4	Grano pastoso
Reproductivo	R5	Grano dentado
Reproductivo	R6	Madurez fisiológica

Fuente: adaptado de Faiguenbaum, 2017.

Producción: La evaluación del comportamiento productivo de híbridos de maíz para ensilaje ha sido un trabajo permanente que se ha realizado en la Universidad de La Frontera, en las localidades de Temuco y Futrono. Los resultados de esta investigación han demostrado que el maíz tiene la capacidad de producir entre 16 y 27 ton MS/ha, con una mediana de 20,17 ton MS/ha (Tabla 5.31).

Tabla 5.31. Producción promedio anual de *Zea mays* L. en la zona templada de Chile. Periodo 1993 - 2012.

Años	Producción (ton MS/ha)
2011	27,26 a
2009	26,67 ab
2001	26,66 ab
1997	25,69 abc
2012	25,33 bcd
2007	22,75 cde
2010	22,41 de
2008	22,22 e
1999	21,11 ef
2005	20,79 ef
1995	20,60 ef
2006	20,35 ef
2002	19,51 efg
2004	18,64 efg
1994	18,13 efg
1993	18,06 efg
2003	17,74 fg
1996	16,45 g
2000	16,33 g

Medias que no comparten una letra en común son diferentes según Prueba de Tukey ($p > 0,05$)
Coeficiente de variación: 13,02%

La clasificación en categorías de rendimiento demostró que existe un 68% de probabilidad de que esta especie presente una producción media – alta, esto es, superior a 19 ton MS/ha (Tabla 5.32).

Tabla 5.32. Nivel de producción de *Zea mays* L. durante 19 años de medición, según el ranking BLUP (*Best Linear Unbiased Prediction*), en la zona templada de Chile. Periodo 1993 - 2012.

Nivel de producción	Nº Años	Producción (ton MS/ha)			Significancia de BLUP
		Promedio	Máximo	Mínimo	
Alta	5	26,32	27,26	25,33	$P \leq 0.05$
Media	8	21,22	22,75	19,51	$P > 0.05$
Baja	6	17,56	18,64	16,33	$P \leq 0.05$
Total	19				

El 75,2% de los híbridos medidos presentaron un rendimiento estadísticamente similar (Tabla 5.33), lo que demuestra la madurez del mercado de maíz en Chile. La agrupación de híbridos según nivel de producción demostró que el 95,6% logra una producción superior a 17 ton MS/ha (Tabla 5.34).

Tabla 5.33. Producción promedio de 182 híbridos de *Zea mays* L. en la zona templada de Chile. Periodo 1993 - 2012.

Cultivares	Producción (ton MS/ha)	Cultivares	Producción (ton MS/ha)	Cultivares	Producción (ton MS/ha)
Fernández	27,64 a	Ex - 007	22,36 abcdefgh	Amaretto	20,52 abcdefgh
4213	25,82 ab	P-39M20	22,33 abcdefgh	Tracy 5	20,47 abcdefgh
DK 281	25,35 abc	Ambrosini	22,32 abcdefgh	11-002	20,42 abcdefgh
LG 30.218	25,24 abcd	LG 2185	22,29 abcdefgh	DK - 220	20,42 abcdefgh
LG 2306	24,96 abcde	Aptitud	22,24 abcdefgh	VDH - 9010	20,40 abcdefgh
Súbito	24,73 abcde	Fantastic	22,24 abcdefgh	LG 3227	20,38 abcdefgh
Cis 4615	24,73 abcde	LG 3216	22,24 abcdefgh	VDH - 310	20,36 abcdefgh
Thomas	24,71 abcde	Fañon	22,22 abcdefgh	Derric	20,33 abcdefgh
Anjou 247	24,66 abcdef	Daxxar	22,22 abcdefgh	LG 3385	20,31 abcdefgh
11W186	24,60 abcdefgh	116215	22,15 abcdefgh	Trauco	20,30 abcdefgh
40906	24,59 abcdefgh	LG 3190	22,06 abcdefgh	Cabrio	20,23 abcdefgh
Exp 2	24,31 abcdefgh	09-490	22,06 abcdefgh	LG 2195	20,21 abcdefgh
LG 30275	24,26 abcdefgh	NX 1480	22,06 abcdefgh	Kobol	20,20 abcdefgh
Graf	24,26 abcdefgh	Kolonis	22,02 abcdefgh	Tripoli	20,18 abcdefgh
LG 3247	24,24 abcdefgh	LG 30225	22,01 abcdefgh	Tuniche	20,17 abcdefgh
LG 3285	24,00 abcdefgh	Anjou 287	21,96 abcdefgh	Sunaro	20,16 bcdefgh
LG 3220	23,99 abcdefgh	Sudoku	21,95 abcdefgh	Ravenna	20,13 bcdefgh
Monumental	23,86 abcdefgh	Lexxie	21,91 abcdefgh	LG 3226	20,10 cdefgh
Chatillon	23,83 abcdefgh	Silo 4205	21,90 abcdefgh	Domingo	19,98 cdefgh
11-011	23,81 abcdefgh	Exp 3	21,86 abcdefgh	11-015	19,89 cdefgh
P-37W05	23,78 abcdefgh	Ayero	21,85 abcdefgh	Cyrano	19,87 cdefgh
LG 3264	23,77 abcdefgh	LG 2265	21,80 abcdefgh	Bixxas	19,75 cdefgh
T-100	23,72 abcdefgh	VDH - 7337	21,71 abcdefgh	Carlton	19,72 cdefgh
NX 1485	23,63 abcdefgh	LG 30280	21,63 abcdefgh	Isora	19,71 cdefgh
Solution	23,61 abcdefgh	Anjou 256	21,60 abcdefgh	Silo 4705	19,68 cdefgh
P - 39G12	23,60 abcdefgh	P - 3902	21,56 abcdefgh	11-017	19,63 cdefgh
DK - 485	23,60 abcdefgh	98-081	21,56 abcdefgh	LG 30211	19,62 cdefgh
Karacho	23,51 abcdefgh	DK - 255	21,56 abcdefgh	Tracy 11	19,40 cdefgh
LG 30.275	23,45 abcdefgh	NK Bull	21,54 abcdefgh	Frida	19,38 cdefgh
Nexxos	23,44 abcdefgh	VDH - 1306	21,53 abcdefgh	Manacor	19,36 cdefgh
LG 3234	23,43 abcdefgh	Secura	21,49 abcdefgh	Penélope	19,22 cdefgh
Ricardinio	23,37 abcdefgh	VDH - 2252	21,43 abcdefgh	Rival	19,10 cdefgh
124602	23,36 abcdefgh	DK 237	21,42 abcdefgh	Kilian	19,06 cdefgh
NX 0761	23,33 abcdefgh	Cardion	21,32 abcdefgh	11-005	19,06 cdefgh
NX 1494	23,30 abcdefgh	Tormento	21,21 abcdefgh	Tracy 96545	19,03 cdefgh
T-90	23,25 abcdefgh	VDH - 315	21,20 abcdefgh	P-3947	18,98 cdefgh
Eliot	23,19 abcdefgh	NX 1034	21,20 abcdefgh	Toronto	18,95 cdefgh
Cis 2-11	23,08 abcdefgh	Aaspeed	21,20 abcdefgh	DK - 221	18,90 cdefgh
Horus	23,08 abcdefgh	Agio	21,19 abcdefgh	Cargimach	18,81 cdefgh
Vincent	23,03 abcdefgh	LG 3303	21,15 abcdefgh	Prinval	18,80 cdefgh
VDH - 1296	22,98 abcdefgh	41906	21,11 abcdefgh	Baxxao	18,76 cdefgh
Sensation	22,95 abcdefgh	Jouvence	21,10 abcdefgh	Bexxin	18,65 cdefgh
Helmi	22,90 abcdefgh	Tango	21,10 abcdefgh	Bonny	18,61 defgh
Advantage	22,90 abcdefgh	Bentley	21,04 abcdefgh	MT1 - 106	18,60 defgh
Marleen	22,89 abcdefgh	LG 3277	20,99 abcdefgh	P-3957	18,46 defgh
LG 30250	22,89 abcdefgh	X8W325	20,97 abcdefgh	Koherens	18,46 defgh
Ansyl	22,89 abcdefgh	Es progress	20,91 abcdefgh	Santos	18,30 defgh
LG 3258	22,88 abcdefgh	Ayrton	20,89 abcdefgh	S - 2206	18,10 defgh
Andor	22,87 abcdefgh	Surprise	20,83 abcdefgh	Ilias	18,06 defgh
Marquis	22,86 abcdefgh	Torrente	20,81 abcdefgh	Tracy 3	18,05 defgh
Absolut	22,82 abcdefgh	Exp 4	20,81 abcdefgh	Atlet	18,00 defgh
P-3954	22,71 abcdefgh	P 39G12	20,79 abcdefgh	10-007	17,94 efgh
VDH - 3169	22,70 abcdefgh	Tracy 10	20,69 abcdefgh	SL Devino	17,66 efgh
Delitop	22,65 abcdefgh	LG 30218	20,68 abcdefgh	Silo 4005	17,59 efgh
Benjamin	22,64 abcdefgh	08-121	20,67 abcdefgh	VDH - 4171	17,55 efgh
Exp 1	22,56 abcdefgh	DK - 262	20,67 abcdefgh	11-016	17,54 efgh
VDH - 1308	22,48 abcdefgh	Monroe	20,61 abcdefgh	DK - 473	17,3 fgh
Dixxmo	22,46 abcdefgh	Monitor	20,60 abcdefgh	Boston	16,98 gh
39906	22,46 abcdefgh	Exp 5	20,57 abcdefgh	Cis 1-11	16,87 gh
Anjou 277	22,44 abcdefgh	Aairton	20,55 abcdefgh	Nescio	15,10 h
Cis 4315	22,41 abcdefgh	Exp 108	20,53 abcdefgh		

Medias que no comparten una letra en común son diferentes según Prueba de Tukey ($p > 0,05$)
 coeficiente de variación: 14,22%

Tabla 5.34. Niveles de producción de híbridos de *Zea mays* L., clasificados según el ranking BLUP (*Best Linear Unbiased Prediction*), en la zona templada de Chile. Periodo 1993 - 2012.

Nivel de producción	N° híbridos	Producción (ton MS/ha)			Significancia de BLUP
		Promedio	Máximo	Mínimo	
Alta	15	24,94	27,64	24,24	$P \leq 0,05$
Media	159	21,29	24,00	17,94	$P > 0,05$
Baja	8	17,07	17,66	15,10	$P \leq 0,05$
Total	182				

Protección y bioestimulantes: La aplicación de bioestimulantes y protectores de plantas es una práctica que se ha incorporado al programa de siembra y producción de maíz para ensilaje. Los riesgos de pérdida de rendimiento provocados por estrés de temperatura e hídricos han conducido al uso de productos que tienen como base aminoácidos orgánicos y sintéticos quelados.

En este contexto, en la Universidad de La Frontera se han estudiado diversos productos, dosis y fechas de aplicación con el objetivo de proteger del estrés al maíz. Los resultados demostraron que las aplicaciones cuando la planta tiene entre cuatro y seis hojas produjeron un incremento de rendimiento superior a 18% respecto al testigo sin aplicación en años con déficit hídrico o estrés de frío. En años con temperaturas cálidas en primavera y agua suficiente en verano esta respuesta se redujo a menos del 2% (Figura 5.23).

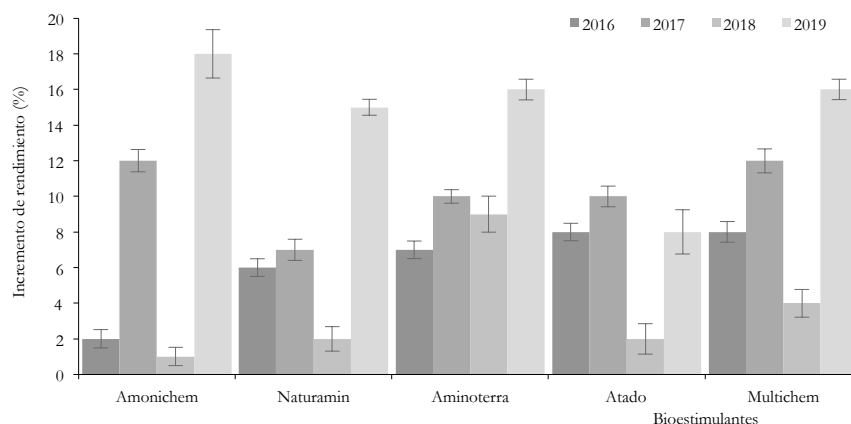


Figura 5.23. Incremento de rendimiento porcentual respecto al testigo de la aplicación de bioestimulantes foliares en maíz para ensilaje. Estación experimental Maquehue. Universidad de La Frontera. Periodo 2016 – 2019.

Coefficiente de variación 2016: 7,48%
 Coeficiente de variación 2017: 5,47%
 Coeficiente de variación 2018: 11,51%
 Coeficiente de variación 2019: 4,74%

Ensilaje de maíz

El principal objetivo del cultivo del maíz es la elaboración de ensilaje. A diferencia de las praderas y pasturas que presentan el mayor valor nutritivo en estados vegetativos en el maíz la calidad aumenta con el avance de la madurez. El incremento del contenido de materia seca y madurez del grano producen una disminución relativa de la fibra y un aumento en el contenido de almidón. La consecuencia es un incremento de la digestibilidad y de la energía metabolizable (Stehr, 1987).

El inicio del periodo de cosecha está marcado por el contenido de materia seca de la planta entera. El inicio de la cosecha no debe ser antes de que las plantas presenten como mínimo un 30% de materia seca, que coincide con la presencia de un 50% de línea de leche en el grano. Sin embargo, el momento óptimo es cuando la planta completa presenta entre un 33 y 35% de materia seca y el grano está endurecido en sus tres cuartas partes (Figura 5.24). Este estado se presenta en un corto periodo, por lo que es necesario sembrar híbridos con diferente precocidad para sostener en el tiempo una calidad similar.

Madurez del grano		MS planta entera	Momento de elaborar ensilaje
Lechoso		<20	x
Semi pastoso		20 - 2	x
Pastoso		29 - 3	√
Maduro		33 - 3	√√
Madurez completa		36 - 45	√

x : No elaborar ensilaje √ : Inicio elaboración de ensilaje √√√ : Momento óptimo de cosecha √ : Maíz sobre maduro

Figura 5.24. Estado de madurez del grano, porcentaje de materia seca y momento óptimo para la cosecha del maíz para ensilaje.

El momento de la cosecha determina el nivel de rendimiento y la calidad del forraje conservado. En cosechas tempranas, es decir, cuando las plantas tienen un contenido de materia seca inferior al 28%, se producen los siguientes efectos:

- ✓ Reducción del rendimiento
- ✓ Reducción del contenido de almidón y energía metabolizable
- ✓ Aumento de problemas de fermentación en el ensilaje
- ✓ Aumento de pérdidas por presencia de hongos en la cara expuesta y bordes de ensilaje
- ✓ Incremento de las pérdidas por efluentes en el silo
- ✓ Reducción del consumo de materia seca en los animales
- ✓ Disminución de la palatabilidad generada por el mal olor del ensilaje

En cosechas tardías cuando las plantas tienen un contenido de materia seca superior al 36% el resultado es el siguiente:

- ✓ Cosecha de un material seco de difícil compactación en el silo
- ✓ Se requiere reducir el tamaño de picado para lograr una mejor compactación
- ✓ Incremento de pérdidas de forraje en el campo
- ✓ Reducción de la estabilidad en el ensilaje
- ✓ Baja digestibilidad y palatabilidad del ensilaje

Máquina cosechadora: El ensilaje de maíz se hace con máquinas que tienen cabezal rotativo, triturador de grano, aplicador de aditivos y velocidad acorde con el traslado, descarga y compactado del forraje. Hay dos factores determinantes en la calidad, que son, el tamaño de picado y la trituración de los granos (corn cracking). En dietas que requieren fibra larga, el tamaño de picado se hace entre 20 y 25 mm y en aquellas que no tienen ese requerimiento, el tamaño del corte se regula entre 15 y 20 mm.

La trituración de los granos es un proceso mecánico que mejora el ensilaje y la digestión del almidón mediante la exposición del grano de maíz a las bacterias del rumen. La tecnología *shredlage* considera ambos aspectos. Este método de ruptura fue desarrollado por los nutricionistas americanos Roger Olsen y Ross Dale, quienes reconocieron la necesidad de crear un proceso de ensilaje más eficiente y adecuado para las dietas con alta proporción de forrajes. El implemento que se añade a las cosechadoras de forraje incorpora dos rodillos que

tienen entre 110 y 140 estrías en ranuras espacialmente opuestas y un diferencial de velocidad del 50%. Los cilindros tienen el objetivo de producir una longitud de fibra de entre 26 y 30 mm y los rodillos romper los granos a una octava parte del tamaño normal. La fibra larga que se corta se rasga y parte de la corteza se elimina. Con este proceso se logra una mejora significativa de la digestibilidad del almidón y la fibra al exponer las células internas de los granos, tallos y hojas a la actividad microbiana del rumen (Vanderwerff *et al.*, 2014).

Hay una relación entre el contenido de materia seca, la longitud del corte, la compactación y la pérdida de efluentes. En maíces que tienen contenidos de materia seca superiores al 38% no tienen pérdidas de efluentes en el silo y para lograr una adecuada compactación el picado se hace de una longitud entre 8 y 15 mm. Con niveles de materia seca inferiores al 30%, la longitud de corte se hace entre 20 y 25 mm, con el objetivo de evitar las pérdidas por efluentes en el silo.

Altura de residuo: Dependiendo de la función que tenga el ensilaje en la dieta de los animales, así se establece la altura de residuo. Elevar la altura de corte permite aumentar la eficiencia del trabajo, reducir el desgaste de las máquinas cosechadoras y maximizar la producción individual de los animales a través del aumento de la concentración de nutrientes y la digestibilidad de la fibra. Mediciones hechas por la Universidad de La Frontera en distintas localidades de la zona templada demostraron que el aumento de la altura de residuo de 20 a 40 cm redujo en un 10% la producción y aumentó en un 4% la digestibilidad de la fibra.

Aditivos: La aplicación de aditivos biológicos a los ensilajes acelera el proceso de fermentación anaeróbica mediante el incremento de la concentración de las bacterias ácido lácticas en la masa ensilada. Además, reduce las pérdidas producidas por el impacto aeróbico, que tiene lugar cuando se produce la apertura del silo. Esta doble acción sólo se logra con aditivos que tienen en su formulación las bacterias *Lactobacillus plantarum* y *Lactobacillus buchneri*.

Lactobacillus plantarum es una bacteria homofermentativa que reduce el pH a través de la producción de ácido láctico. *Lactobacillus buchneri*, en cambio, es heterofermentativa y su actividad en el ensilaje produce un aumento de la estabilidad aeróbica e inhibición del crecimiento y desarrollo de hongos y levaduras mediante la producción de ácido láctico, ácido acético, etanol y dióxido de carbono.

Sellado: La etapa final del proceso de elaboración del ensilaje es el sellado. Es considerado un momento crítico ya que corresponde al proceso con el que se impide el paso de oxígeno a la masa ensilada. Antes de poner una doble capa de plástico en la superficie superior del silo se rocía ácido propiónico para evitar la proliferación de microorganismos, reducir la formación de micotoxinas y disminuir las pérdidas de nutrientes.

Tiempo entre el sellado y la apertura del silo: El tiempo mínimo entre el sellado de un ensilaje de maíz y su apertura es de 60 días y está relacionado con la digestibilidad de la materia seca y del almidón.

El almidón es un compuesto nutricional definido químicamente como un carbohidrato o azúcar complejo que sirve como reserva energética de las plantas. Está formado por subunidades más simples denominadas amilosa y amilopectina, que a su vez son cadenas simples de glucosa (mono sacárido). Proporciona a las dietas de los animales una gran cantidad de energía de fácil digestión. La matriz de almidón y proteínas en el maíz es un impedimento fisicoquímico para la digestión del almidón en rumiantes (Owens *et al.*, 1986). En el maíz, las zeínas hidrófobas son proteínas primarias en la matriz del almidón y comprenden entre el 50 y 60% de las proteínas totales (Hamaker *et al.*, 1995).

Las zeínas se han clasificado como prolaminas y se localizan principalmente en la superficie exterior de los gránulos de almidón. Su desarrollo produce el encapsulamiento de este carbohidrato (Mu-Forster & Wasserman, 1998). En los ensilajes, la proteólisis producida por la fermentación degrada las proteínas (Baron *et al.*, 1986) y permite el acceso a los gránulos de almidón de los microorganismos del rumen, una vez que el animal consume el ensilaje (Jurjanz & Monteils, 2005). Este proceso se produce de forma escalonada y a partir de los 60 días en que la matriz proteica se degrada, se libera parte del almidón, mejorando su disponibilidad y digestibilidad (Hoffman *et al.*, 2011).

La apertura temprana de los ensilajes de maíz reduce las posibilidades de aprovechar de forma eficiente los nutrientes, en especial el almidón. En el proceso fermentativo el ácido láctico alcanza su máximo nivel a los cuatro meses después de hecho el ensilaje y la digestibilidad de la materia seca, FDN y almidón aumenta gradualmente hasta los seis meses.

Calidad: Los ensilajes de calidad tienen un porcentaje de materia seca entre el 33 y 35% y un contenido de almidón superior al 35% (Tabla 5.35).

Tabla 5.35. Parámetros de calidad en ensilajes de maíz.

Parámetro	Nivel esperado en el Ensilaje
Materia seca (%)	33 - 35
FDN (%)	35 - 40
EM (Mcal/kg)	2,80 - 3,20
Digestibilidad de FDN (%)	65 - 75
Contenido de Almidón (%)	35 - 40

Fuente: Demanet, 2019

Mediciones hechas durante 25 años en las localidades de Temuco y Futrono demostraron que el 49,5% de todos los híbridos evaluados iguala o supera los valores considerados adecuados para elaborar un ensilaje de calidad (Figuras 5.25 y 5.26).

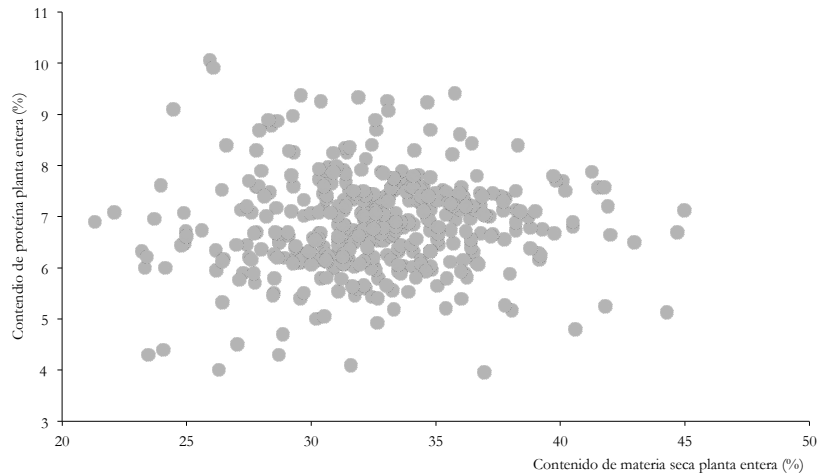


Figura 5.25. Relación entre el contenido de materia seca y proteína medido en 412 híbridos de maíz crecidos en la zona templada. Temuco y Futrono. Periodo 1992 -2018.

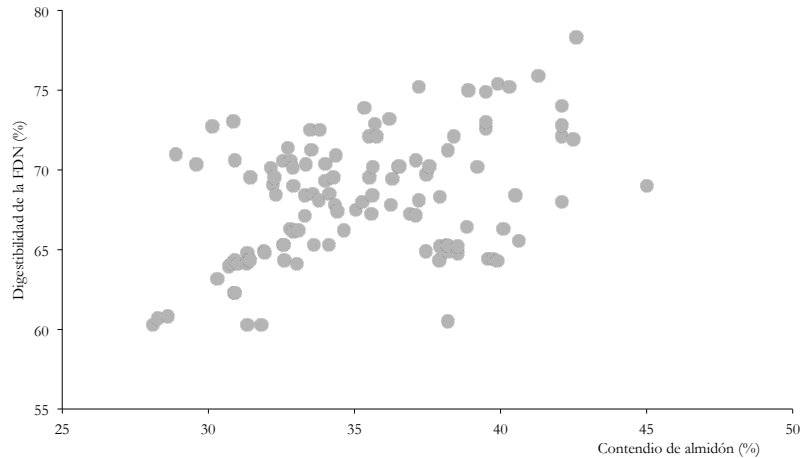


Figura 5.26. Relación entre la digestibilidad de la FDN y el contenido de almidón en 115 híbridos de maíz crecidos en la zona templada. Temuco y Futrono. Periodo 2013 – 2019.

***Sorghum* spp. Moench (sorgo)**

Se usa en alimentación y en la manufactura de escobas y espadas de esgrima (House 1985). En Chile su utilización esporádica en producción animal ha estado circunscrita a la zona mediterránea para pastoreo de verano y conservación de forraje. Publicaciones divulgativas del siglo pasado lo incluían como alternativa de producción de forraje para el secano costero mediterráneo (Contreras & Caviedes, 1977) y mediterráneo húmedo regado (Soto *et al.*, 1984).

Origen: El centro de origen es la sabana oriental de Sudán y su distribución se atribuye a los cazadores recolectores del Sahara (8.000 años A.C.). El sorgo domesticado más antiguo (2.000 años A.C.) tuvo su origen en la India (Venkateswaran, *et al.*, 2018). En Chile se conoce desde inicios del siglo pasado y su cultivo nunca ha tenido relevancia. La siembra se ha hecho en pequeñas superficies como resultado del entusiasmo de algunos agricultores y técnicos, pero rápidamente fue reemplazado por el cultivo de maíz (Águila, 1997).

Descripción botánica: Es una especie que pertenece a la familia Poaceae, subfamilia Panicoideae, género *Sorghum*, especie *Sorghum bicolor* (L.) Moench. Esta especie representa a todos los sorgos silvestres y cultivados de tipo anual. Entre ellos se distinguen tres subespecies: *S. bicolor* subsp. *bicolor*, *S. bicolor* subsp. *drummondii* y *S. bicolor* subsp. *verticilliflorum*. Los sorgos cultivados corresponden a *S. bicolor* subsp. *bicolor* (Berenji *et al.*, 2011). Forma un follaje que se caracteriza por presentar tallos acabalados y ovados. Las hojas tienen bordes dentados y la lámina es glabra y cerosa. La inflorescencia es una panoja (Figura 5.27) densa con ramificaciones primarias ubicadas en un eje y que portan espiguillas pares elipsoidales. Cada espiguilla consta de dos flores, pero la inferior es estéril. Tiene un 95% de autopolinización y un 5% de polinización cruzada que incluso puede incluir especies silvestres como el maicillo. Las semillas son esféricas y dependiendo de la coloración del pericarpio pueden ser amarillas, rojas, marrones e incluso negras (House 1985; Águila, 1997).



Figura 5.27. *Sorghum* spp. Moench (Sorgo)

Tipos de sorgos: Se distinguen dos tipos de sorgos para la producción de forraje. Para la elaboración de ensilaje se utilizan los sorgos graníferos pertenecientes a la especie *Sorghum bicolor* (L.) Moench, que son híbridos en su mayoría y tienen un crecimiento erecto que en el momento de la cosecha pueden alcanzar una altura de unos tres metros.

Otros tipos de sorgo son los utilizados para pastoreo o soiling de verano que en su mayoría son el resultado del cruzamiento entre *Sorghum drummondii* (Steud.) Millsp. & Chase (pasto sudan) y *Sorghum bicolor* x *S. bicolor* var. *sudanese* (pasto sudan híbrido) y se denominan pasto sudan o *sudangrass*. Estos híbridos, a diferencia de los sorgos graníferos, son plantas frondosas que tienen la capacidad de rebrotar (multi cortes). En comparación con el maíz, tienen menor área foliar y más raíces secundarias rasgos que los ayudan a resistir la sequía (Sarrantonio, 1994; Sarrantonio & Gallandt, 2003).

Requerimientos: El sorgo es una especie que se cultiva en una amplia gama de sistemas y se caracteriza por presentar una gran tolerancia a enfermedades y plagas (estrés biótico), déficit hídrico y altas temperaturas (estrés abiótico). Su germinación en el suelo se produce con temperaturas superiores a 7°C, pero para que ocurra en menos de cuatro días requiere una temperatura superior a 20°C. A diferencia del maíz es capaz de soportar periodos prolongados de sequía y logra una rápida recuperación ante la presencia de agua. Los requerimientos de agua son entre uno y dos tercios de los necesarios para el cultivo de maíz (Bustos, 1968; Assefa *et al.*, 2010; Chisi & Peterson, 2018).

Las plantas de sorgo son más eficientes que las de otros cereales en la absorción de agua y nutrientes, ya que tienen un sistema radical fibroso, ramificado y profundizador que puede ser hasta dos veces más grande que el del maíz (Yosef *et al.*, 2009). Además, las hojas tienen una cubierta cerosa con estomas pequeños y abundantes y un mecanismo de enrollamiento foliar que protege a las plantas de la deshidratación (Tari *et al.*, 2013; Li *et al.*, 2010).

Utilización

Se utiliza en elaboración de ensilaje y en el periodo estival para pastoreo o soiling. Mediciones han demostrado que es factible su inclusión en los sistemas ganaderos de la zona templada (Eguiguren, 1954; Olivares *et al.*, 1984).

Uso en verano

Para pastoreo o soiling de verano se utilizan sorgos de multi corte, que son híbridos de sorgo con pasto sudan. Estos rebrotan tras su utilización y según la disponibilidad de agua y fertilidad del suelo es posible tener dos o tres utilidades en el periodo estival.

La siembra es entre los meses de octubre y noviembre, con una temperatura del suelo superior a 12°C. Se lleva a cabo con máquina cerealera convencional, a una distancia entre hileras variable de entre 15 y 35 cm. La dosis de semillas es entre 20 y 35 kg/ha, rango que está definido por el peso de la semilla.

La frecuencia e intensidad de uso son determinantes en la producción y calidad del forraje. Según Soto *et al.* (1984) la mejor relación rendimiento - calidad del forraje en verano se produce cuando las plantas se utilizan a una altura de 60 cm y se deja un residuo de 2,5 cm. Mediciones de Ide (1986) demostraron que la fecha de siembra tiene un efecto significativo en la producción de materia seca de las plantas en la primera utilización y en la capacidad de rebrote de estas, pero no en la producción total del periodo estival (Tabla 5.36).

Tabla 5.36. Efecto de la fecha de siembra en el tiempo de rezago (días) y en la producción estival de forraje de *Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanense*. Valdivia. Temporada 1985/1986.

Fecha de siembra	1° corte				2° corte				Total						
	Días	ton MV/ha	ton MS/ha		Días	ton MV/ha	ton MS/ha		Días	ton MV/ha	ton MS/ha				
05-nov	90	32,90	b	5,20	b	71	21,22	a	4,49	a	161	54,12	ab	9,69	a
20-nov	90	42,57	ab	7,08	ab	56	21,16	a	4,07	a	146	63,73	a	11,15	a
05-dic	90	46,33	a	9,40	a	41	6,56	b	1,09	b	131	52,89	ab	10,49	a
20-dic	90	46,40	a	9,52	a	26	1,13	b	0,22	b	116	47,53	b	9,74	a
Promedio	90					49					139				

Medias que no comparten una letra en común son diferentes ($p > 0,05$)
Fuente: adaptado de Ide, 1986.

Las condiciones climáticas y la disponibilidad de agua son determinantes en la producción estival. Mediciones de diversos híbridos en la localidad de La Unión exhibieron producciones inferiores a 5 ton MS/ha (Figura 5.28) y en condiciones de mayor humedad en la localidad de Osorno, el rendimiento fue superior a 13 ton MS/ha (Figura 5.29).

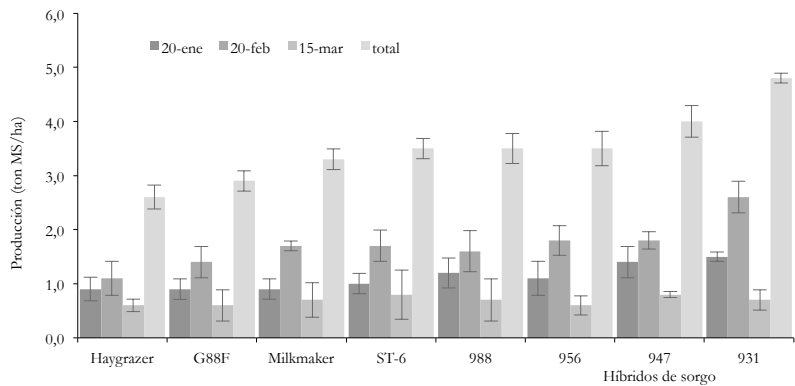


Figura 5.28. Producción total y por corte de ocho híbridos de sorgo medidos en la localidad de La Unión. Periodo enero – marzo. Temporada 1982/1983.

Fuente: adaptado de Olivares *et al.*, 1984.
Coeficiente de variación 20 de enero: 6,78%
Coeficiente de variación 20 febrero: 9,89%
Coeficiente de variación 15 de marzo: 8,76%
Coeficiente de variación total: 7,34%

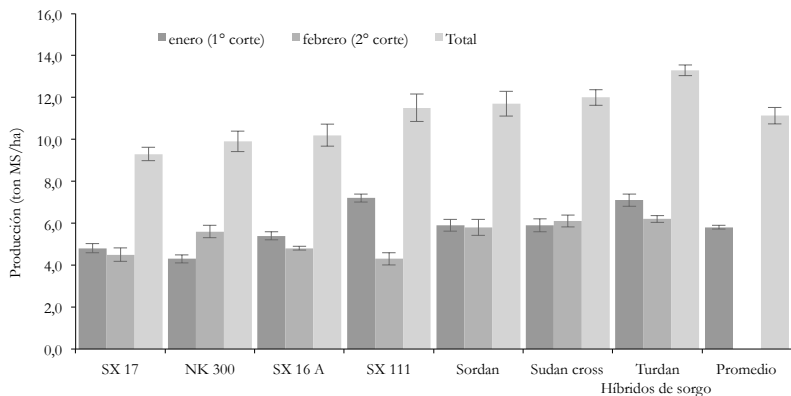


Figura 5.29. Producción total y por corte de ocho híbridos de sorgo. Periodo enero – marzo. Osorno, temporada 1981/1982.

Fuente: adaptado de De la Puente, 1982.
Coeficiente de variación primer corte: 4,48%
Coeficiente de variación segundo corte: 3,56%
Coeficiente de variación total: 4,02%

En la localidad de Valdivia, Mathei (1987) midió el efecto de la forma de utilización en la producción y calidad nutricional del híbrido *Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanense*. En esta medición demostró que, a mayor número de días desde la siembra a la cosecha, más incrementa el porcentaje de materia seca de las plantas, la producción de forraje, el nivel de energía metabolizable y el contenido de fibra cruda; sin embargo, se redujo bruscamente el contenido de proteína (Tabla 5.37).

Tabla 5.37. Efecto de la forma de utilización en la producción y parámetros de calidad de *Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanense*. Valdivia. Temporada 1986/1987.

Uso	Altura de ingreso (cm)	Producción (ton MS/ha)	MS (%)	Proteína (%)	EM (Mcal/kg)	Fibra cruda (%)
Pastoreo	50	2,59 b	22,01	16,75	1,98	23,44
Soiling	100	2,57 b	21,56	12,20	2,03	25,16
Ensilaje	panoja formada	5,32 a	29,25	7,42	2,33	27,75

Medias que no comparten una letra en común en sentido vertical son diferentes ($p > 0,05$)
Fuente: adaptado de Mathei, 1987.

Restricciones: La utilización en pastoreo durante el periodo estival tiene restricciones relacionadas con la presencia del glucósido durrina en estados juveniles de las plantas (< 50 cm de altura). Este por desdoblamiento se transforma en ácido hidrocianico, cianhídrico o prúsico, compuesto tóxico de rápida acción que al ingresar en el torrente sanguíneo inicia un proceso de inhibición del consumo de oxígeno provocando la muerte de los animales por asfixia.

El riesgo de intoxicación por ácido prúsico en el ganado aumenta durante los periodos de sequía, cuando las plantas se encuentran estresadas. Se conocen más de 200 especies de plantas que acumulan cantidades suficientes de glucósidos cianogénicos para causar envenenamiento. Algunas de ellas son *Sorghum halepense* (L.) Pers., *Sorghum × drummondii* (Steud.) Millsp. & Chase (pasto sudan), *Sorghum* spp. Moench y *Sorghum bicolor* × *S. bicolor* var. *sudanese* (pasto sudan híbrido).

Las causas predisponentes para que los glucósidos cianogénicos de las plantas se transformen en peligro para los animales son el consumo de:

- ✓ Plantas tras un periodo prolongado de sequía, cuando se produzca un rápido rebrote de las mismas
- ✓ Plantas afectadas por heladas
- ✓ Plantas tratadas con herbicidas
- ✓ Plantas sometidas a fertilizaciones con altas dosis de nitrógeno, especialmente, en suelos con bajo fósforo
- ✓ Plantas consumidas durante la mañana con exceso de rocío

Existe un mayor riesgo de que se produzca esta intoxicación en bovinos que en ovinos y en especial en animales hambrientos. Aquellos animales que habitualmente consumen plantas que presentan cantidades variables de glucósidos cianogénicos pueden adquirir cierta tolerancia y, por tanto, no presentar síntomas de intoxicación (Robson, 2007).

La intoxicación de los animales ocurre 15 minutos después de consumido el forraje y la muerte ocurre dos o tres minutos después con síntomas comunes a otras patologías: dificultad al respirar, aceleración del pulso, ansiedad y temblor muscular, entre otros. En general los síntomas se confunden con la intoxicación por nitritos y por eso se prefiere el tratamiento con inyección intravenosa de tiosulfato de sodio que proporciona azufre para convertir la cianmetahemoglobina en el tiocianato no tóxico, que se excreta en la orina (Robson, 2007).

Ensilaje

Los sorgos destinados a la producción de ensilaje son los mismos utilizados para la producción de grano o pastoreo (híbridos) y la diferencia se encuentra en la fecha de cosecha. Para ensilaje las plantas se cosechan con la panoja formada y un porcentaje de materia seca de la planta completa de entre el 32 y el 35%. La ventaja que tiene esta alternativa respecto a la producción de maíz para ensilaje es su menor requerimiento hídrico y mayor tolerancia a condiciones de estrés.

La siembra se hace en los meses de octubre y noviembre, cuando la temperatura del suelo supera los 12°C. La distancia entre hileras es entre 15 y 35 cm y la dosis depende del peso y calibre de la semilla (25 a 35 kg/ha). La siembra se puede hacer con máquinas de precisión o cerealeras convencionales.

El momento de la cosecha se determina según el contenido de materia seca de las plantas. La mejor relación producción - calidad es cuando las plantas tienen un contenido de materia seca entre 32 y 35% que coincide con el estado de panoja formada y grano pastoso. La calidad y la producción son estables en el periodo de cosecha y se tiene un buen equilibrio entre el contenido de azúcar en el tallo y el rendimiento de grano. Al comparar el sorgo con el maíz se comprueba que ambos alcanzan producciones similares de materia seca, pero difieren en la calidad nutricional. La mayor diferencia se encuentra en el valor energético y, específicamente, en el contenido de almidón, que en el sorgo no supera el 18% en el corte de ensilaje mientras que el maíz alcanza con facilidad valores superiores al 30%.

En Chile existen pocas mediciones de adaptación y producción de sorgos para ensilaje. En la zona mediterránea regada Cofré & Soto (1984) mencionan que es posible alcanzar entre 12 y 18 ton MS/ha en sorgos cosechados al estado fenológico de grano pastoso. En la zona templada, Pichard (1986) midió en distintas localidades la

producción de sorgos graníferos y forrajeros y encontró una alta correlación entre el rendimiento y la fecha de siembra. En siembras hechas entre los meses de octubre y diciembre la producción se redujo de 18 a 8 ton MS/ha.

En Valdivia, Del Río (1987) y Kullmer (1988) midieron el efecto de la aplicación de dosis crecientes de nitrógeno en la producción para ensilaje de *Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanense*. La producción no superó las 7 ton MS/ha y cuando se aplicaron entre 120 y 300 kg N/ha el rendimiento fue estadísticamente similar (Tabla 5.38).

Tabla 5.38. Efecto de la aplicación de nitrógeno en la producción y calidad nutricional de *Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanense*. Valdivia. Temporada 1986/1987.

Dosis de nitrógeno (kg/ha)	Producción*		Calidad nutricional			
	ton MV/ha	ton MS/ha	MS (%)	Proteína (%)	Valor D (%)	EM (Mcal/kg)
0	18,47 a	4,62 b	25,0 a	10,4 a	66,3 a	2,43 a
60	19,47 a	4,98 b	25,6 a	10,5 a	64,5 a	2,38 a
120	25,53 a	5,77 ab	22,6 b	10,5 a	66,1 a	2,43 a
180	22,91 a	5,98 ab	26,1 a	10,7 a	65,2 a	2,40 a
240	24,91 a	6,64 a	26,7 a	11,0 a	65,7 a	2,41 a
300	24,69 a	6,79 a	27,5 a	10,1 a	65,7 a	2,41 a

Medias que no comparten una letra en común en sentido vertical son diferentes ($p > 0,05$)

Fuente: adaptado de Del Río, 1987.

(*) Días de siembra a cosecha: 158

El sorgo es una alternativa atractiva al maíz porque tiene una mejor adaptación a las condiciones de estrés hídrico y baja fertilidad del suelo (Borba *et al.*, 2012). Entre los tipos de sorgo hay diferencias en el valor nutricional. El sorgo forrajero de un corte que no logra la producción de grano tiene un mayor contenido de carbohidratos solubles que el sorgo granífero (Kaiser *et al.*, 2004). En los sorgos de grano, que son utilizados principalmente para la elaboración de ensilaje, su valor nutricional es proporcionado por el grano, que aporta entre un 48 y 55% a la producción total de materia seca. Mediciones de calidad demostraron que la mejor relación contenido de nutrientes - digestibilidad se logra con híbridos forrajeros pero su producción para ensilaje es inferior a la de los tipos de grano (Tabla 5.39). Además, con el avance de la madurez se reduce drásticamente la calidad, en especial, el contenido de proteína y la digestibilidad de la FDN.

Tabla 5.39. Contenido de nutrientes del grano, forraje fresco y ensilaje de sorgo.

Parámetro	Unidad	Grano	Forraje fresco	Ensilaje
Contenido de materia seca	%	30,2	28,2	25,40
Proteína cruda	%	10,5	10,6	8,62
FDN	%	48,3	39,2	40,2

Pisum sativum L. (arveja)

Origen: La arveja es una planta originaria de Oriente Próximo y fue domesticada probablemente en Etiopía hace 10.000 años, desde donde se expandió a Europa y Asia (Polhill & Raven, 1981). Los colonos europeos la introdujeron en Chile a mediados del siglo XVIII y durante mucho tiempo fue considerada como cultivo de chacarería, producción de grano seco y fresco (Faiguenbaum, 1992).

El interés como planta forrajera para la elaboración de forraje conservado y pastoreo se originó a partir de la década de los 70 en la antigua Unión Soviética e Inglaterra. En Chile a partir del año 80, se desarrollaron diversas investigaciones tendientes a determinar el nivel productivo y la calidad del cultivo de la arveja como planta forrajera. Mediciones hechas por Pichard & Águila (1983) en la zona de Osorno demostraron que esta especie podía alcanzar un rendimiento de 15 ton MS/ha. En Valdivia Neumann (1983), Passalacqua (1984) y Quappe (1985) probaron la arveja como suplemento verde de verano, idea que fue descartada por la baja producción alcanzada por las distintas alternativas medidas.

A partir de 1986 los investigadores Rolando Demanet y Juan Carlos García cambiaron el foco de atención de este cultivo e iniciaron un programa de investigación y desarrollo de la arveja forrajera para elaboración de ensilaje y heno con el cultivar Magnus. Los buenos resultados y la excelente campaña comunicacional de la empresa importadora y comercializadora, Anagra Internacional, permitió que el cultivo de esta leguminosa se

extendiera desde Casablanca, en el centro de la zona mediterránea de Chile, hasta Puerto Montt, alcanzando en menos de cinco años una superficie de más de 5.000 hectáreas sembradas. Sin embargo, rápidamente el ensilaje de arveja fue descartado por los ganaderos debido a problemas en la confección.

El principal problema de la época (década de los 90) fue el poco conocimiento que existía sobre el uso de aditivos y la tecnología de pre-marchitamiento, ambos elementos absolutamente necesarios para lograr una adecuada calidad del ensilaje. Fue tanto el descontento que la principal empresa comercializadora de semillas de arveja forrajera terminó vendiendo sus semillas a un productor lechero como grano para alimentación animal.

En el año 2010 los mismos investigadores Demanet y García, ahora en la Universidad de La Frontera, reiniciaron las investigaciones del cultivo de arveja forrajera para ensilaje y heno en la Estación Experimental Maquehue, ubicada en la localidad de Temuco. Reconociendo el avance que hubo en Chile sobre el conocimiento de la técnica de premarchito y la aplicación de aditivos biológicos, ambos investigadores se abocaron a buscar soluciones agronómicas al cultivo de la arveja forrajera como fueron la época de siembra, alternativas de mezclas y momento de cosecha, entre otros.

Descripción botánica: Es una especie leguminosa anual perteneciente a la familia Fabaceae, subfamilia Faboideae, tribu Fabeae, género *Pisum*. La planta posee una raíz pivotante y sus hojas imparipinnadas se forman en pares de folíolos que terminan en zarcillos. La floración se inicia entre los nudos 12 y 16 y las inflorescencias (Figura 5.30) nacen en racimos a partir de brácteas foliáceas que se insertan en las axilas de las hojas. Las plantas logran una altura entre 1,2 y 1,8 m y producen un total de 22 a 28 nudos, de los cuales entre 6 y 12 generan flores y solo 6 a 8 forman vainas. El número total de vainas por planta fluctúa entre 8 y 12, con una longitud de 6 cm y 4 a 7 granos por vaina (Khvostova, 1993; Maroto, 1992).



Figura 5.30. *Pisum sativum* L. (arveja).

Características: La arveja forrajera es capaz de producir en un corto periodo (20 a 21 semanas) un alto volumen de forraje de buena calidad, que destaca por su contenido de proteína y almidón. Es tolerante a bajas temperaturas y déficit hídrico, no así a los problemas que produce la mala infiltración del agua en el suelo. La fijación biológica de nitrógeno que hacen mediante la simbiosis con rizobios ubicados en sus raíces permite reducir las aplicaciones de nitrógeno. Sus raíces, una vez cosechado el cultivo, aportan este nutriente al suelo (Demanet *et al.*, 1991).

Cultivares: Según la estructura del follaje los cultivares de arveja se clasifican en convencionales, de follaje reducido, leafless y áfilos. Los cultivares de follaje convencional producen un follaje frondoso y presentan tres estructuras básicas: estípulas, folíolos y zarcillos. Los cultivares de follaje reducido tienen un menor tamaño y los zarcillos presentan mayor crecimiento. Los cultivares *leafless* tienen un gen que modifica las estípulas, transformándolas en estructuras vestigiales, y los folíolos, casi inexistentes, se transforman en zarcillos. Los

cultivares áfilos mantienen sus estípulas, pero sus foliolos están transformados en zarcillos, que son estructuras que les permiten a las plantas mantenerse en pie hasta la cosecha y lograr una mayor eficiencia en la utilización de la luz (Faiguenbaum, 1992; Mera, 1989).

Existen dos factores que limitan el rendimiento forrajero de la arveja: la tendadura y la competencia con las especies residentes. El área foliar (Cote *et al.*, 1992) y la altura de la planta (Wall *et al.*, 1991; Harker *et al.*, 2008) son componentes claves en el desarrollo de un cultivo competitivo con las malezas o plantas acompañantes. McDonald (2003) demostró que los cultivares de arveja de altura superior a un metro presentan un rendimiento superior a los cultivares de poco tamaño (< 1 m) y logran una mayor competencia con las especies residentes. Los cultivares áfilos que tienen el follaje reducido logran producir igual o superior cantidad de materia seca que los cultivares no modificados y son muy competitivos con las malezas debido a la maraña que generan sus zarcillos (Harker *et al.*, 2008).

Asociación: Los cereales que se usan en mezcla con las leguminosas trepadoras proporcionan a éstas un soporte físico y las mantienen erguidas hasta la cosecha. Además, está demostrado que esta mezcla modifica la composición nutricional, mejora la relación carbohidrato – proteína, aumenta el consumo animal (Papastylianou, 1990) y la producción de materia seca (Tabla 5.40).

Tabla 5.40. Porcentaje de materia seca, producción y aporte de las especies a la mezcla de arveja con cereales de grano pequeño.

Tratamiento	MS (%)	Producción (ton MS/ha)	Arveja (%)	Cereal (%)
Arveja	23,3 b	13,7 a	0	100
Arveja + avena	25,7 a	13,9 a	60	40
Arveja + triticale	27,6 a	13,4 a	68	32
Arveja + cebada	27,0 a	13,1 a	67	33
Arveja + centeno	26,7 a	12,7 a	54	46

MS: materia seca

Medias que no comparten una letra en común son diferentes según Prueba de Tukey ($p > 0,05$)

Fuente: adaptado de Demanet & García, 1992.

Otras alternativas de asociación son la siembra de arveja forrajera en mezcla con *Lolium perenne* L., *Lolium multilorum* Lam. y *Trifolium pratense* L. (Demanet & García, 1992; Santini, 1995; Cantero, 1997). Las especies pratenses no interfieren en el desarrollo y producción de la arveja (Tabla 5.41) y ésta no obstruye la producción posterior de la pastura (Tabla 5.42).

Tabla 5.41. Efecto de la asociación de arveja con avena, ballica de rotación y ballica perenne en la producción y calidad nutricional del ensilaje. Estación Experimental Maipo. Universidad de La Frontera. Temuco. Temporada 1992/93.

Tratamiento	Producción (ton MS/ha)	Parámetros calidad de ensilaje				
		MS (%)	pH	PC (%)	EM (Mcal/kg)	N-NH ₃ (%)
Arveja	9,3 b	23,3	3,7	17,9	2,31	9,3
Arveja + avena	13,0 a	22,7	3,8	17,2	2,03	13,1
Arveja + ballica rotación	13,1 a	20,5	4,0	17,9	2,20	12,3
Arveja + ballica perenne	12,5 a	22,6	3,7	16,9	2,30	10,9

MS: materia seca; PC: proteína cruda; EM: energía metabolizable; N-NH₃: nitrógeno amoniacal

Medias que no comparten una letra en común en sentido vertical son diferentes según Prueba de Tukey ($p > 0,05$)

Fuente: adaptado de Santini, 1995.

Tabla 5.42. Efecto de la dosis de semillas de arveja en la producción (ton MS/ha) de la mezcla de arveja, ballica de rotación y trébol rosado. Estación experimental Maipo. Universidad de La Frontera. Temuco. Período 1994 – 1996.

Dosis de semilla (kg/ha)	Primera temporada				Segunda temporada			
	ton MS/ha	Arveja (%)	Ballica (%)	Trébol (%)	ton MS/ha	Arveja (%)	Ballica + Trébol (%)	Trébol (%)
0	9,62 a	0	57	43	11,09 a	0	53	47
40	10,29 a	43	33	24	11,02 a	0	48	52
80	10,25 a	49	31	20	11,16 a	0	48	52
120	11,11 a	60	27	13	11,56 a	0	57	43
160	9,32 a	69	16	15	11,02 a	0	49	51
200	9,15 a	69	16	15	10,68 a	0	32	68
240	9,69 a	94	3	3	10,22 a	0	22	78

Medias que no comparten una letra en común en sentido vertical son diferentes según Prueba de Tukey ($p > 0,05$)

Fuente: adaptado de Cantero 1997.

En la asociación de arveja con cereales de grano pequeño el aporte de la arveja es dominante y alcanza niveles superiores al 50% de la producción total (Figura 5.31).

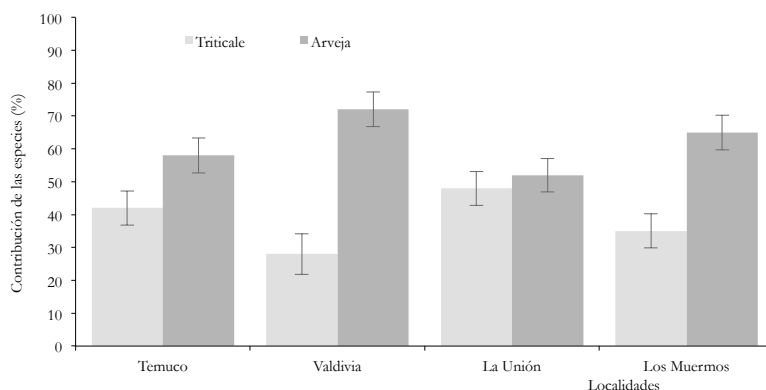


Figura 5.31. Aporte porcentual de las especies a la producción de arveja + triticale en cuatro localidades de la zona templada. Temporada 2016/2017. Coeficiente de variación: 8,54%

Periodo de siembra: Las mediciones hechas en la zona templada han demostrado que el momento óptimo de siembra es entre los meses de mayo y julio (Tabla 5.43), periodo en el que habitualmente hay limitaciones por la existencia de lluvias que impiden la preparación de los suelos. Lo anterior obliga a extender a veces el periodo de siembra hasta el mes de septiembre, con la invariable pérdida de producción y disminución del aporte de la arveja a la producción total de las mezclas con cereales (Tabla 5.44).

Tabla 5.43. Efecto de la fecha de siembra en la producción de arveja forrajera sembrada sola y en asociación con avena en el secano de la zona templada.

Tratamiento	Junio	Agosto
Avena cv. Llaofén	15,88 a	12,34 a
Arveja cv. Magnus	11,51 a	9,76 b
Arveja + Avena	15,51 a	15,24 a

Medias que no comparten una letra en común en sentido vertical son diferentes según Prueba de Tukey ($p > 0,05$)
Fuente: adaptado de Demanet & García, 1992.

Tabla 5.44. Efecto de la época de siembra en la producción y aporte de la arveja a la mezcla con avena. Estación Experimental Maquehue. Temuco. Temporada 2015-2016.

Mes siembra	MS (%)	Producción (ton MV/ha)	Producción (ton MS/ha)	Aporte de la Arveja (%)
Mayo	33,78 a	51,85 a	17,52 a	46 b
Junio	32,58 a	52,81 a	17,20 a	52 a
Julio	27,24 ab	54,96 a	14,97 b	48 b
Agosto	24,33 bc	43,41 b	10,56 c	26 c
Septiembre	21,36 c	30,85 c	6,59 d	32 c

MS: materia seca; MV: materia verde (tal como ofrecido)

Medias que no comparten una letra en común en sentido vertical son diferentes según Prueba de Tukey ($p > 0,05$)

Coeficiente de variación 4,59%.

Dosis de semilla: La dosis se define según el calibre de la semilla (Tabla 5.45) y en mezcla con cereales la arveja se asocia a 40 kg de semilla de cereales de grano pequeño/ha.

Tabla 5.45. Calibre, peso de semilla, número de semilla/kg, dosis de semilla y semillas/m².

Calibre (mm)	Peso semilla (g)	Número de semilla/kg	Dosis de semilla (kg/ha)	Semilla/m ²
7	0,277	3.610	250	90
6	0,211	4.739	180	90
5	0,135	7.407	120	90

Inoculación: En áreas donde no es habitual el cultivo de arveja es necesario incluir en las primeras siembras la inoculación de la semilla con el rizobio específico (*Rhizobium leguminosarum*).

Utilización: La arveja es una especie que se usa para pastoreo o conservación de forraje. La principal forma de utilización es como ensilaje, henilaje y heno. En pastoreo es una alternativa de uso esporádico en situaciones de extrema necesidad de forraje, ya que es de baja producción y alto costo y su única ventaja respecto a otras leguminosas es que no produce meteorismo espumoso pues tiene taninos en el follaje.

Periodo de cosecha: El momento de la cosecha se determina según el estado fenológico de las plantas. Mediciones hechas en la zona templada demostraron que la mejor relación volumen - calidad se logra cuando las plantas se encuentran en el estado de floración y las vainas inferiores están formadas con sus granos llenos (Figura 5.32). La cosecha en estados inmaduros tiene altos niveles de proteína y digestibilidad de la FDN, pero una baja producción (Fraser *et al.*, 2001) (Tabla 5.46).



Figura 5.32. Estado fenológico óptimo para la cosecha para ensilaje de *Pisum sativum* L.

Tabla 5.46. Efecto de la fecha de cosecha en el contenido de materia seca, proteína cruda, energía metabolizable y producción de arveja forrajera. Vilcún, temporada 1991/1992.

Fecha de cosecha	MS (%)	PC (%)	EM (Mcal/kg)	Producción (ton MS/ha)
18 nov	15,9	17,5	2,63	5,0
20 nov	18,2	17,1	2,47	5,2
22 nov	19,3	17,0	2,56	6,2
25 nov	19,3	16,5	2,58	7,0
27 nov	19,4	16,3	2,57	7,8
29 nov	20,1	16,0	2,50	7,9
2 dic	21,7	15,2	2,55	8,4
4 dic	23,2	14,5	2,67	8,7
6 dic	23,4	13,7	2,65	8,7
9 dic	24,6	13,6	2,67	9,5
11 dic	24,6	13,1	2,65	9,6
17 dic	24,7	13,1	2,58	9,7
18 dic	25,2	13,0	2,63	10,4
20 dic	25,6	12,8	2,56	11,0
23 dic	26,9	11,3	2,77	12,4
27 dic	28,1	11,1	2,58	13,8
30 dic	29,1	10,6	2,69	15,0
2 ene	30,7	10,4	2,53	12,4
8 ene	32,8	11,4	2,58	11,8
13 ene	53,6	11,6	2,38	11,0
26 ene	64,2	12,5	2,26	10,2

MS: materia seca; PC: proteína cruda; EM: energía metabolizable
Fuente: adaptado de Demanet & García, 1992.

Producción: La arveja produce un alto volumen de biomasa cuando se utilizan cultivares de tipo áfido y se combinan con un cereal como cultivo de soporte (Kristensen, 1992; Salawu *et al.*, 2001). En la zona templada de Chile la producción de arveja en siembra sola ha superado las 16 ton MS/ha y en mezcla con cereales las 20 ton MS/ha.

La proporción relativa de los componentes de la mezcla de arveja con cereales determina su capacidad de rendimiento (Jedel & Helrn, 1993). En triticale y cebada la mayor producción se logra cuando el aporte de la arveja supera el 60% y el cereal es cosechado al estado de grano pastoso (Lunnan, 1989; Papastylianou, 1990; Hall & Kephane, 1991). Sin embargo, con avena la mayor producción se alcanza con niveles inferiores al 50% de arveja (Jedel & Helrn, 1993). Las mediciones hechas en la zona templada de Chile (Pichard & Aguila, 1983; Demanet & García, 1992; Santini, 1995; Cantero, 1997) demostraron que la producción de materia seca depende de la época de siembra, nutrición de las plantas, momento de la cosecha y proporción arveja - cereal (Figura 5.33).

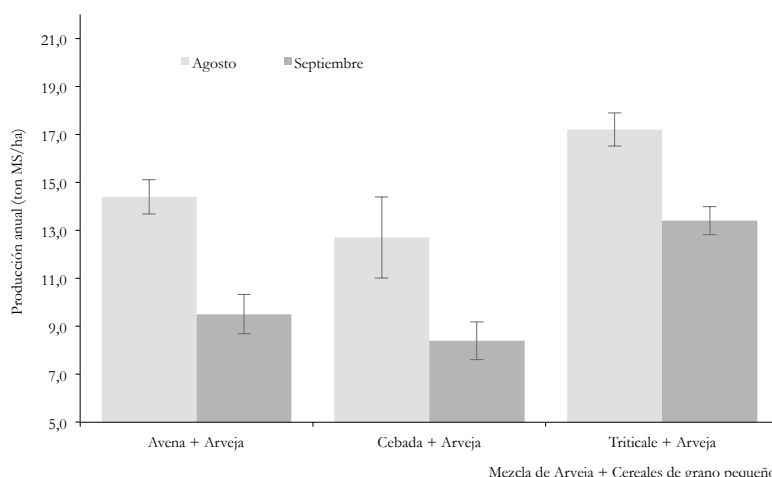


Figura 5.33. Efecto de la época de siembra en la producción de arveja + cereales de grano pequeño. Estación Experimental Maquehue. Universidad de La Frontera. Temporada 2017/2018.

Coefficiente de variación: 6,23%

Valor nutricional: La arveja forrajera es una planta que tiene por objetivo proveer a los sistemas ganaderos de un alimento con un buen contenido de proteína y de alta digestibilidad. Para alcanzar esta meta, es necesario cosechar las plantas en estados de desarrollo temprano, ya que el retraso produce una reducción brusca en los parámetros de calidad (Tabla 5.47).

Tabla 5.47. Efecto de la época de cosecha en la producción y calidad de la arveja forrajera.

Época de cosecha	MS (%)	PC (%)	EM (Mcal/kg)
Segunda quincena Noviembre	15,9 e	17,5 a	2,6 a
Primera quincena Diciembre	20,1 d	16,0 b	2,5 a
Segunda quincena Diciembre	26,9 c	11,3 c	2,8 a
Primera quincena Enero	30,7 b	10,4 c	2,5 a
Segunda quincena Enero	64,2 a	12,5 c	2,3 b

MS: materia seca; PC: proteína cruda; EM: energía metabolizable

Medias que no comparten una letra en común en sentido vertical son diferentes según Prueba de Tukey ($p > 0,05$)

Fuente: Demanet & García, 1992.

Las mezclas de arveja y cereales de grano pequeño tienen un valor nutricional diferente al de sus componentes individuales. Con la asociación se produce un aumento del contenido de proteína de los cereales (Lunnan 1989; Chapko *et al.*, 1991; Hall & Kephane 1991) y un incremento en la digestibilidad de la FDN (Cherney & Marten, 1982; Cherney *et al.*, 1983).

Ensilaje: La arveja sembrada sola o en mezcla con cereales es una alternativa de conservación de forraje como ensilaje y en su elaboración se utiliza maquinaria convencional (Mustafa *et al.*, 2000).

En los ensilajes de arvejas, la proteólisis es un proceso extenso, en especial cuando es cosechada en estados inmaduros. La aplicación de algunos aditivos y el premarchitamiento pueden reducir la degradación de proteína (Cavallarin *et al.*, 2006). Un aditivo que reduce este proceso es el ácido fórmico o su mezcla con otros ácidos y sales orgánicas (Rondahl *et al.*, 2011) que restringen la respiración (Charmley & Veira, 1990) y aumentan la intensidad de la fermentación (Carpintero *et al.*, 1979; Nagel & Broderick, 1992; Vagnoni *et al.*, 1997). Las restricciones ambientales y laborales exigidas en Chile impiden el uso de estas alternativas.

En el proceso de elaboración del ensilaje también hay proteólisis generada por la respiración inicial durante el premarchitamiento, en el que gran parte de la proteína se degrada formando compuestos como amoníaco, aminoácidos y péptidos (Rondahl *et al.*, 2011). Sin embargo, en ensilajes elaborados con niveles de materia seca superiores al 40% la proteólisis se reduce (Carpintero *et al.*, 1979), al igual que en ensilajes cuyo pH es inferior a 4,0 (Finley *et al.*, 1980; McKersie, 1985; Muck, 1988).

En consumo animal y en la elaboración de dietas para categorías animales de altas exigencias nutricionales, la arveja verde fresca y el ensilaje tienen la desventaja de presentar una alta degradabilidad a nivel ruminal (Christensen & Mustafa, 2000; Wilkins & Jones, 2000).

La arveja como pre-cultivo: El uso de leguminosas en rotación con cereales o pasturas de gramíneas tiene como principal objetivo la economía de nitrógeno y el control de algunas enfermedades. El cultivo de arveja produce un efecto residual que se puede extender por más de dos años (Demanet & García, 1992). Mediciones hechas en un andisol de la zona templada demostraron que el pre-cultivo de arveja produce en el trigo un incremento significativo en el rendimiento respecto a otras alternativas de rotación (Tabla 5.48).

Tabla 5.48. Efecto del pre cultivo en el rendimiento de trigo (*Triticum aestivum* L.).

Tratamiento	1° Temporada	2° Temporada
	Producción (ton MS/ha)	Producción (qqm/ha)
Arveja	5,53 c	48,3 a
Vicia	3,62 d	48,1 a
Lupino	5,33 c	43,6 b
Avena	13,14 a	44,6 b
Arveja + avena	9,40 b	46,7 ab

Medias que no comparten una letra en común en sentido vertical son diferentes según Prueba de Tukey ($p > 0,05$)

Fuente: Demanet & García, 1992.

Vicia benghalensis L. syn. *Vicia atropurpurea* Desf. (vicia)

Origen: *Vicia benghalensis* L. es una especie de vicia o arvejilla conocida por los nombres comunes de vicia atropurpúrea o vicia púrpura. Es nativa del sur de Europa y norte de África. Se encuentra extendida en todos los países mediterráneos, cercano y medio oriente, como colonizadora de ecosistemas intervenidos por el hombre, participando como especie invasora y forrajera (Hanelt & Mettin, 1989). En América se introdujo por los colonos europeos y en Chile se difundió en forma rápida, primero como maleza en los cultivos de cereales y, posteriormente, como forrajera para elaboración de heno y ensilaje en mezcla con *Avena* spp.

Descripción botánica: El género vicia está compuesto por 140 especies que han sido clasificados en dos subgéneros Vicilla y Vicia (Kupicha, 1977) y 22 secciones (Endo & Ohashi, 1996). *Vicia atropurpurea* o vicia púrpura es una especie que pertenece a la familia Fabaceae, género *Vicia*, subgénero Vicilla, sección Cracca y especie *Vicia benghalensis* L.

Es una planta de ciclo anual, trepadora con tallos que pueden alcanzar diferentes longitudes (1 a 3 m) y cuyas hojas están formadas por varios pares de folíolos alargados que miden hasta tres centímetros de longitud. Hojas y tallos presentan pilosidad profusa que hace que la planta parezca de color blanco plateado (Figura 5.34). La inflorescencia es unilateral, con flores que se abren al mismo tiempo, de color rosado púrpura. Cada flor tiene un cáliz denso y una corola tubular de uno o dos centímetros de longitud. El fruto es una vaina plana y pilosa que contiene múltiples semillas (Hanelt & Mettin, 1989; Águila, 1997; Rodríguez *et al.*, 2018).



Figura 5.34. Vicia (*Vicia atropurpurea* Desf. syn. *Vicia benghalensis* L.)

Especies y cultivares: La vicia denominada comúnmente arvejilla, es una planta de amplia distribución en Chile. Entre las especies de *Vicia* la de mayor ubicuidad es *Vicia sativa* L. que se encuentra entre Arica y Punta Arenas, en diferentes ecosistemas y en diversas formas de intervención antrópica. En la zona templada la especie utilizada con fines ganaderos es *Vicia benghalensis* L. que es sembrada con *Avena sativa* L. y otros cereales de grano pequeño para elaboración de ensilaje, henilaje y heno. La semilla corriente se comercializa con el nombre de vicia atropurpúrea, sin denominación de algún tipo de cultivar.

Como alternativa al uso de *Vicia benghalensis* L. en la zona templada se evaluaron otras especies como *Vicia sativa* L., *Vicia villosa* Roth y *Vicia dasycarpa* Ten., que presentaron un comportamiento productivo promisorio pero insuficiente para entusiasmar al mercado local (Tabla 5.49).

Tabla 5.49. Comportamiento productivo de cuatro especies del género *Vicia* asociada con *Avena sativa* L. cv Nehuen. Estación Experimental Maipo. Universidad de La Frontera. Temuco. Temporada 1992/1993.

Especie	Altura planta Vicia (cm)	Producción (ton MS/ha)	Vicia (%)	Avena (%)	MS (%)	PC (%)
<i>V. benghalensis</i> L.	168 a	11,06 a	32 a	68 b	23,5 a	13,9 a
<i>V. sativa</i> L.	114 b	11,66 a	14 b	86 a	22,9 a	10,2 a
<i>V. villosa</i> Roth.	181 a	11,84 a	26 a	74 b	23,4 a	10,4 a
<i>V. dasycarpa</i> Ten.	122 b	11,75 a	10 b	90 a	24,5 a	10,1 a

MS: materia seca; PC: proteína cruda

Medias que no comparten una letra en común son diferentes según Prueba de Tukey ($p > 0,05$)

Fuente: adaptado de Cid, 1994.

Asociación: La vicia posee un tallo débil que requiere una planta acompañante de soporte. En la zona templada se utilizan con este objetivo los cereales de grano pequeño, en especial, la *Avena sativa* L. Esta mezcla permite a la vicia trepar por el tallo y las hojas del cereal, produciendo un interesante volumen de forraje en el momento del corte para ensilaje. La fecha de siembra tiene una relación directa con el desarrollo de ambas especies. Los mayores aportes de vicia a la asociación se producen en siembras tempranas (Figura 5.35).

Periodo de siembra: La fecha de siembra se extiende desde el mes de abril hasta el mes de septiembre y depende del área agroecológica. Así, en la zona mediterránea húmeda (Chillán – Los Ángeles) esta especie se establece entre los meses de abril y junio y en la zona templada, entre los meses junio y septiembre. El retraso en la fecha de la siembra produce una reducción en el rendimiento y aporte de la vicia a la composición botánica de la mezcla (Figura 5.36).

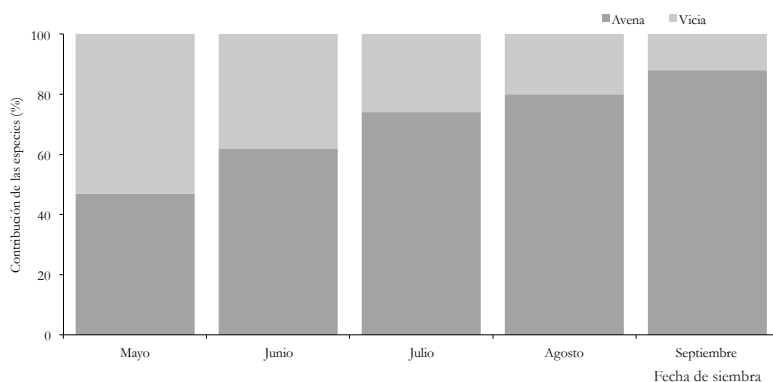


Figura 5.35. Efecto de la época de siembra en la proporción de avena – vicia en el momento de la cosecha. Estación Experimental Maquehue. Universidad de La Frontera. Temuco. Temporada 2015/2016.

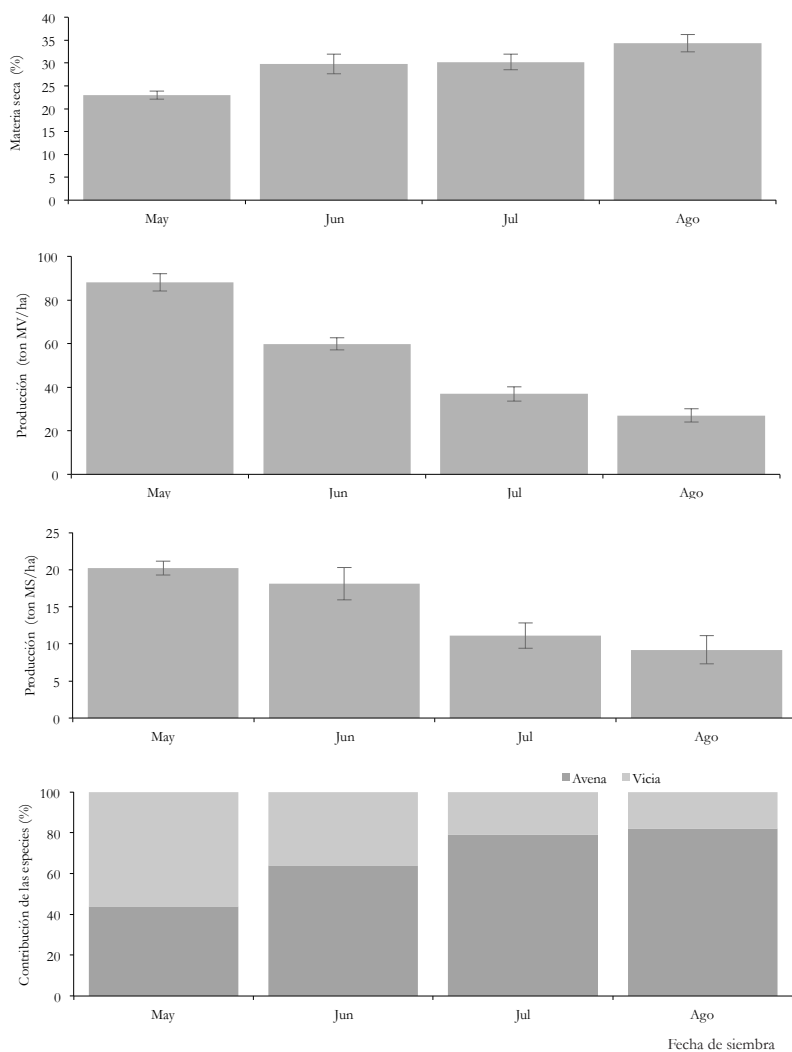


Figura 5.36. Efecto de la época de siembra en el porcentaje de materia seca, producción de forraje verde, rendimiento de materia seca y composición botánica de la mezcla de *Avena sativa* L. + *Vicia benghalensis* L. Estación Experimental Maquehue. Universidad de la Frontera. Temuco. 2016/2017.

Dosis de semilla: El aporte de las especies a la producción total está determinada, en parte, por la dosis de semillas. En la asociación con cereales de grano pequeño la dosis de semillas es de 40 kg de vicia + 80 kg de cereal/ha, equivalente a 50 semillas de vicia/m². El incremento de la dosis de semillas de vicia aumenta la proporción de vicia en la mezcla, pero también incrementa el riesgo de tendadura cuando la planta se encuentra en estados avanzados de madurez.

Utilización: El objetivo de este forraje suplementario es la elaboración de ensilaje. La cosecha se realiza cuando las plantas de vicia se encuentran con las vainas basales formadas y su grano lleno. En la confección del ensilaje se puede considerar la alternativa de corte directo, cuando las plantas tienen un contenido de materia seca superior al 25%, o premarchito, cuando las plantas se encuentran en estados más inmaduros. El corte en estados avanzados de madurez produce pérdida de follaje de la vicia y reducción del contenido de proteína de la mezcla.

Producción: Este parámetro depende de la época de siembra, nutrición de las plantas, momento de cosecha y proporción vicia – cereal. En asociación con cereales puede alcanzar niveles de producción superiores a 18 ton MS/ha (Figura 5.37).

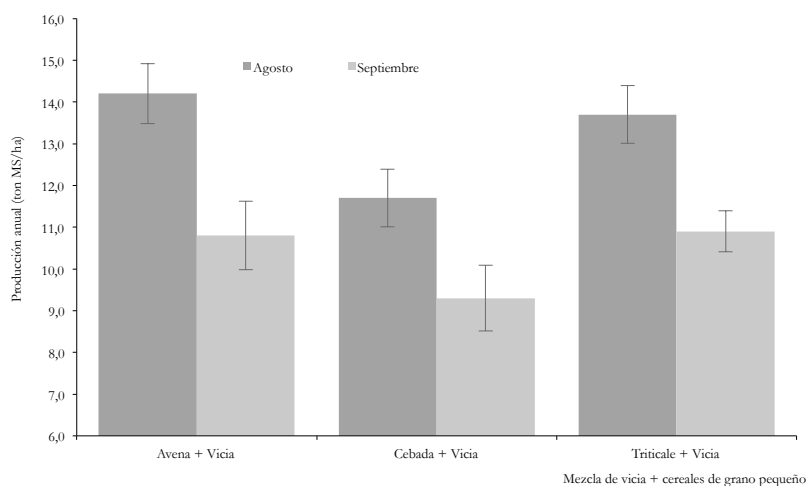


Figura 5.37. Rendimiento de vicia asociada a avena, cebada y triticale sembrada en dos fechas de siembra: agosto y septiembre. Estación Experimental Maquehue. Temuco. Temporada 2017/2018.

Calidad nutricional: La vicia es una especie que en estados juveniles de desarrollo presenta un alto valor nutritivo logrando en floración niveles superiores a 24% de proteína y 2,3 Mcal/kg de energía metabolizable (Tabla 5.50). Al mezclar vicia con avena en el mismo estado fenológico de la vicia, este valor se reduce como consecuencia del aporte del cereal a la producción total. Es habitual que la asociación de vicia + avena presente en el momento de la cosecha valores de 10 al 14% de proteína cruda y 2,0 a 2,3 Mcal/kg de energía metabolizable.

Tabla 5.50. Calidad nutricional de la mezcla vicia + avena cuando se cosechan en distintos estados fenológicos.

Componente	Vegetativo	Botón floral	Inicio floración	Plena floración
Materia seca (%)	9,39	9,4	11,54	12,17
Proteína cruda (%)	26,97	25,87	24,37	24,91
FDA (%)	27,05	35,24	37,05	36,25
FDN (%)	42,82	48,42	51,93	59,06
Energía metabolizable (Mcal/kg)	2,51	2,27	2,77	2,32

Fuente: Salcedo, 1998

Ensilaje: La elaboración de ensilaje de vicia asociada a un cereal se hace con las plantas en estados avanzados de madurez, lo que se traduce en la obtención de un forraje voluminoso, de regular calidad, con bajo contenido de proteínas (Tabla 5.51). La elaboración de ensilajes en estados más inmaduros requiere la pre-deshidratación de las plantas, proceso que implica la pérdida de hojas y estructuras tiernas de las mismas y con ello la reducción de la calidad nutricional.

Tabla 5.51. Valor nutricional de la mezcla de avena + vicia.

Componente	Unidad	Avena + vicia
Materia seca	%	25,15
Proteína cruda	%	7,72
Fibra cruda	%	31,76
FDA	%	38,13
FDN	%	64,43
EM	Mcal/kg	2,17
N-NH3	%	8,88
pH		4,14
Ca	%	0,27
P	%	0,18
Mg	%	0,16
Cenizas	%	6,98

Fuente: adaptado de Anrique *et al.*, 2008 y 2014.

Lupinus spp. (lupino)

Origen: El lupino posee una larga historia en la agricultura del mundo. El proceso de domesticación se inició hace más de 4.000 años con *Lupinus albus* L. Los primeros indicios del uso del lupino (2.000 años AC) se encuentran en el área del Mediterráneo, Egipto y Grecia (Kurlovich, 2002) donde era destinado al consumo humano y animal, en cosmética y medicina (Wolko *et al.*, 2011).

La domesticación en América se inició 700 años AC con *Lupinus mutabilis* Sweet y en 1860, en los países bálticos y Alemania, se utilizó como abono verde (*Lupinus angustifolius* L. y *Lupinus luteus* L.). En 1927 se produce en Alemania la selección de lupinos con bajo nivel de alcaloides y entre 1930 y 1970 se desarrollan los cultivares dulces en Alemania, Suiza y Rusia, a partir de *Lupinus luteus*, *Lupinus angustifolius* L. y *Lupinus mutabilis* Sweet. En la década de los 80 del siglo pasado se inició un proceso acelerado de mejoramiento de lupinos dulces en Australia y Rusia (Wolko *et al.* 2011). En la actualidad los centros de diversidad genética del lupino se encuentran en América del norte, central y sur andina, América del sur atlántico y en la región mediterránea del norte y este de África (Hondelmann, 1984; Ainouche & Bayer, 1999).

Descripción botánica: El lupino es una planta que pertenece a la familia Fabaceae, subfamilia Faboideae, tribu Genisteae, género *Lupinus* y subgénero *Lupinus*. Tiene una inflorescencia en racimo con flores en las que predomina la autopolinización (Figura 5.38). Las vainas, de color verde, sedosas, pueden medir hasta 14 cm y sus semillas se ubican en espacios estrechos en el interior de la vaina. Las semillas son de color blanco y ámbar, con diversos calibres según la especie. En Chile existen especies silvestres que se suelen encontrar en bordes de caminos y sitios sin intervención. Las especies domesticadas de mayor difusión en Chile son: *Lupinus albus* L. (lupino blanco), *Lupinus angustifolius* L. (hoja angosta), también denominado australiano, y *Lupinus luteus* L. (lupino amarillo) (Mera, 2016).



Figura 5.38. *Lupinus albus* L. (lupino blanco)

Utilización

El lupino se utiliza para pastoreo o soiling de verano y elaboración de ensilaje asociado a cereales de grano pequeño.

Pastoreo de verano

Su uso como suplemento de verano se masificó en la zona templada en áreas de secano, donde la falta de forraje verde provocaba disminuciones importantes en la producción de leche entre los meses de enero y febrero. Con el desarrollo de las brassicas esta opción fue desplazada y son pocos los ganaderos que aún mantienen esta fuente de proteína como alternativa para el verano.

En pastoreo durante el verano se utiliza, preferentemente, *Lupinus angustifolius* L. que produce una planta suave, con tallos delgados y más palatable que otras especies de lupino. Para lograr un consumo eficiente de las plantas es necesario someter a los animales a un periodo de acostumbramiento, ya que, en general, es poco palatable.

Para la elaboración de soiling es posible el uso de las especies *Lupinus albus* L. y *Lupinus angustifolius* L., ya que el animal tendrá acceso a un forraje prepicado y, en algunos casos, incluido dentro de una mezcla completa donde no tiene oportunidad de selección.

Mediciones hechas en la precordillera de la región de La Araucanía con *Lupinus albus* L. cv. Multolupa se logró una acumulación de materia seca en el periodo de verano de hasta 20 ton MS/ha (Romero *et al.*, 1993). En mediciones hechas en la misma zona, pero con *Lupinus angustifolius* L. se demostró que la acumulación de materia seca del periodo estival no supera las 6,2 ton MS/ha (Figura 5.39).

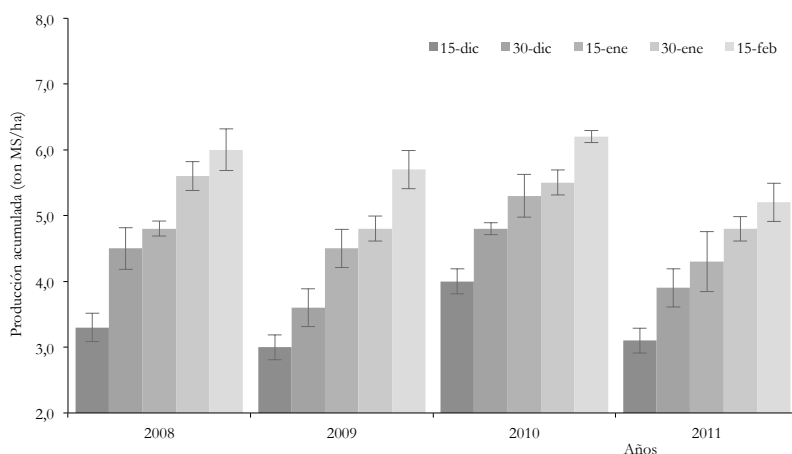


Figura 5.39. Producción acumulada de *Lupinus angustifolius* L. sembrado en septiembre y cosechado en cinco etapas de crecimiento. Selva oscura, precordillera de la región de La Araucanía. Temporada 2008 – 2011.

Conservación de forraje

La conservación del lupino como planta entera se hace a través del ensilaje. Mediciones realizadas en Traiguén (secano interior) y Curacautín (precordillera), en la región de La Araucanía, con lupino solo y en mezcla con avena demostraron que el rendimiento para ensilaje superó las 9 ton MS/ha en el secano interior y 12 ton MS/ha en la precordillera (Demanet & García, 1992).

El ensilaje de lupino solo o en mezcla con cereales de grano pequeño es muy complejo de elaborar debido a la escasa posibilidad que se tiene de lograr un nivel de materia seca superior al 20% que permita desarrollar una rápida fermentación ácido láctica. Si se opta por la alternativa de la deshidratación antes del picado (premarchito), la pérdida de humedad de la masa cortada es lenta y escasa. Bajo estas condiciones, el ensilaje que se logra es de mala calidad debido al alto contenido de humedad y nitrógeno amoniacal, lo que limita el consumo animal (Tabla 5.52).

Tabla 5.52. Parámetros de calidad del ensilaje de *Lupinus albus* L. elaborado bajo la técnica de corte directo y premarchito.

Tipo de ensilaje	MS (%)	pH	PC (%)	N-NH ₃ (%)
Corte directo	15,2	3,72	40,8	14,0
Premarchito	16,9	3,80	40,1	15,8

MS: materia seca; PC: proteína cruda; N-NH₃: nitrógeno amoniacal
Fuente: adaptado de Borreani *et al.*, 2009.

Brassica rapa subsp. *rapa* L. (nabo forrajero)

Origen: Nativa del área mediterránea europea y templada de Asia, es una especie cultivada para consumo humano y animal. Tiene una larga historia de uso y su domesticación se remonta a la época helenística y romana. *Gaius Plinius Secundus*, conocido como Plinio el viejo, consideraba esta verdura como una de las más importantes de su época. Con el paso del tiempo esta especie, históricamente utilizada para el consumo humano, se convirtió en un importante recurso forrajero para producción animal, destinado a suplir el déficit de forraje en el periodo estival (Barry, 2013).

A Chile la trajeron los colonos europeos para consumo humano y a finales del siglo XX se incorporó como recurso forrajero tras sucesivas importaciones de semillas procedentes en una primera etapa de Nueva Zelanda y posteriormente de Dinamarca.

Descripción botánica: *Brassica rapa* subsp. *rapa* L. tiene como nombre común nabo forrajero y en inglés turnips. Pertenecce a la familia Brassicaceae, género *Brassica*, especie *Brassica rapa* subsp. *rapa*. Es una planta herbácea, de ciclo bianual, con raíz tuberosa, glabra y tricomas dispersos. Sus hojas inferiores son pinnatisectas, pecioladas, con el haz y envés hirsuto y las superiores enteras, marcadamente amplexicaules, glabras y con frecuencia con leve coloración azulada (Figura 5.40). La inflorescencia es en racimo corimbiforme, con flores amarillas. El fruto es una silicua esférica de color marrón oscuro. La raíz engrosada es de color blanco, salvo los primeros centímetros que sobresalen del suelo que son de color púrpura, rojo o verdoso (Whitson, 1996; Pardo de Santayana *et al.*, 2014).



Figura 5.40. *Brassica rapa* subsp. *rapa* L. (nabos forrajeros)

Utilización: Durante el periodo de verano produce un importante volumen de hojas y un bulbo succulento, que sobresale de la superficie del suelo, generando un forraje de alta calidad nutritiva y fácil consumo a través de pastoreo por los animales. Es el suplemento forrajero voluminoso de verano más importante de la zona sur de Chile y se utiliza preferentemente en pastoreo durante el periodo de diciembre a marzo.

Rotación de cultivos: En los sistemas ganaderos de la zona templada se incluye en rotación con otras pasturas con el objetivo de evitar el monocultivo y la roturación de las pasturas permanentes. Entre las opciones de

rotación se encuentran las ballicas híbridas, que utilizan los potreros post nabos durante tres años. Otra alternativa es la rotación con el maíz para ensilaje, que permite el uso con nabos año por medio.

Mejoramiento de pasturas: El mejoramiento y renovación de pasturas permanentes es otro de los usos de esta especie. La fertilización balanceada de alta concentración, que es utilizada en la siembra de este cultivo, unida al corto periodo productivo y buen control de especies gramíneas, permiten que este forraje suplementario deje en el suelo un alto contenido de nutrientes residuales, transformándolo en un excelente pre cultivo para el establecimiento de pasturas permanentes. Además del efecto residual proporcionado por la fertilización inorgánica está el reciclaje realizado por los animales, que se manejan con alta carga y presión de pastoreo.

Periodo de siembra: La precocidad de los cultivares y la zona agroecológica, determinan la época de siembra. Este cultivo permite un extenso periodo de siembra, que se inicia en la primera quincena de septiembre y finaliza en la segunda semana de noviembre. La fecha de establecimiento depende de la temperatura del suelo ($>10^{\circ}\text{C}$) y la disponibilidad de agua, elemento fundamental para lograr el máximo desarrollo de las plantas, antes del inicio de la temporada de consumo. Una muestra de la extensión del periodo de siembra es el establecimiento en septiembre en la precordillera de la región de La Araucanía, en donde este cultivo representa un importante aporte a la dieta de las vacas en el periodo de diciembre a marzo. Por otra parte, en las zonas circundantes a los lagos en las regiones de Los Ríos y Los Lagos, la siembra se hace hasta finales de noviembre.

En una medición realizada en la localidad de Temuco, en siembra convencional, se observó que el retraso en la fecha de siembra producía una reducción significativa en el rendimiento del cultivo y un cambio importante en el aporte de hojas y raíces a la producción total (Tabla 5.53).

Tabla 5.53. Efecto de la fecha de siembra en el rendimiento y componentes de rendimiento de *Brassica rapa* subsp. *rapa* L. Estación Experimental Maquehue. Universidad de La Frontera. Temuco. Temporada 2005/2006.

Fecha de siembra	Días siembra 1º utilización	Producción (ton MS/ha)	Hojas (%)	Raíz (%)
15 oct	107	12,46 a	64	36
30 oct	93	10,45 b	52	48
15 nov	77	6,12 c	48	52
30 nov	62	4,33 d	42	58

Medias que no comparten una letra en común son diferentes según Prueba de Tukey ($p > 0,05$)

Sistema de siembra: Los nabos se establecen en sistemas de labranza convencional, con preparación completa del suelo o cero labranza. En ambas alternativas se considera el barbecho químico como labor primordial, dado que los nabos son muy sensibles a la competencia con especies residentes durante el proceso inicial de desarrollo de las plantas. No es adecuada la siembra cero labranza en suelos compactados. En ese caso es necesario el establecimiento con labranza convencional y paso del arado subsolador.

En siembras convencionales con preparación de suelos se pretende tener una perfecta cama de semilla lo que se logra con el paso del rodón antes y después de la siembra, con el objetivo de lograr el máximo contacto de la semilla con el suelo y que la profundidad de siembra no supere los 0,5 centímetros.

Fertilización: Esta especie es muy sensible a la acidez del suelo. El pH requerido para su mejor desarrollo se encuentra sobre 6; por lo tanto, en la zona templada es necesario incluir en el plan de siembra la aplicación de enmiendas calcáreas, ya que es habitual que los suelos tengan pH inferiores a este valor. La enmienda se aplica al menos con dos meses de antelación a la siembra y se emplea una proporción de 1:1 entre dolomita (carbonato de calcio y magnesio) y sulfato de calcio (yeso).

Dosis de semilla: La dosis de semilla depende del sistema de siembra. Al voleo se usan 4 kg semillas/ha y en siembra en línea 3 kg semillas/ha, valores que permiten lograr una densidad de 70 plantas/m². En siembras hechas en condiciones de riego, la dosis se reduce a 2,5 kg semillas/ha, dependiendo de la cama de semilla y de la calidad del riego aplicado. En cultivares tetraploides, la dosis de semilla es de 4 kg/ha ya que el tamaño de su semilla es mayor.

En una medición hecha con semillas diploides en un suelo con preparación convencional se observó que la dosis de semilla no tuvo influencia en la producción total de materia seca del cultivo, pero sí modificó el aporte de los componentes de la planta (Tabla 5.54).

Tabla 5.54. Efecto de la dosis de semilla en la producción y el aporte de hojas y raíces al rendimiento de *Brassica rapa* subsp. *rapa* L. Estación Experimental Maquehue. Universidad de La Frontera. Temporada 2005/2006.

kg semilla/ha	Producción (ton MS/ha)	Hojas (%)	Raíz (%)
1	12,84 a	40	60
2	12,66 a	42	58
3	13,45 a	48	52
4	13,86 a	51	49
6	13,28 a	54	46

Cultivares: Los cultivares se diferencian por su ciclo de crecimiento, proporción hoja – bulbo y ploidía (Tabla 5.55). Los cultivares de mayor uso en la zona templada son aquellos que presentan un follaje abundante y un bulbo muy bien desarrollado. Este tipo de nabos forrajeros también recibe la denominación de nabos de verano. Otro tipo de cultivares de esta especie son los denominados nabos de invierno, que en su estructura domina el follaje y el bulbo presenta un pequeño desarrollo al final de la temporada. Son especialmente recomendados para zonas de veranos secos y suelos con bajo nivel de fertilidad.

Tabla 5.55. Cultivares de *Brassica rapa* subsp. *rapa* L. ordenados según ploidía y precocidad.

Cultivar	Ploidía	Días Siembra – Utilización
Dynamo	2n	60 – 80
Barkant	2n	60 – 90
Balance	2n	60 – 90
Gigante Violeta	2n	80 – 100
Gadol	2n	80 – 100
APT	2n	90 – 100
Samson	2n	90 – 100
Green Globe	2n	90 – 120
Verde Norfolk	2n	100 – 120
Marco	4n	55 – 65

Los nabos de hoja son un grupo que se desarrolló a partir del cruzamiento de la especie *Brassica napus* con otros tipos de *Brassicac* spp. Son plantas donde predomina el follaje, y se caracterizan por ser precoces con capacidad de rebrote, lo que les permite, en algunos cultivares, ser pastoreados hasta tres veces en la temporada. En ambientes templados es posible su utilización en 40 días.

Producción: El nivel de rendimiento que pueden alcanzar los nabos forrajeros dependen de la época de siembra, la nutrición de las plantas, las condiciones climáticas y el momento de utilización (Demanet, 2014). Mediciones hechas en diferentes condiciones climáticas de la zona templada, han demostrado que es posible alcanzar producciones superiores a 18 ton MS/ha (Figura 5.41). Sin embargo, existen factores determinantes que hacen que este rendimiento no se consiga, entre los que destacan la utilización antes del término de su ciclo de desarrollo, la nutrición deficiente y el mal control de especies residentes, invasoras y plagas.

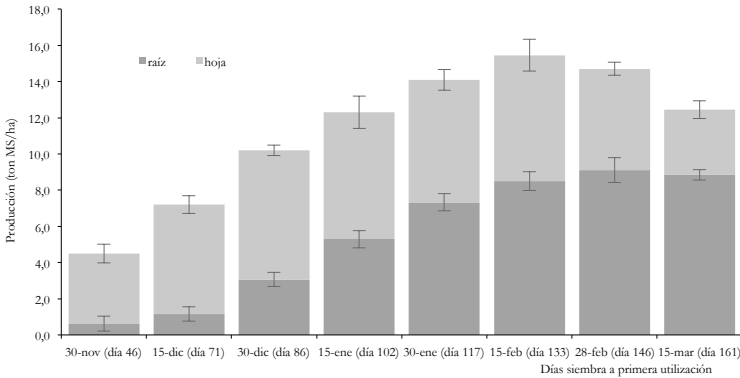


Figura 5.41. Rendimiento acumulado y aporte de hojas y raíces desde la siembra a la cosecha de *Brassica rapa* subsp. *rapa* L.. Promedio de 110 predios lecheros. Plan lechero Watt's. Loncoche – Frutillar. Periodo 2010 – 2014.

Consumo: La fecha de inicio del consumo en pastoreo depende de la precocidad de cada cultivar oscila entre 70 y 120 días, periodo en el que las hojas alcanzan su máximo crecimiento y calidad nutritiva. Después de la madurez de las hojas, la raíz engrosada continua su crecimiento. El consumo de los primeros pastoreos es rechazado por los animales por desconocimiento del forraje. Una vez ambientados, los animales consumen con avidez, hasta niveles que requieren aceleran la velocidad de traslado hacia los potreros. Una vez en el potrero, los animales tienen una marcada preferencia por el consumo de hojas sobre las raíces, que finalmente son consumidas al término de la jornada de pastoreo e incluso en los días siguientes, cuando se encuentran pre deshidratados. Hay autores que indican que esa preferencia no existe (Moate *et al.*, 1999), pero en las condiciones de la zona templada es algo que se observa con frecuencia en todos los cultivares.

La palatabilidad y avidez de consumo supone la necesidad de restringir la oferta diaria por el riesgo metabólico del consumo excesivo. Esto se evita ofreciendo al ganado franjas diarias de pastoreo largas y angostas, controladas con cercos eléctricos que permiten, además, reducir las pérdidas por pisoteo, defecación o contaminación con tierra (Figura 5.42). Esta forma de entrega, que aumenta la eficiencia de uso del forraje, limita el consumo y el tiempo de pastoreo, restringiendo la dieta diaria a sólo 5 kg MS/vaca/día en un tiempo no superior a tres horas, lo que equivale aproximadamente al 30% de la dieta diaria de las vacas lecheras en base a materia seca (Lanuza, 2011).



Figura 5.42. Consumo de *Brassica rapa* subsp. *rapa* L. en pastoreo con franja diaria.

El consumo excesivo de *Brassica rapa* subsp. *rapa* L. produce problemas metabólicos como son la anemia hemolítica, el bocio, la fotosensibilización, las lesiones hepáticas y el timpanismo, todo ello debido a la acción de factores anti nutricionales como son los glucosinolatos, los sulfóxidos de metilcisteínas y los nitratos (Barry, 2013).

Calidad nutricional: El aporte nutricional depende del estado de madurez de las plantas en el momento de ser consumidas. En verano, las plantas presentan, en promedio, entre un 8 y un 10% de materia seca, 8 a 14% de proteína cruda, 2,8 a 3,2 Mcal/kg MS, 85 a 92% de digestibilidad y 18 a 22% de FDN, valores que, en conjunto, demuestran la necesidad de ofrecer al ganado los nabos forrajeros junto con un adecuado alimento rico en fibra (paja o heno).

Al comparar la composición química de la planta de las diferentes especies de brassicas utilizadas en alimentación de rumiantes, se observa que los nabos forrajeros tienen un menor contenido de proteínas y carbohidratos solubles y una mayor proporción de FDN y pectina que las otras especies, valores que determinan que la relación carbohidratos fermentables/carbohidratos estructurales sea la más baja de todas (Tabla 5.56).

La calidad nutricional de *Brassica rapa* subsp. *rapa* L. cambia según el cultivar, estado fenológico y proporción de hojas y raíces. En una medición realizada en predios de 64 ganaderos lecheros de la zona templada que utilizaban este recurso forrajero para alimentar sus vacas durante el periodo estival, se determinó la calidad

nutricional de la planta completa al inicio del consumo en pastoreo (Tabla 5.57). Los datos demostraron una baja variabilidad entre los productores en los parámetros evaluados y el buen nivel de proteína y energía que este recurso posee al comienzo de la etapa de consumo. La limitante para el consumo es el bajo contenido de materia seca y alto nivel de FDN.

Tabla 5.56. Composición química de cuatro especies del género *Brassica* utilizadas en alimentación de rumiantes.

Parámetros de calidad (%)	Nabos	Colinabos	Raps	Coles	Promedio
Materia seca	10,1	9,4	12,6	14,1	11,6
Proteína cruda	13,0	16,2	19,3	16,7	16,3
Carbohidratos solubles en agua	23,8	30,1	19,6	17,3	22,7
FDN	24,0	17,6	23,4	20,1	21,3
FDA	18,0	12,1	16,3	12,9	14,8
Pectina	9,4	6,9	8,9	8,0	8,3
Lignina	6,3	5,1	6,3	5,7	5,9
Ceniza	14,9	9,2	14,0	13,9	13,0
Relación RDF/SC ¹	1,9	3,1	1,7	1,8	2,1

1: Relación entre carbohidratos fermentables (carbohidratos solubles en agua + pectina/carbohidratos estructurales (FDN-lignina)

Fuente: adaptado de Sun *et al.*, 2012.

Tabla 5.57. Contenido de nutrientes de *Brassica rapa* subsp. *rapa* L. medida en predios de 64 productores de la zona templada al inicio de la temporada de consumo (enero). Plan lechero Watt's. Loncoche – Frutillar. Periodo 2010 – 2016.

Nutriente	Promedio	Máximo	Mínimo
MS (%)	15,0	19,6	9,8
PC (%)	26,0	35,3	16,0
FDA (%)	24,8	36,5	19,2
FDN (%)	47,3	57,3	40,7
EM (Mcal/kg)	2,59	2,91	1,88
DMS (%)	79,8	89,9	57,2
Cenizas (%)	11,9	33,9	7,8

MS: materia seca; PC: proteína cruda; FDA: fibra detergente ácida; FDN: fibra detergente neutra; EM: energía metabolizable; DMS: digestibilidad de la materia seca.

En la evaluación de los componentes de rendimiento de las plantas de *Brassica rapa* subsp. *rapa* L. se observó que existen diferencias en el contenido de nutrientes de hojas y raíces entre las que destaca el alto contenido de proteínas en sus hojas y el buen nivel energético de las raíces (Tabla 5.58).

Tabla 5.58. Contenido de nutrientes en hojas y raíces de *Brassica rapa* subsp. *rapa* L.

Parámetros de calidad	Enero		Marzo	
	Hojas	Raíces	Hojas	Raíces
Materia seca (%)	8,7	7,1	12,1	6,8
Proteína cruda (%)	26,5	12,3	19,6	14,1
Digestibilidad de la MS (%)	95,0	97,9	94,0	96,6
Energía metabolizable Mcal/kg)	2,82	3,13	2,89	3,14

Respuesta productiva: Suplementar la alimentación del ganado lechero en verano con nabos forrajeros mejora el equilibrio en el aporte de energía y proteínas a nivel de los microorganismos del rumen, permitiendo una reducción en los niveles de urea de la leche (Parga *et al.*, 2010). La mejor respuesta productiva en verano se logra al utilizar nabos suplementados con alimentos ricos en proteínas (Moate *et al.*, 1999).

La respuesta productiva de los animales en pastoreo de nabos difiere según la rigurosidad climática del periodo estival. En veranos secos se han observado incrementos de 0,6 kg de leche por kilo de materia seca de nabo suplementado. Sin embargo, en veranos húmedos esta respuesta se reduce a sólo 0,2 kg de leche/kg de materia seca de nabo suplementado (Moate *et al.*, 1998; Parga *et al.*, 2009; Parga *et al.*, 2010).

En una medición realizada en un grupo de 35 ganaderos del área del lago Ranco, en la zona templada, se observó que la producción de materia seca presentaba una alta variación entre productores: 0,47 a 10,13 ton MS/ha. La

inclusión del nabo en la dieta presentó un rango de 2,6 a 40,7% y la eficiencia de utilización promedió un 76,5%. Bajo estas condiciones se concluyó que el consumo de materia seca y energía metabolizable y la producción de leche aumentaba con el incremento de la oferta de nabos. Sin embargo, en dietas con bajo consumo de materia seca, la producción de leche se redujo y la inclusión de nabo no cambió el nivel productivo de las vacas (Aucal *et al.*, 2015).

***Brassica napus* subsp. *napobrassica* L. (colinabos o rutabaga)**

Origen: Nativa del área oeste del Mediterráneo se incorporó a los sistemas ganaderos de la zona templada en los últimos 30 años con el objetivo de aportar forraje de calidad en el periodo de verano, otoño e inicio de invierno.

Descripción botánica: *Brassica napus* subsp. *napobrassica* L. recibe como nombre común colinabo o rutabaga y en inglés *svedes*. Pertenece a la familia Brassicaceae, género *Brassica*, especie *Brassica rapa* subsp. *napobrassica*. Es una planta herbácea bienal, glabra y de raíz bulbosa que se desarrolla a partir del hipocótilo. Su superficie puede ser de color morado, blanco o amarillo y el contenido interno sólido, de color amarillo o blanco. Las hojas son gruesas, lisas, de color verde oscuro y emergen de la corona o el cuello de la raíz para formar una roseta que cubre el suelo. La presencia de una corona o cuello de la raíz distingue a los colinabos de los nabos. Sus hojas basales son pecioladas, liradas, de segmentos enteros con uno más prominente. Las hojas superiores son sésiles o subamplexicaules, de forma oblonga o lanceolada. La inflorescencia es un racimo corimbiforme con flores de coloración amarilla y el fruto es una silicua con una fila de semilla en cada lóculo. Las semillas son de forma esférica y de color marrón oscuro (Figura 5.43) (Whitson, 1996; Pardo de Santayana *et al.*, 2014).



Figura 5.43. *Brassica rapa* subsp. *napobrassica* L. (rutabaga o colinabo)

Periodo de siembra: Se extiende desde septiembre a diciembre y se siembra en sistema de labranza convencional. La baja tolerancia a la acidez del suelo determina que la corrección sea una práctica habitual y necesaria. La enmienda se aplica al menos dos meses antes de la siembra con una proporción de 1:1 entre carbonato de calcio y magnesio (dolomita) y sulfato de calcio (yeso).

Dosis de semilla: La dosis depende de la calidad de la cama de semilla. En suelos muy bien mullidos, la dosis de semilla es entre 1 y 1,5 kg/ha y en suelos con preparaciones deficientes, se considera una dosis de 2 kg semillas/ha.

Cultivares: La principal procedencia del material genético que se utiliza en Chile es Nueva Zelandia y tiene un periodo desde la siembra a su utilización que fluctúa entre 150 a 250 días (Tabla 5.59).

Tabla 5.59. Principales cultivares de *Brassica napus* subsp. *napobrassica* L. utilizados en la zona templada de Chile.

Cultivar	Ploidía	Días de siembra a utilización
Major plus	2n	150 - 180
Highlander	2n	180 - 240
Aparima Gold	2n	180 - 240
Invitation	2n	170 - 250

Utilización: La utilización en pastoreo se extiende de marzo a agosto, periodo en que los animales consumen de forma restrictiva este suplemento en franjas angostas y largas limitadas por cercos eléctricos móviles. El consumo diario se realiza en menos de tres horas, en las que los animales adultos ingieren en promedio unos 5 kg MS/cabeza.

La eficiencia de utilización del cultivo está directamente relacionada con el manejo de la franja diaria y el tamaño de los bulbos de las plantas. En ocasiones, cuando existe una reducida población de plantas, los bulbos crecen individualmente de forma exagerada, lo que induce a su consumo parcial por parte de los animales y, con ello, se produce una pérdida del forraje disponible, lo que puede provocar una reducción de la eficiencia de utilización a menos de un 50%.

Producción: En la zona templada *Brassica napus* subsp. *napobrassica* L. tiene una baja participación en los sistemas ganaderos y se utiliza de forma preferente en áreas en las que es necesario mantener el nivel de consumo de forraje verde durante el periodo de abril a julio. El avance en la tecnología de producción ha permitido alcanzar niveles superiores a 18 ton MS/ha. Mediciones hechas en la zona templada han demostrado que el contenido de materia seca de la planta entera en el periodo de invierno no supera el 14%, la proporción de hojas varía entre el 55 y el 65% en base a la materia seca (bms) y la relación hoja – raíz entre 1,22 y 1,86 (Tabla 5.60).

Tabla 5.60. Contenido de materia seca de la planta entera, las hojas y la raíz, proporción de hojas y raíz, relación hoja:raíz y rendimiento de *Brassica napus* subsp. *napobrassica* L. en tres localidades de la zona templada. Valdivia, Osorno y Río Negro. Temporada 2014/2015.

Parámetros	Valdivia	Osorno	Río Negro
Materia seca planta entera (%)	8,48	8,40	9,90
Materia seca hojas (%)	10,40	10,6	9,50
Materia seca raíz (%)	5,68	7,25	7,60
Hojas (% bms)	65,0	59,0	55,0
Raíz (% bms)	35,0	41,0	45,0
Relación hoja/raíz	1,86	1,44	1,22
Rendimiento (ton MS/ha)	12,87	16,54	18,62

Calidad nutricional: Esta especie produce un forraje de calidad, con bajo contenido de materia seca. En el tiempo de consumo en pastoreo, las plantas presentan en promedio entre un 10 y un 12% de materia seca, entre 8 y 14% de proteína cruda, entre 2,8 y 3,2 Mcal/kg MS, entre 75 y 85% de digestibilidad y entre 22 y 24% de FDN. En comparación con otras especies del mismo género, *Brassica napus* subsp. *napobrassica* L. tiene un alto contenido de carbohidratos solubles en agua, lo que determina que la relación entre carbohidratos fermentables y carbohidratos estructurales sea mayor que en otras especies utilizadas en alimentación de rumiantes.

El contenido de nutrientes de las plantas depende del nivel de fertilidad del suelo, la nutrición de las plantas, que se puede hacer a través de fertilización orgánica o inorgánica, el cultivar, el estado fenológico y la proporción de los componentes de estas. En una medición hecha en la localidad de San José de La Mariquina se demostró que las hojas de esta planta poseen un mayor contenido de materia seca y proteína que las raíces (Figura 5.44) y que, dependiendo del momento de utilización, el contenido de energía es superior al proporcionado por los nabos (Figuras 5.45).

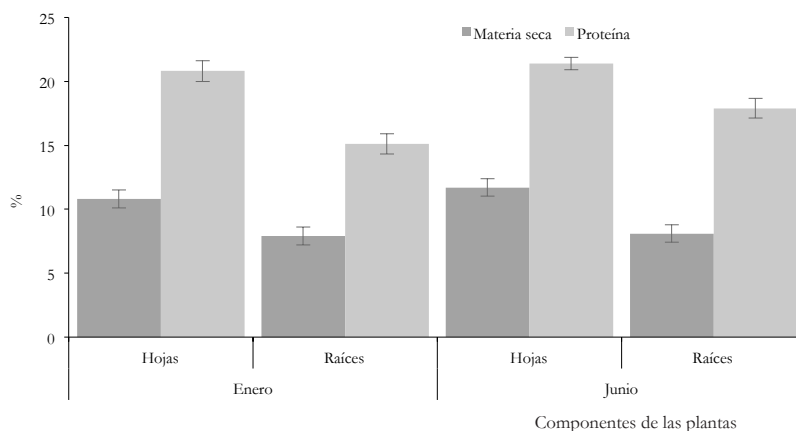


Figura 5.44. Contenido de materia seca y proteína cruda en *Brassica napus* subsp. *napobrassica* L. medida en dos etapas del cultivo: enero y junio. San José de la Mariquina. Temporada 2006/2007.

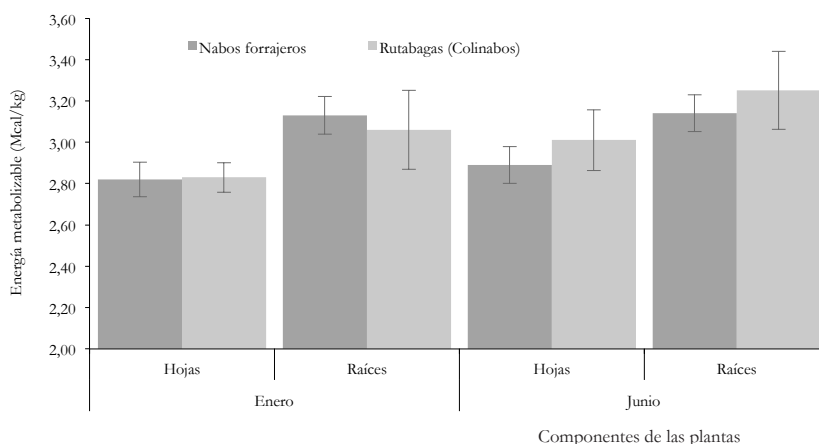


Figura 5.45. Contenido en energía metabolizable (Mcal/kg) en hojas y raíces de *Brassica rapa* subsp. *rapa* L. y *Brassica napus* subsp. *napobrassica* L. medido en dos etapas del cultivo: enero y junio. San José de la Mariquina. Temporada 2006/2007.

Restricción de consumo: La rutabaga, al igual que la mayoría de las especies de la familia de las brassicas, se caracteriza por presentar una alta concentración de azufre, producto de la presencia del aminoácido libre S-metil-cisteína sulfóxido, los glucosinolatos y el sulfato inorgánico. La rutabaga presenta un mayor contenido de glucosinolatos que otras brassicas (Sun *et al.*, 2012). Esto tiene mucha importancia en la nutrición animal, ya que los tiocianatos y el oxazolideno-2-tiones liberados tras la degradación de los glucosinolatos son bociógenos que reducen la absorción de yodo por la glándula tiroides (Barry, 2013).

El alto contenido de glucosinolatos (Tabla 5.61) es una de las razones de la restricción del consumo de materia seca a niveles máximos de un 30% de la dieta diaria de las vacas lecheras. El consumo excesivo produce problemas metabólicos como anemia hemolítica y bocio, entre otras (Lanuza, 2011; Barry, 2013).

Tabla 5.61. Compuestos secundarios en plantas del género *Brassica* utilizadas en alimentación de rumiantes.

Glucosinolatos (μmol/g MS)	Rutabaga	Nabos	Coles	Raps
Progoitrin	6,0	6,9	0,9	8,8
Gluconapin	1,4	1,9	0,6	4,5
Sinigrin	0,0	0,0	3,6	0,2
Glucobrassicinapin	0,5	5,9	0,1	2,6
Gluconapoleiferin	3,5	5,4	0,1	1,8
Glucobrassicin	1,2	0,7	2,2	0,7
Neoglucobrassicin	3,1	1,3	0,3	0,5
Gluconasturtin	1,2	1,2	0,5	0,6
Total	16,9	23,3	8,3	19,7

Fuente: Barry, 2013.

***Brassica napus* subsp. *biennis* L. (raps forrajero)**

Origen: Esta especie proviene del Asia central (Tíbet), Turquía, Hungría y Ucrania. Hoy se cultiva en todas las áreas templadas del mundo y en los trópicos de altura (1.500 a 2.000 msnm) (Hegi, 1986). En Chile, y específicamente en la zona templada, se utiliza como planta forrajera desde hace dos décadas.

Descripción botánica: *Brassica napus* subsp. *biennis* L. se conoce como raps forrajero y en inglés forage rape. Perteneció a la familia Brassicaceae, género *Brassica*, especie *Brassica rapa*. Desarrolla diversos tallos con hojas muy frondosas y una raíz pivotante delgada que puede ser cosechada en forma directa por los animales en pastoreo (Figura 5.46). Es tolerante a las bajas temperaturas invernales y constituye una opción para el pastoreo de verano, otoño e invierno. Desde la siembra al primer pastoreo se requieren entre 70 y 110 días. De acuerdo con las condiciones de fertilidad, época de uso y estado de las plantas post utilización, es posible lograr un rebrote que puede ser pastoreado en un tiempo no superior a 30 días.



Figura 5.46. *Brassica napus* subsp. *biennis* (raps forrajero).

Requerimientos: El raps forrajero se adapta bien en una amplia gama de condiciones climáticas y de suelos. Se desarrolla en áreas cuya precipitación es entre 300 y 2.800 mm y responde a la fertilización que incluye nitrógeno, fósforo y, especialmente, azufre. Es sensible a la toxicidad por aluminio y manganeso en suelos ácidos y es relativamente tolerante a la salinidad del suelo (Zagal *et al.*, 2003). No tolera las inundaciones eventuales ni el mal drenaje de los suelos.

Rotación de cultivos: Esta es una especie que presenta diversos beneficios en los sistemas de rotación de cultivos. En primer término, tiene la particularidad de hacer un excelente uso de la fertilización residual que dejan otros cultivos menos eficientes en el uso de nutrientes. La rápida y activa exploración radical que lleva a cabo en menos de 60 días (Shepherd & Davies, 1993) le permite la absorción del nitrógeno disponible en el suelo de manera más eficiente que algunas especies forrajeras como las ballicas perennes y de rotación (Malagoli *et al.*, 2005).

Otra característica importante para su uso en los sistemas de rotación es su capacidad de mejorar las condiciones físicas del suelo y para reducir la presencia de patógenos. Su contenido en glucosinolatos contribuye a la biofumigación del suelo, que es un beneficio directo para cultivos posteriores (Morra & Kirkegaard, 2002; Matthiessen & Kirkegaard, 2006; García *et al.*, 2008).

Periodo de siembra: Existen dos épocas de siembra para esta especie. Debido a la velocidad de crecimiento que posee, es factible sembrar raps en el periodo comprendido entre los meses de octubre y diciembre, con el objetivo de utilizarlo en el verano y parte del otoño. En áreas de secano es posible adelantar la siembra al mes de septiembre.

Las siembras de verano, que se hacen entre los meses de enero y marzo, están restringidas a sectores de riego o suelos con suficiente humedad, lo que permiten la germinación de las semillas, la emergencia y el desarrollo de las plantas. El raps sembrado en esta fecha tiene por objetivo utilizar este cultivo suplementario en pastoreo, durante el periodo de otoño e invierno.

Independientemente de la época de siembra, en el momento del establecimiento es necesario considerar que la temperatura del suelo sea igual o superior a 10°C. Con temperaturas inferiores la emergencia de las plántulas se retrasa, lo que produce una fuerte competencia con las malezas en las primeras etapas de desarrollo del cultivo. Esto es, particularmente importante debido a que existen pocas opciones de control post emergente.

Sistema de siembra: Se establece en sistema de labranza convencional, con preparación del suelo. Para lograr una buena siembra, la cama de semilla debe ser mullida y muy bien compactada. El barbecho químico, realizado con anticipación 40 días antes de la siembra, permite disminuir la carga de malezas, factor que es necesario considerar debido a que este cultivo, en sus primeras etapas de desarrollo, es muy poco agresivo y su tasa de crecimiento inicial es muy baja.

Dosis de semilla: La dosis depende de la calidad de la cama de semilla. En suelos muy bien mullidos y compactados, la dosis de semilla es entre 3 y 4 kilos/ha. En suelos con preparaciones deficientes es necesario aumentar las dosis a 4 ó 5 kilos de semillas/ha.

Cultivares: Los cultivares de raps forrajero se clasifican en gigantes y enanos. Ambos tipos son distintos a los raps destinados a producción de aceite. Los de tipo gigante presentan un crecimiento vertical con múltiples tallos y los de tipo enano son más cortos y ramificados. Todos los cultivares de raps son clasificados como precoces cuando el periodo de siembra hasta la primera utilización es entre 90 y 100 días. En siembra de primavera se pueden sembrar cultivares de diversa precocidad; sin embargo, en las siembras de verano se prefieren los cultivares precoces (Tabla 5.62).

Tabla 5.62. Cultivares de *Brassica napus* subsp. *biennis* L.

Cultivar	Capacidad de rebrote	Días entre siembra y utilización
Licapo	Baja	90 - 100
Spitfire	Alta	90 - 100
Pillar	Alta	90 - 110
Goliath	Alta	90 - 110
Interval	Alta	90 - 110

Utilización: Se utiliza en pastoreo entre los meses de diciembre a agosto. Su explosivo crecimiento en primavera permite un primer pastoreo temprano en diciembre y un rebrote, de menor disponibilidad, que es consumido entre enero y febrero. En siembras de verano, el consumo en pastoreo se hace a partir del mes de mayo y se puede extender hasta agosto. El rebrote está supeditado a la severidad del uso y a las condiciones climáticas del invierno.

El sistema de pastoreo se hace a través de franjas largas y angostas que permiten controlar el consumo diario. Los niveles de consumo no superan los 5 kilos de materia seca por animal adulto, cantidad que habitualmente es consumida en tres horas.

Está comprobado el alto grado de aceptación de esta especie por los animales. Mediciones de preferencia han demostrado que el raps forrajero es preferido por el ganado sobre otras alternativas. Su buen valor nutritivo y alto rendimiento permiten reducir el consumo de alimentos concentrados, mejorar el nivel de producción de leche y reducir los costes de alimentación del ganado (García *et al.*, 2008).

Producción: La época de siembra, la nutrición de plantas, las condiciones climáticas, el momento y el número de utilizaciones, determinan la producción anual del raps forrajero. En siembras tempranas de primavera, con

una sola utilización, es factible alcanzar una producción de entre 14 y 16 ton MS/ha (Figura 5.47). Cuando se realizan dos utilizaciones, el rendimiento se puede mantener o reducir, dependiendo de las condiciones del cultivo post utilización.

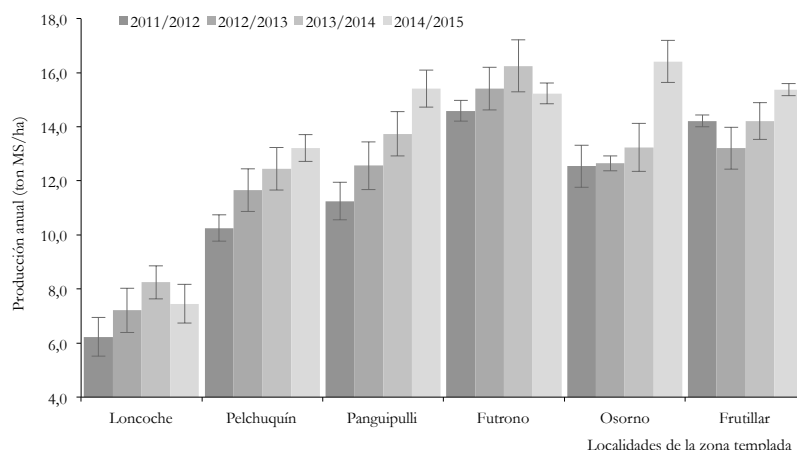


Figura 5.47. Producción de *Brassica napus* subsp. *biennis* L. sembrado en primavera en seis localidades de la zona templada. Periodo 2011-2015. Coeficiente variación: 9,25%

En siembras de verano la producción es menor y suele ubicarse entre 6 y 12 ton MS/ha (Figura 5.48). El consumo en invierno se encuentra limitado por las condiciones del terreno y el rebrote; habitualmente no logra una producción que permita un consumo importante.

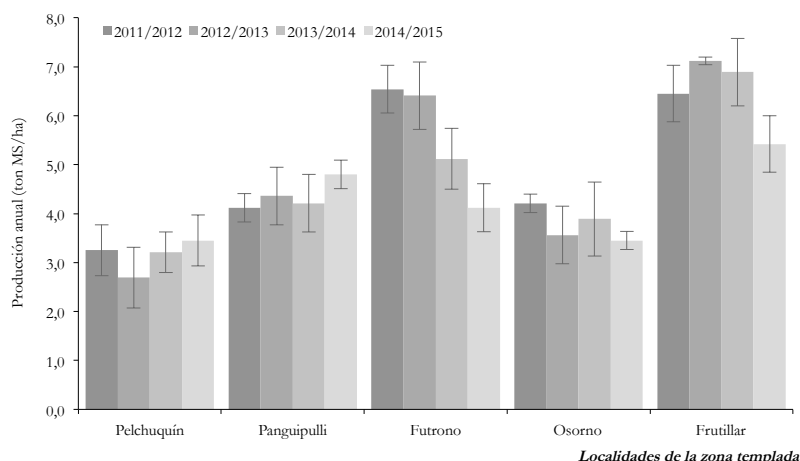


Figura 5.48. Producción de *Brassica napus* subsp. *biennis* L. sembrado en verano en cinco localidades de la zona templada. Periodo 2011-2015. Coeficiente de variación: 8,98%

Calidad nutricional: Entre las especies de brassicas que se utilizan en alimentación de rumiantes, *Brassica napus* subsp. *biennis* L. es la que presenta el mayor contenido de proteína, aunque tiene bajo contenido de carbohidratos solubles y fibra. En mediciones realizadas en la zona templada los valores referidos a materia seca fluctuaron entre 8 y 14% de proteína cruda, entre 12 y 19% de FDN y entre 2,8 y 3,2 Mcal/kg MS de energía metabolizable.

Restricción de consumo: Durante el periodo de consumo en pastoreo, el exceso de ingesta puede provocar problemas gastrointestinales, fotosensibilidad, meteorismo y hemoglobinuria. Parte de estos problemas, son generados por la presencia de glucosinolatos, además de otros compuestos azufrados que producen efectos perjudiciales en la salud de los animales y en el nivel productivo de éstos.

Los niveles excesivos de S-metil cisteína sulfóxido en la planta se producen cuando en el suelo existe bajo nivel de fósforo y alta disponibilidad de nitrógeno y azufre. También se incrementan estos compuestos cuando la planta se encuentra en floración. Para reducir los problemas producidos por los compuestos anti nutricionales que tiene esta especie se sugiere regular las aplicaciones de nitrógeno y azufre además de suplementar al ganado, de forma permanente, con proteína y fibra (Barry, 2013). Además, no es adecuado que los animales consuman las plantas en el periodo de floración.

Hay evidencias de que la inclusión en la dieta de los animales no debería superar el 70%. Sin embargo, con niveles superiores al 30% hay un riesgo mayor de que se produzcan problemas metabólicos como es el bocio y la anemia (Genever, 2015). Esto determina que los animales que consumen esta especie deben ser alimentados con dietas ricas en fibra efectiva y con niveles no superiores al 30% en base a materia seca.

Emisiones de N_2O : En el mundo existen evidencias de la influencia que tienen las deposiciones de orina en los sistemas pastoriles sobre la pérdida de nitrógeno inorgánico en el agua y aire, en particular, las emisiones de óxido nitroso (N_2O), que es un gas con efecto invernadero (Mackay, 2008). Las pérdidas de nitrógeno a través de la lixiviación, volatilización de amoníaco y producción de óxido nitroso (N_2O) son características de los sistemas de pastoreo y se derivan principalmente de las excretas depositadas por los animales (Saggar *et al.*, 2008). A nivel mundial, aproximadamente el 40% de las emisiones agrícolas de N_2O se atribuyen a las producidas a partir de la orina y el estiércol depositados en los pastizales por animales de pastoreo (Oenema *et al.*, 2005).

En un estudio se puso de manifiesto que el factor de emisión de N_2O para la orina de ovejas alimentadas con raps forrajero era menor que el de la orina de las ovejas alimentadas con pasturas de gramíneas más trébol blanco (Luo *et al.*, 2015). La razón de esta diferencia se relacionaba con la presencia de glucosinolatos en la orina de las ovejas alimentadas con brassicas que podrían tener un impacto en las comunidades microbianas del suelo responsables de la nitrificación y la desnitrificación. Esto sugiere que no solo el raps forrajero, sino que todas las brassicas en general, podrían ser una alternativa de mitigación de las emisiones de N_2O (Snyder *et al.*, 2010). De forma similar se ha demostrado que los animales alimentados con brassicas tienen menores emisiones de metano por unidad de materia seca (Sun *et al.*, 2012).

***Brassica oleracea* subsp. *acephala* L. (col forrajera)**

Origen: Las especies de la familia Brassicaceae constituyen uno de los grupos de plantas económicamente más importantes del mundo. Hay plantas tóxicas, hortalizas de hoja y raíz, semillas oleaginosas, cultivos de condimentos y especies de uso forrajero. La familia Brassicaceae contiene más de 338 géneros y 3.709 especies (Al-Shehbaz *et al.*, 2006; Warwick *et al.*, 2006). Esta especie tiene su origen en la cuenca mediterránea y en sudeste asiático. Se cree que el centro geográfico se encuentra en la región del sudoeste del mediterráneo (Argelia, Marruecos y España), donde se ha demostrado que unos 40 géneros de la familia Brassicaceae son endémicos y tienen la máxima diversidad (Al-Shehbaz *et al.*, 2006; Warwick & Hall, 2009).

En Chile se cree que ingresó a finales del siglo XIX o inicios del XX por los colonos alemanes ubicados en la zona templada, quienes la cultivaron para forraje verde para alimentar a sus animales en otoño e invierno utilizándolas como soiling o en pastoreo (Águila, 1997).

Descripción botánica: Es una especie perteneciente a la familia Brassicaceae, género *Brassica*, especie *Brassica oleracea* subsp. *acephala* L. Su nombre común es col forrajera y en inglés *kale*. Es una planta bienal, suculenta, glabra, con raíz axonomorfa. Forma una roseta con hojas grandes, glaucas y nervios prominentes. Las hojas basales son pecioladas, liradas, con uno o dos segmentos laterales (Figura 5.49). Las plantas, de mediana altura, presentan un crecimiento erecto, donde el follaje es sostenido por un tallo suculento de alta palatabilidad. Sus flores son de color amarillo, agrupadas en racimos y presentan sépalos erectos. Las flores abiertas sobrepasan a los botones florales del extremo del racimo. El fruto corresponde a una silicua (White *et al.*, 1999; Charlton & Stewart, 2006; De Ruiter *et al.*, 2009).

Rotación de cultivos: Las coles, al igual que todas las especies forrajeras del género *Brassica*, son una opción para el inicio de un programa de mejoramiento de pasturas, ya que se pueden sembrar como cabecera de rotación. El cultivo de coles se puede repetir en el mismo potrero por dos temporadas, ya que los cultivares que se comercializan en Chile, son tolerantes a enfermedades tales como la hernia de las coles y la pudrición seca.



Figura 5.49. *Brassica oleracea* subsp. *acephala* L. (col forrajera)

Periodo de siembra: La siembra se extiende desde el mes de septiembre hasta mediados de noviembre. En áreas de secano, con baja disponibilidad hídrica en verano, el establecimiento se limita al mes de septiembre. En sectores de riego o con humedad de verano, la siembra se hace entre el mes de octubre y la segunda semana de noviembre. Independientemente de la fecha de siembra, para lograr una adecuada emergencia y desarrollo inicial de las plantas la temperatura del suelo debe estar por encima de los 10°C. Temperaturas inferiores retrasan la emergencia y producen una fuerte competencia con las especies residentes, que son habitualmente de difícil control posterior.

Sistema de siembra: Las coles se pueden establecer en sistemas de labranza convencional con preparación completa del suelo o en cero labranza. No se utilizan los sistemas de mínima labor o cero labranza en suelos compactados, debido a que se reduce la capacidad de las raíces de explorar el suelo y, con ello, la capacidad productiva.

Los antiguos cultivares de coles forrajeras eran de gran altura (> 1,5 m), con predominio de tallos gruesos y fibrosos. Estos cultivares se sembraban con máquinas cerealeras convencionales, a surco por medio (35 cm distancia entre hilera), para posteriormente ser cosechados para soiling con máquinas con cabezal maicero. Los actuales cultivares se siembran con las mismas máquinas, a surco seguido e incluso a distancia entre hilera de 15 cm debido a que las plantas serán pastoreadas y en la arquitectura de éstas dominarán las hojas por sobre los tallos.

Requerimientos: Al igual que todas las especies del género *Brassica*, las plantas son sensibles a la acidez del suelo. Para su corrección se aplican enmiendas calcáreas que incrementan el pH a un nivel cercano a seis y reducen el porcentaje de saturación de aluminio a un valor inferior al 1%. La enmienda se aplica con, al menos, 60 días de antelación a la siembra y en ella se utiliza una proporción de 1:1 entre carbonato de calcio y magnesio (dolomita) y sulfato de calcio (yeso). Además, por cada kilo de nitrógeno amoniacal aplicado al cultivo, se adicionan cuatro kilos de enmienda para neutralizarlo y evitar el incremento de la acidez en el suelo.

Además del nitrógeno, otros dos nutrientes son fundamentales para el desarrollo adecuado del cultivo en los suelos de origen volcánico: boro y fósforo. En mediciones hechas por Bernier y Meneses (1983) se demostró que la ausencia de fertilización con fósforo redujo en un 57% la producción de col forrajera. Por otra parte, la falta de boro provocó una disminución de un 77% en el rendimiento (Tabla 5.63). La corrección del fósforo se realiza con aplicaciones localizadas al surco de siembra y para el boro existen aplicaciones granuladas al surco de siembra o aspersiones de productos líquidos en plantas con sus hojas expandidas y cobertura total de suelo.

Tabla 5.63. Efecto de la no aplicación de nutrientes en la producción de col forrajera en un andisol de la zona de Osorno.

Nutrientes	Producción (ton MS/ha)	Reducción de rendimiento (%)
NPKSB	11,5	0
Sin N	10,4	10
Sin S	10,3	10
Sin K	9,1	21
Sin B	5,0	57
Sin P	2,7	77

Fuente: Bernier & Meneses, 1983.

Dosis de semilla: La dosis de semilla es de entre 3 y 4 kg/ha. Dosis menores se utilizan en siembras con camas de semilla bien acondicionadas (mullidas) y dosis mayores solo se consideran en los sistemas de cero labranza o bien cuando se retrasa la época de siembra o cuando las condiciones de preparación de suelo son defectuosas. Para tener una rápida cobertura del suelo se prefieren las siembras al voleo (en suelos con un nivel de fósforo superior a 25 mg/kg) o a distancia entre hileras de 12 ó 15 cm.

Cultivares: En el mundo los cultivares han evolucionado hacia la obtención de materiales con mejor digestibilidad de sus tallos y a obtener plantas con mayor relación hoja/tallo. En Chile los cultivares utilizados hace 60 años se caracterizaban por presentar una relación hoja/tallo inferior al 20%. Un ejemplo de este tipo de cultivar fue Cheumollier, que a nivel experimental logró un rendimiento de 27 ton MS/ha. Sin embargo, su relación hoja/tallo no superaba el 17% y en el momento de la cosecha alcanzaba una altura de 1,8 metros (Teuber, 1985). Con la selección en Europa y Nueva Zelanda de nuevas líneas basadas en la mejora de la digestibilidad de los tallos y de la relación hoja/tallo, se desarrollaron cultivares de menor altura y con una proporción de hojas superior al 60%. El primer cultivar creado con estas características fue Maris Kestrel y a partir de este se desarrollaron una serie de nuevos cultivares en el Plant Breeding Institute de Cambridge, Reino Unido (Gowers & Armstrong, 1994).

En la actualidad, los cultivares que se comercializan en Chile, son en su mayoría, de procedencia neozelandesa y se caracterizan por presentar una altura mediana y buena digestibilidad de la planta completa. Estos cultivares, desarrollados para sistemas pastoriles, son consumidos de forma completa por los animales en pastoreo (Tabla 5.64).

Tabla 5.64. Cultivares de *Brassica oleracea* subsp. *acephala* L. utilizados en la zona templada.

Cultivar	Proporción de hojas	Días siembra - utilización
Coleor	> 45%	130 - 160
Sovereign	> 40%	130 - 160
Regal	> 45%	150 - 220
Caledonian	> 50%	150 - 220
Elba	> 50%	180 - 220
Voltage	> 60%	180 - 220

Producción: La capacidad productiva de las coles forrajeras en la zona templada ha sido demostrada por diversos estudios. Mediciones hechas con antiguos cultivares de *Brassica oleracea* subsp. *acephala* L. demostraron que cultivares con baja proporción de hojas (< 20%) lograban rendimientos superiores a 20 ton MS/ha y en cultivares con proporciones entre el 25 y 35% la producción era inferior a 15 ton MS/ha (Teuber, 1985).

En las nuevas generaciones de cultivares, en cuya arquitectura dominan las hojas (>60%), la producción alcanza valores de entre 16 y 22 ton MS/ha (Figura 5.50) y está relacionada con la nutrición de plantas, la disponibilidad de agua y el momento de utilización.

Utilización: Las coles forrajeras son una fuente alternativa de forraje que se ofrece a los animales en pastoreo en el periodo de otoño e invierno. Tienen la capacidad de acumular una gran cantidad de materia seca (> 15 ton MS/ha) manteniendo una excelente calidad (3,2 a 3,4 Mcal/kg MS). En pastoreo o soiling son una opción para sistemas de producción ganaderos que registran baja disponibilidad de forraje en los meses entre abril y agosto y constituyen un excelente complemento a alimentos fibrosos. Los animales consumen el forraje en pastoreo, con uso de franjas que permiten controlar el consumo. Los niveles de consumo diario no superan los cinco kilos de materia seca por animal, cantidad que habitualmente es consumida en tres horas.

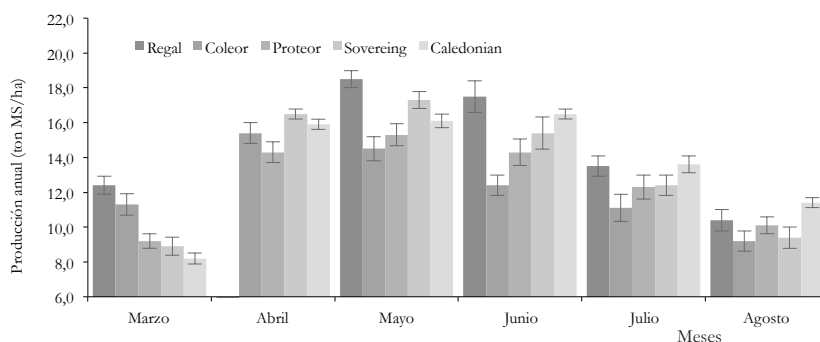


Figura 5.50. Efecto de la época de utilización en la producción de cinco cultivares de *Brassica oleracea* subsp. *acephala* L. sembrada en octubre en la zona templada. Promedio de tres temporadas. 2014 – 2016.

Calidad nutritiva: Las plantas presentan durante todo el periodo productivo alta palatabilidad. El aporte de las hojas al total de materia seca fluctúa entre el 60 y el 80%. En mediciones desarrolladas durante cinco años en predios que utilizan este recurso forrajero para suplementación invernal se demostró el bajo contenido de materia seca y fibra que poseen las plantas en el momento del pastoreo (Tabla 5.65).

Tabla 5.65. Composición nutricional de *Brassica oleracea* subsp. *acephala* L. utilizada en pastoreo en la zona templada. Periodo 2012 – 2016.

Parámetro	Contenido
Materia seca (%)	9,8 - 15,9
Proteína cruda (%)	10,1 - 16,7
Energía metabolizable (Mcal/kg)	2,82 - 3,34
Digestibilidad de la MS (%)	68,5 - 75,6
FDN (%)	19,4 - 22,1
FDA (%)	11,8 - 13,5
Carbohidratos solubles en agua (%)	16,2 - 18,5
Cenizas (%)	12,8 - 15,6

Restricción de consumo: El consumo prolongado y excesivo de *Brassica oleracea* subsp. *acephala* L. puede conducir al animal a presentar problemas metabólicos (bocio y anemia) que pueden producir la muerte. Las causas de este padecimiento se relacionan con el consumo exagerado del aminoácido sulfóxido de S-metil cisteína (SMCO) presente en las plantas. La concentración de SMCO aumenta en la planta cuando esta se desarrolla en suelos con bajo nivel de fósforo y al cultivo se adicionan altas dosis de nitrógeno y azufre. El nivel de SMCO en la planta no es uniforme y se ha demostrado que su concentración es mayor en hojas juveniles y en floración (Genever, 2015).

Beta vulgaris subsp. *vulgaris* L. (remolacha forrajera)

Origen: Las formas silvestres de *Beta vulgaris* L. se encuentran a lo largo de la costa mediterránea y se extienden hacia el este hasta Indonesia y hacia el oeste a lo largo de la costa atlántica, islas Canarias y sur de Noruega. *Beta vulgaris* L. se cultivó por sus hojas en el mediterráneo oriental y oriente medio y se menciona por primera vez en la literatura de Mesopotamia en el siglo IX A.C. (Lange *et al.*, 1999). Se utilizó como alimento para el ganado en Grecia 500 años AC. En Europa continental la remolacha azucarera (*Beta vulgaris* subsp. *maritima* L.) se obtuvo de la remolacha forrajera durante el siglo XIX, después de los bloqueos a la caña de azúcar realizados por los ingleses durante las guerras napoleónicas (Henry, 2010).

La utilización de la remolacha forrajera para alimentación de ganado data de más de 500 años en Europa, desde donde se expandió con la colonización a América y Oceanía (Henry, 2010). En Chile la remolacha forrajera tuvo su máxima expansión a finales del siglo XX, periodo en el que fue utilizada como suplemento de invierno en algunos predios lecheros de la zona templada.

El interés por esta especie en la zona templada se basó en la necesidad de obtener una producción superior a la

obtenida con los cultivos de invierno como avena, ballicas de rotación y la asociación de ambas. Además, en esta zona existía un gran conocimiento del cultivo destinado a la producción de azúcar y de la maquinaria adecuada para la siembra. Las experiencias de campo demostraron que esta especie podía alcanzar rendimientos superiores a 25 ton MS/ha. Sin embargo, su utilización principal fue a través de soiling, donde las plantas se extraían de forma manual y se entregaban a los animales en patios de alimentación y comederos en potreros, donde las raíces eran partidas para facilitar su consumo. La creencia de que algunas toxinas y la alta concentración de ácido oxálico en la corona y raíz de la planta podían producir daño a la salud de las vacas determinaba en dicha época que la oferta diaria no superara los 5 kg MS/vaca. Estas ideas limitaron el uso masivo del cultivo debido a que esta complejidad en la alimentación podía causar la muerte de los animales.

En las últimas dos décadas ha existido un revitalizado interés por el uso de este recurso forrajero en invierno, después de que se descubriera en Nueva Zelanda que el manejo de pastoreo en transición era la causa de los problemas de acidosis, con muerte de los animales, y no la toxicidad de las plantas. Utilizando un método simple de pastoreo de transición fue posible incluir con éxito este recurso sin grandes restricciones en la alimentación de invierno (Gibbs, 2011; Gibbs & Saldias, 2014).

Descripción botánica: Pertenecen a la familia Amaranthaceae, subfamilia Betoideae, género *Beta*, especie *Beta vulgaris* L. Su nombre común es remolacha forrajera, en inglés *fodder beet* y se trata de una planta monoica, bienal, con hojas basales grandes, flores agrupadas en glomérulos y raíz engrosada y carnosa que sobresale del suelo. El tamaño, la forma y el color de la raíz son variables y dependen del cultivar. Las raíces de los cultivares de forraje tienden a estar menos enterradas (unas dos terceras partes) que la de los cultivares utilizados para la extracción de azúcar (Figura 5.51). Las hojas, de color verde oscuro y en forma de corazón, nacen en una roseta que se extiende horizontalmente. Una vez transcurridas las horas de frío necesarias, las plantas emiten el tallo floral, con flores de color verde, bi sexuales y sin pétalos (Henry, 2010).



Figura 5.51. *Beta vulgaris* subsp. *vulgaris* L. (remolacha forrajera)

Requerimientos: Esta especie es susceptible a la acidez del suelo y para su adecuado desarrollo requiere un pH superior a 6,5. Las plantas establecidas en suelos ácidos presentan un característico color amarillo en sus hojas. Para corregir la acidez del suelo se debe considerar la aplicación de enmiendas calcáreas, de acuerdo con la disponibilidad de boro en el suelo. La deficiencia de boro genera en las plantas el “corazón negro”, caracterizado por la presencia de manchas negras, con tejido necrótico, en el interior y exterior de la raíz.

La planta es tolerante al estrés hídrico y puede crecer a temperaturas entre 8 y 25°C. Las heladas por debajo de -3°C dañan y causan la muerte de plántulas (Henry, 2010).

Rotación de cultivo: En la selección del potrero de siembra hay que tener en cuenta aspectos físicos, químicos y de contaminación por pesticidas. Esta especie es una de las más sensibles a algunos herbicidas residuales que permanecen más de seis meses en el suelo. Entre los productos residuales que más daño causan al cultivo de la remolacha se encuentran el picloran (Tordon), el oxifluorfen (Tango o Goal) y la atrazina. Los síntomas de toxicidad en esta especie son evidentes. Las plantas tendrán un retraso importante en la emergencia y una vez emergidas, presentan opacidad, coloración roja a marrón y aspecto arrugado.

Para evitar problemas de toxicidad, presencia de enfermedades (*Rhizoctonia*) y plagas específicas de la remolacha, es adecuado mantener una rotación de cultivo cada tres años, procurando colocar cultivos previos que requieran baja carga de herbicidas.

Periodo de siembra: Se extiende desde el mes de septiembre a noviembre. Una buena germinación y adecuada emergencia de las plantas se logra en suelos mullidos, con humedad y temperatura similar o superior a 8°C.

Siembra: La siembra se hace en sistema convencional con paso de arado subsolador. En la siembra se utiliza máquina de presión con discos para remolacha. La distancia entre las hileras es de 50 cm, sobre las hileras de 20 cm y la profundidad de siembra es 0,5 cm. El fertilizante se ubica a 2 cm al lado de la semilla y a 5 cm de profundidad. La velocidad normal de siembra es entre 4 y 5 km/hora.

Semillas: Las semillas que se comercializan en Chile, son del tipo monogérmica (una semilla) pulidas y peletizadas con el objetivo de tener una buena germinación y una emergencia homogénea. Existen dos tipos de semillas monogérmicas aquellas que se logran a través de la separación mecánica de los glomérulos (semilla monogérmica técnica) y las obtenidas por selección genética (semilla monogérmica genética). En ambos tipos, la germinación suele ser inferior a la lograda por otras especies y con un tiempo de siembra a emergencia mayor. Esta es una de las razones por las que es necesario un riguroso control de malezas en el periodo inicial de crecimiento de las plantas.

Dosis de semilla: La siembra se hace a distancia definitiva con una dosis de 100.000 semillas por hectárea (una unidad). La semilla peletizada se ubica a distancia definitiva sobre la hilera: 5 semillas/metro lineal. La emergencia de las plántulas es habitualmente muy heterogénea, en especial aquellas que provienen de semillas monogérmicas técnicas (Tabla 5.66).

Tabla 5.66. Número de semillas por kilo, porcentaje de germinación, kilos de semilla por hectárea, plantas por metro cuadrado y porcentaje de emergencia de cinco cultivares de *Beta vulgaris* subsp. *vulgaris* L. sembrados en la Estación Experimental Maquehue. Universidad de La Frontera. Temuco. Temporada 2018/2019.

Cultivares	Nº semilla/kilo	Germinación (%)	kg semilla/ha	Planta/m ²	Emergencia (%)
Cerice	32.680	95	3,06	9,3	93
Fortimo	38.071	95	2,63	9,3	93
Gerónimo	38.710	99	2,58	9,4	94
Gitty	35.971	93	2,78	9,1	91
Lipari	36.855	94	2,71	8,9	89
Promedio	36.457	95	2,75	9,2	92

Cultivares: En el mercado hay tres tipos de remolacha forrajera: *fooder beet*, *mangel beet* o *mangold beet* y *sugar beet*. Las principales diferencias se encuentran en la zona de crecimiento de la raíz, contenido de materia seca y facilidad de consumo.

Las de tipo *fooder beet* tienen sus raíces en un 50% sobre el suelo. Este tipo presenta una raíz muy consistente y apta para el consumo en pastoreo del animal adulto, con dentadura formada y firme. El contenido de materia seca fluctúa entre un 14 y 16%. La mayoría de los cultivares comercializados en Chile corresponden a este tipo (Tabla 5.67).

Las remolachas de tipo *mangel beet* son plantas cuyas raíces tienen un crecimiento entre un 60 a un 70% sobre el suelo. Sus raíces son blandas, muy palatable y aptas para el consumo en pastoreo de animales en crecimiento, esto es, terneros, vaquillas y novillos. Tienen un contenido de materia seca entre un 10 y un 13%. El único cultivar de este tipo que hay en el mercado es Brigadier, que tiene semillas monogérmicas técnicas, lo que acentúa la heterogeneidad de la emergencia de sus plántulas (Gibbs, 2014).

Tabla 5.67. Cultivares de *Beta vulgaris* subsp. *vulgaris* L. ordenados según el tipo de semilla, color de la raíz y tipo de planta.

Cultivar	Tipo de semilla	Color de la raíz	Tipo de planta
Brigadier	Monogérmica*	Anaranjada	Mangel beet
Cerice	Monogérmica**	Amarilla	Fooder beet
Feldherr	Monogérmica**	Anaranjada	Fooder beet
Gerónimo	Monogérmica**	Anaranjada	Fooder beet
Kyros	Monogérmica**	Anaranjada	Fooder beet
Rivage	Monogérmica**	Anaranjada	Fooder beet
Fortimo	Monogérmica**	Roja	Fooder beet
Lipari	Monogérmica**	Roja	Fooder beet
Monro	Monogérmica**	Roja	Fooder beet
Gitty	Monogérmica**	Roja/Blanca	Fooder beet

(*) Semilla monogérmica técnico

(**) Semilla monogérmica genética

Los cultivares de tipo *sugar beet* están seleccionados para arranque y no pastoreo. Tienen una emergencia homogénea y sus raíces se ubican, en su mayor parte, bajo el suelo y el contenido de materia seca de las plantas es superior al 20%.

Utilización: Los programas de pastoreo usan el cerco eléctrico dispuesto en franjas largas y estrechas, de movimiento diario, que permiten reducir las pérdidas de forraje por pisoteo y bosteo sobre las plantas (Figura 5.52). Como complemento a la ración se mantiene un aporte de fibra *ad libitum* permanente como heno o pajas de cereales.



Figura 5.52. Los animales durante el consumo ensucian hojas y raíces, sin embargo, al final del día consumen gran parte de la oferta forrajera entregada en la franja.

En la etapa inicial de consumo hay un periodo de adaptación de los animales a la remolacha que tiene por objetivo evitar la acidosis y otras enfermedades, como son la disfunción hepática, la inflamación crónica y la cetosis diferida. En esta etapa se produce un ajuste de los microorganismos del rumen y una adecuación del animal al impacto que significa el cambio en la alimentación. La oferta de remolacha se incrementa de forma paulatina (2 kg MS/animal/día) durante unos 16 a 20 días de forma que al final de este tiempo los animales adultos consumen ya un total de 8 kg MS/día. El aumento de la oferta diaria se hace observando el estado sanitario y el nivel de aceptación de los animales.

Eficiencia de uso: Este parámetro está en relación directa con la dureza de las raíces y el tipo de suelo. Existen cultivares muy productivos, pero en los que la raíz es dura y de baja aceptabilidad por el ganado, lo que limita el consumo a las hojas y sólo parte de las raíces, alcanzado así una eficiencia de tan solo el 50%. Los cultivares de mayor palatabilidad son, en general, menos productivos, pero con ellos se logran eficiencias de uso superiores al 80%.

En relación con el suelo, este factor es determinante en la eficiencia ya que los animales consumen de forma acelerada la totalidad de las hojas, dejando parte o la totalidad de las raíces en el suelo y estas serán consumidas paulatinamente en los siguientes dos o tres días. En suelos blandos y húmedos parte de las raíces son enterradas por el pisoteo y no son consumidas por el ganado, produciendo una eficiencia de uso inferior al 50%.

Otra forma de utilización de la remolacha forrajera es el soiling, que supone la extracción manual o mecanizada de la planta completa y su entrega en áreas de suplementación (galpones y potreros de sacrificio). La extracción mecanizada se hace con una pala adaptada para esta labor que puede sacar fácilmente las plantas completas.

Producción: Esta demostrado que esta especie tiene un alto potencial de producción (> 30 ton MS/ha), reduciendo en los predios las áreas de suplementación para el ganado (Gibbs *et al*, 2015).

En la zona templada el uso de la remolacha forrajera tiene un largo historial lo que se refleja en las mediciones hechas en la década del 90 del siglo pasado con el cultivar Peramono de la compañía KWS, que alcanzó una alta producción bajo soiling (Figura 5.53).

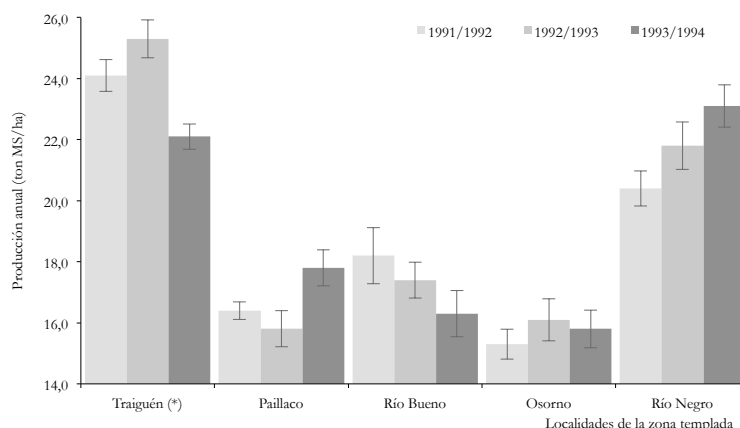


Figura 5.53. Rendimiento de *Beta vulgaris* subsp. *vulgaris* L. cv. Peramono en cinco localidades de la zona templada. Periodo 1991 – 1994.

(*): Condiciones de riego

Mediciones recientes realizadas en las localidades de Temuco y Futrono demostraron que los nuevos cultivares tienen un mayor nivel productivo y sus plantas tienen una forma mas adaptada al pastoreo. La nueva generación de cultivares alcanza el máximo rendimiento entre los meses de junio y julio y la relación hoja/raíz se reduce de forma drástica a partir de los 200 días de la emergencia de las plantas (Tabla 5.68 y 5.69).

Tabla 5.68. Parámetros de rendimiento y calidad de *Beta vulgaris* subsp. *vulgaris* L. promedio de seis cultivares. Estación Experimental Maquehue. Universidad de La Frontera. Temuco. Temporada 2017/2018

Parámetro	Mayo	Junio	Julio	Agosto
Días siembra a cosecha	195	224	257	280
MS planta completa (%)	13,3	13,7	14,2	17,1
MS hojas (%)	7,9	8,6	8,8	10,1
MS raíz (%)	14,5	15,7	16,1	18,4
Rendimiento (ton MS/ha)	29,1	31,1	30,8	26,7
Relación hoja/raíz	39/61	22/78	12/88	17/83
Proteína (%)	13,7	13,7	14,7	13,9
FDA (%)	15,6	16,4	16,9	17,2
FDN (%)	24,4	30,2	32,3	33,2
Energía metabolizable (Mcal/kg)	3,08	2,97	2,92	2,89

Tabla 5.69. Parámetros de rendimiento y calidad de *Beta vulgaris* subsp. *vulgaris* L. promedio de seis cultivares. Futrono. Temporada 2017/2018.

Parámetro	Abril	Mayo	Junio	Julio
Días siembra a cosecha	162	204	232	265
MS planta completa (%)	14,5	14,0	12,3	13,4
MS hojas (%)	6,9	9,0	8,0	7,9
MS raíz (%)	18,4	15,5	14,9	13,4
Rendimiento (ton MS/ha)	26,0	27,0	27,9	28,3
Relación hoja/raíz	34/66	24/76	23/77	22/78
Proteína (%)	13,2	14,1	14,6	14,4
FDA (%)	12,8	15,3	15,3	15,2
FDN (%)	20,4	26,7	29,3	33,2
Energía metabolizable (Mcal/kg)	3,22	3,01	3,07	3,05

Calidad nutricional: El contenido de nutrientes y su disponibilidad evoluciona de acuerdo al avance en el estado de madurez de las plantas (Figura 5.54). En estados fenológicos avanzados se produce un incremento en los contenidos de materia seca, fibra y energía y una reducción drástica del porcentaje de proteína cruda. La intensidad del cambio está relacionada con las condiciones ambientales (clima, nutrición) y las características de cada cultivar.

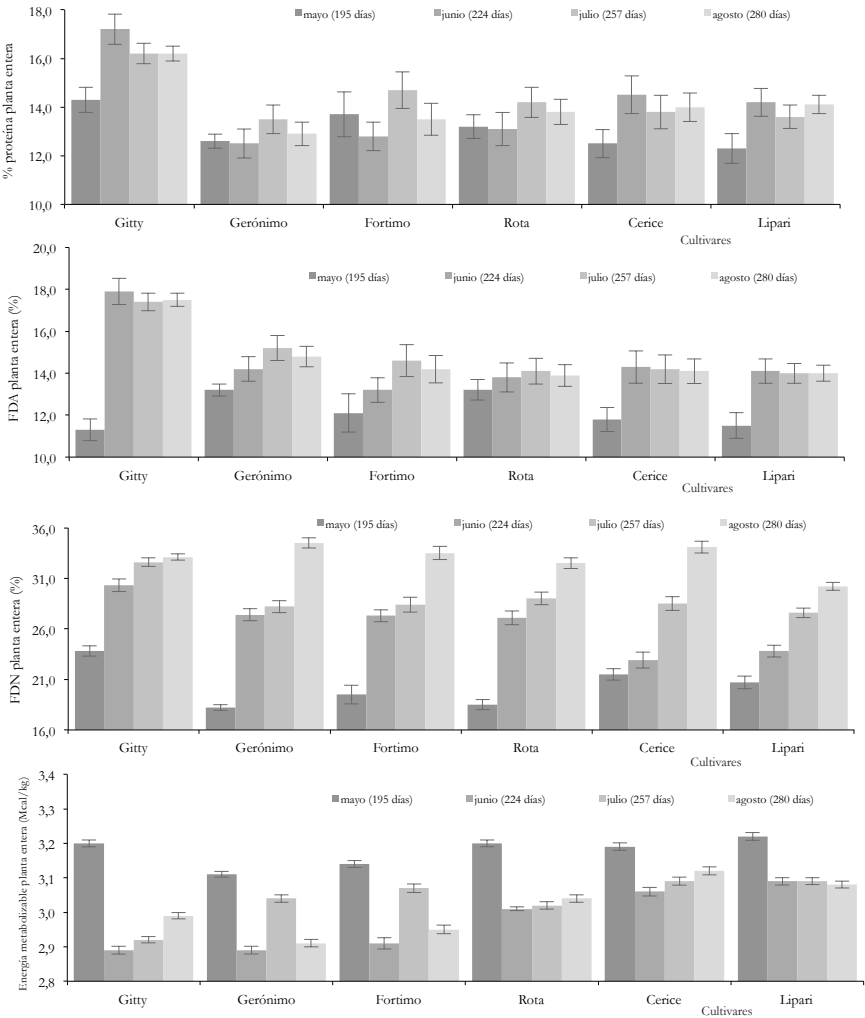


Figura 5.54. Calidad nutricional de seis cultivares de *Beta vulgaris* subsp. *vulgaris* L. Estación Experimental Maquehue. Universidad de La Frontera. Temuco. Temporada 2017/2018.

Los componentes del rendimiento de la planta (hojas y raíces) presentan un diferente contenido de nutrientes durante todo el crecimiento y desarrollo de esta. Las hojas hacen un aporte mayor de proteínas que las raíces y estas una mayor contribución de energía (Figura 5.55). Estas diferencias determinan que la relación hoja/raíz defina la proporción de energía y proteína que presentan las plantas en el momento del consumo animal.

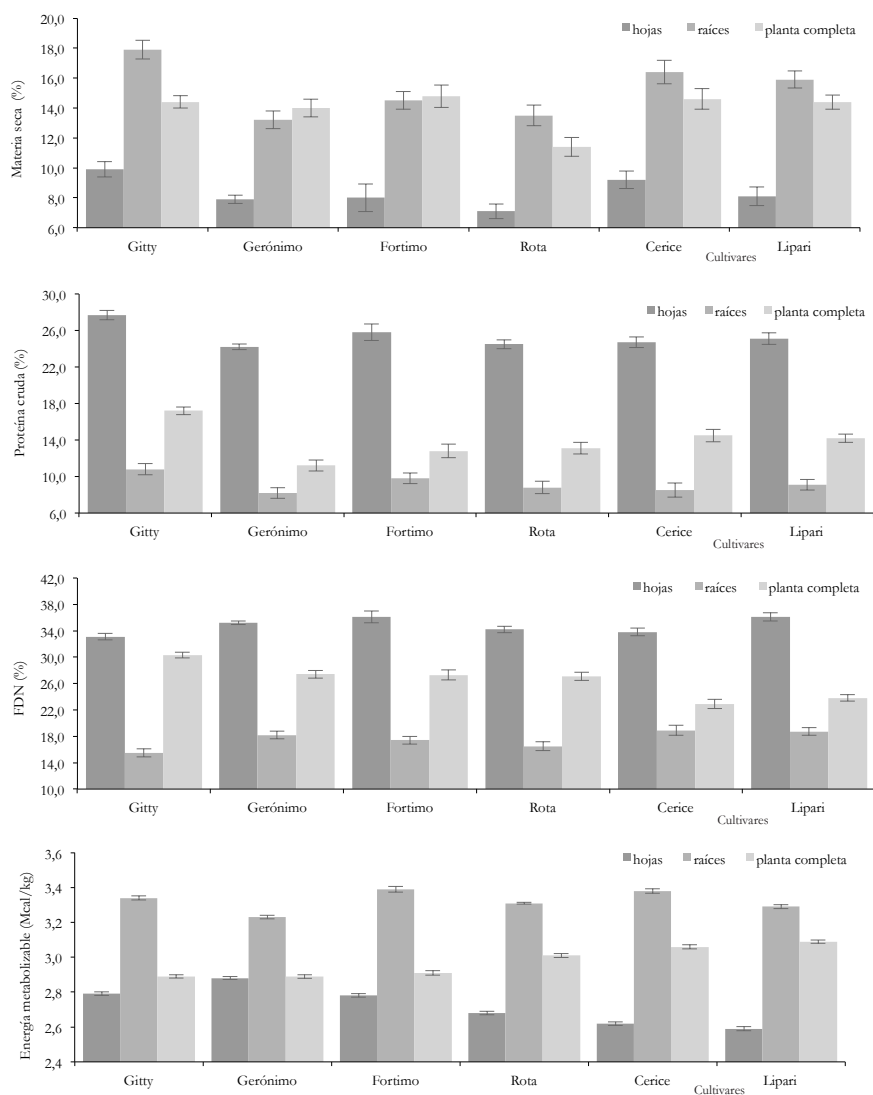


Figura 5.55. Calidad nutricional de hojas, raíces y planta completa de seis cultivares de *Beta vulgaris* subsp. *vulgaris* L. Estación Experimental Maquehue. Universidad de La Frontera. Temuco. Temporada 2017/2018.

Entre los suplementos voluminosos de invierno, *Beta vulgaris* subsp. *vulgaris* L. es la especie que presenta la mayor expectativa de rendimiento entre los meses de abril y agosto. Además, esta planta es la que proporciona el mayor aporte de energía por unidad de materia seca producida (Tabla 5.70).

Tabla 5.70. Producción y aporte nutricional de forrajes suplementarios suculentos.

Especie	Producción (ton MS/ha)	EM (Mcal/kg MS)	Proteína (%)
<i>Beta vulgaris</i> subsp. <i>vulgaris</i> L. (remolacha forrajera)	30 - 40	2,8 - 2,9	12 - 16
<i>Brassica rapa</i> subsp. <i>rapa</i> L. (nabos forrajeros)	12 - 16	2,2 - 2,6	16 - 18
<i>Brassica napus</i> subsp. <i>napobrassica</i> L. (rutabaga)	10 - 18	2,3 - 2,6	15 - 18
<i>Brassica napus</i> subsp. <i>biennis</i> L. (raps forrajero)	08 - 12	2,4 - 2,6	18 - 20
<i>Brassica oleracea</i> subsp. <i>acephala</i> L. (col forrajera)	12 - 20	2,3 - 2,6	15 - 18

Cichorium intybus L. (achicoria)

Origen: Es una especie cosmopolita originaria del Mediterráneo, que se encuentra naturalizada en Asia, Oceanía, África y América. En el pasado sus raíces tuvieron un papel importante como sustituto del café y adquirió relevancia cuando, en el siglo XIX, Napoleón inició su bloqueo continental y Francia se quedó sin café, el cual fue sustituido en parte por raíces tostadas y molidas de achicoria.

El ingreso en Chile fue a través de la colonización europea y el consumo animal siempre estuvo limitado a su participación como componente de la pradera naturalizada. En la actualidad, el principal uso de la achicoria en Chile es industrial. De esta planta se extrae la inulina, que es un polisacárido compuesto de cadenas moleculares de fructosa con la que se elabora una fibra prebiótica. Esta, al ser consumida por el ser humano induce cambios en la composición de la microflora intestinal, permitiendo una mejor regulación de la función del intestino y una mayor sensación de bienestar.

En los sistemas ganaderos de la zona templada se ha incorporado en rotación en áreas de baja disponibilidad de forraje verde en verano. Además, se incluye en mezclas con gramíneas y leguminosas con el objetivo de promover la movilidad de nutrientes y la retención de aquellos de fácil lixiviación como el nitrógeno.

Descripción botánica: Pertenece a la familia Asteraceae, subfamilia Cichorioideae, tribu Cichorieae, subtribu Cichoriinae, género *Cichorium*. Es una planta perenne que posee tallos erectos, ramosos y glabros. Tiene una raíz profundizadora con amplia capacidad de exploración del suelo. Las hojas basales se desarrollan en roseta, laxamente hispadas y las hojas superiores son lanceoladas y abrazadoras en la base (Figura 5.56). Los tallos florales nacen de la base de la roseta y poseen capítulos sésiles, con flores liguladas, pentadentadas en el ápice y de color azul o rosada. La floración se extiende desde el mes de diciembre al mes de marzo (Matthei *et al.*, 1995). Las flores tienen una polinización entomófila (por insectos) y las semillas maduran en tres semanas. Las semillas son fácilmente desalojadas por el viento y las aves (Rumball, 1986). El peso de las mil semillas es 1,5 g.



Figura 5.56. *Cichorium intybus* L. (achicoria)

Se trata de una especie perenne de corta vida y su longevidad es de tres a cinco años. Se caracteriza por presentar una raíz primaria pivotante que penetra el suelo en profundidad, desde donde capta minerales y agua, atributo que le permite ser más tolerante a la sequía que otras especies gramíneas y leguminosas forrajeras. La planta tiene una roseta baja con hojas postradas durante el invierno, similares a otras especies de hoja ancha como es el diente de león (*Taraxacum officinale* Weber). Las plantas son tolerantes a condiciones adversas como es el estrés hídrico y el bajo nivel de nutrientes en el suelo (Kemp *et al.*, 2002).

Un elemento diferenciador de esta especie respecto al resto de las forrajeras es la presencia de compuestos bioactivos tales como taninos y lactonas sesquiterpénicas que, aparentemente, pueden reducir la carga de parásitos gastrointestinales como nemátodos y helmintos (Foster *et al.*, 2006).

Cultivares: El primer cultivar de achicoria forrajera creado en Nueva Zelanda fue el Grasslands Puna, que se comercializó a partir de 1985 (Rumball, 1986). La principal característica de este cultivar es su activo crecimiento de verano, rápida respuesta a las temperaturas de primavera y latencia invernal (Lancashire & Brock, 1983). Los actuales cultivares son en su mayoría de hábito de crecimiento erecto (Tabla 5.71) y presentan una adecuada compatibilidad con las especies gramíneas y leguminosas forrajeras

Tabla 5.71. Hábito de crecimiento de algunos cultivares de *Cichorium intybus* L.

Cultivar	Hábito de crecimiento
Choice	Erecto
Chico	Erecto
501 Chicory	Erecto
Hunter	Erecto

Periodo de siembra: Se establece entre los meses de febrero y marzo en la siembra de verano/otoño y entre los meses de agosto y septiembre en la de invierno/primavera. En el momento de la siembra se prefiere una temperatura de suelo superior a 12°C para obtener una adecuada germinación y emergencia de las plantas. La siembra de verano/otoño se hace en asociación con otras especies forrajeras y en la de primavera se establece sola con el objetivo de producir una abundante disponibilidad de forraje verde en verano.

Dosis de semilla: En siembras solas la dosis de semilla es de 6 a 8 kg/ha, dependiendo de la calidad de la preparación de suelo y de la fecha de siembra. En mezcla con otras especies la dosis se reduce a 3 kg de semillas/ha.

Asociación: La inclusión de *Cichorium intybus* L. en una mezcla de especies forrajeras tiene por objetivo generar un efecto sinérgico en la producción de forraje total y estival. Además, incrementa la diversidad (Figura 5.57) y permite la absorción y retención de nutrientes en el suelo (Barry, 1998; Belesky *et al.*, 2001). Su contribución a las pasturas permite mejorar la nutrición animal ya que constituye una buena fuente de minerales, en especial, Zn, Cu, Mg, P, Ca y K (Jung *et al.*, 1996; Crush & Evans, 1990; Belesky *et al.*, 1999).



Figura 5.57. Asociación de *Cichorium intybus* L. + *Lolium* spp. + *Trifolium pratense* L.

Junto con mejorar la calidad del forraje ofrecido al ganado, la inclusión de achicoria en mezcla con especies forrajeras permite incrementar la producción de los componentes individuales, efecto sinérgico que fue medido por Troncoso (2004) en la localidad de Temuco (Tabla 5.72).

Tabla 5.72. Producción de *Cichorium intybus* L. asociada con *Lolium perenne* × *L. multiflorum* L. y *Trifolium pratense* L. Estación Experimental Las Encinas. Universidad de La Frontera. Promedio de temporadas. 2002 – 2004.

Tipo de pastura	Producción (ton MS/ha)	Composición botánica (%)			
		Achicoria	Ballica rotación	Trébol rosado	Especies residentes
Achicoria + ballica rotación + trébol rosado	11,99 a	20,1	40,5	34,6	4,8
Achicoria + ballica rotación	10,45 a	38,9	51,4		9,7
Achicoria + trébol rosado	10,23 a	24,9		64,7	10,4
Achicoria	6,53 c	68,8			31,2
Ballica rotación	8,46 b	75,6			24,4
Trébol rosado	9,09 ab	85,4			14,6

Medias que no comparten una letra en común en sentido vertical son diferentes según Prueba de Tukey ($p > 0,05$)

Fuente: adaptado de Troncoso, 2004

Utilización: El principal uso de esta especie es el consumo de forraje verde a través del pastoreo. Para obtener una pastura longeva, la primera utilización post siembra se hace cuando las plantas tienen como mínimo siete hojas expandidas. De la segunda utilización en adelante las plantas son consumidas cuando alcanzan una altura mínima de 25 cm, hasta que los animales dejan un residuo de 4 cm. En cada temporada es necesario dejar florecer una vez en el otoño las plantas con el objetivo de permitir la acumulación de carbohidratos a nivel radical, que serán utilizados en el desarrollo de primavera/verano.

Rendimiento: En pasturas monofíticas alcanza una producción de entre 14 y 16 ton MS/ha con aplicaciones de, al menos 250 kg N/ha. En sistemas con limitaciones de fertilización nitrogenada la producción se reduce a niveles de entre 6 y 12 ton MS/ha.

La distribución estacional de la pastura se caracteriza por presentar parte de la producción en verano, periodo en el que la planta permanece verde, turgente y palatable (Figura 5.58).

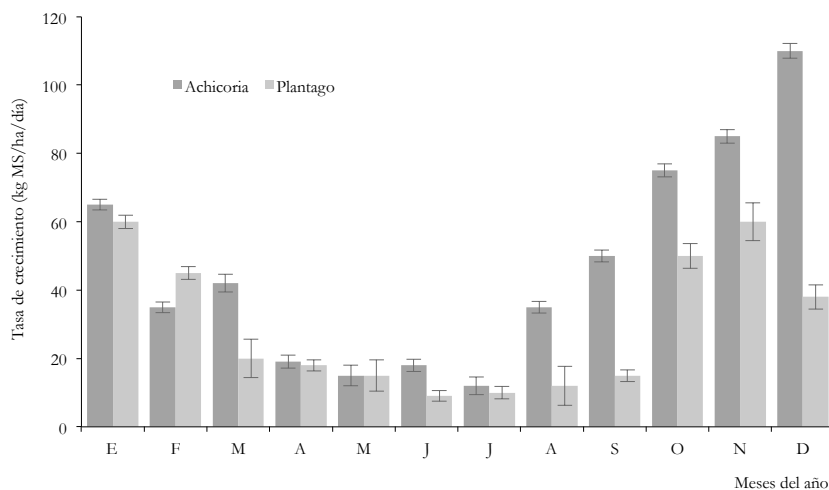


Figura 5.58. Curva de crecimiento de *Cichorium intybus* L. y *Plantago lanceolata* L. Estación Experimental Maquehue. Universidad de La Frontera. Temuco. Promedio periodo 2010 – 2014.

Coefficiente de variación achicoria: 9,54%

Coefficiente variación plantago: 10,34%

Calidad nutricional: La achicoria sola aporta a la dieta de los animales un forraje muy equilibrado que en estado vegetativo tiene entre un 16 y 22% de proteína, entre un 2,4 y 2,6 Mcal/kg de energía metabolizable y una cantidad de minerales muy superior a otras especies forrajeras (Tabla 5.73). Además, en este estado fenológico presenta una digestibilidad que fluctúa entre el 70 y 75%.

Tabla 5.73. Contenido de mineral (g/kg) de *Cichorium intybus* L. y *Lolium perenne* L.

Mineral	<i>Cichorium intybus</i> L.	<i>Lolium perenne</i> L.
Calcio	14,9	6,6
Fósforo	3,4	3,6
Sodio	2,1	0,8
Potasio	36,4	25,5
Magnesio	2,8	1,8

Fuente: adaptado de Barry, 1998.

En asociación con otras especies tiene el potencial de mejorar el contenido de micronutrientes de la dieta y aportar elementos minerales naturales de alto valor biológico (Høgh-Jensen *et al.*, 2006). Además, su contribución en una mezcla polifítica es el suministro de proteínas, minerales naturales y vitaminas que permiten una mejor respuesta del animal respecto al consumo de especies con baja exploración radical (Fraser & Rowarth, 1996; Turner *et al.*, 1999).

Reducción de gases de efecto invernadero: El uso de forrajes alternativos a las pasturas tradicionales tiene por objetivo mejorar la productividad y la sostenibilidad de los sistemas pastoriles. *Cichorium intybus* L. es una alternativa que sembrada sola o asociada permite reducir los efectos de la presencia de parásitos internos, reducir el meteorismo y disminuir la producción de metano, constituyéndose en un medio para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (Ramírez-Restrepo & Barry, 2005).

La inclusión de *Cichorium intybus* L. en mezcla con especies templadas permite aumentar la eficiencia del uso de nutrientes, en especial, de nitrógeno, que logra absorber del subsuelo. Se trata por tanto de una herramienta de gestión para mejorar la sobrecarga ambiental en los sistemas lecheros que presentan un alto excedente de N (Halberg *et al.*, 1995).

***Plantago lanceolata* L. (siete venas o plantago)**

Origen: Nativa de Europa, África del Norte y Asia occidental y meridional se introdujo en Chile con la colonización española. Actualmente presenta una amplia ubicuidad en las praderas naturalizadas y destaca por su persistencia y desarrollo en verano. Tiene una buena adaptación a las condiciones extremas del verano (sequía) e invierno (heladas) y puede prosperar en suelos de baja fertilidad y escasa cobertura vegetal.

Descripción botánica: Es una especie herbácea perenne que se propaga por semillas y pertenece a la familia Plantaginaceae, género *Plantago*, especie *Plantago lanceolata* L. Coloniza y se establece y propaga rápidamente en áreas agrícolas perturbadas, pero por su tamaño y vigor no se constituye en una planta principal en los ecosistemas de pastizales naturalizados. Es una planta diploide, con 12 pares de cromosomas y el alto nivel de mezcla genética y bajo polimorfismo son el resultado de su estrategia de cruzamiento (Sharma & Koul, 1995).

La planta presenta una estructura acaulescente, tallo corto con hojas que nacen a ras del suelo. Todas las hojas son basales, de forma oblongo-lanceoladas y el limbo presenta entre tres y siete nervios. La inflorescencia es espiciforme, con las flores concentradas, cilíndricas, sobre escapos con brácteas ovadas o lanceoladas y acuminadas de márgenes escariosos, glabro o laxamente pubescentes. Las flores son hermafroditas, actinomorfas y tetrámeras (Figura 5.59). El fruto es una cápsula que se abre con un opérculo, tiene forma de quilla, mucilaginoso. La raíz es pivotante, profundizadora, con alta capacidad de exploración en profundidad (Stace, 1997).

Características: Tiene una raíz pivotante y de amplia exploración del suelo, lo que la hace tolerante al estrés hídrico (Cranston *et al.*, 2015). Su persistencia está relacionada con la profundidad de su raíz, el almacenamiento de carbohidratos y captación de agua en profundidad (Mook *et al.*, 1989; Nie *et al.*, 2008). En verano tiene un rendimiento superior a otras especies forrajeras (Cranston *et al.*, 2015; Somasiri *et al.*, 2016). Destaca por su elevado valor nutricional, con un alto contenido de minerales (Pirhofer-Walzl *et al.*, 2011), una reducida fracción de fibra detergente neutra (Labreveux *et al.*, 2006; Cranston *et al.*, 2015) y metabolitos secundarios que proporcionan cierta protección a los animales que la consumen frente a los parásitos gastrointestinales (Foster *et al.*, 2011). Además, contiene compuestos fenólicos secundarios como taninos condensados, lactonas sesquiterpénicas (Barry, 1998) y aucubina, catalpol y acteósido (Tamura & Nishibe, 2002).



Figura 5.59. *Plantago lanceolata* L. (plantago o siete venas)

Cultivares: Los cultivares de *Plantago lanceolata* L. han sido seleccionados por su buena persistencia y su capacidad de adaptación a condiciones extremas. Nueva Zelanda es el país de origen de los cultivares utilizados en Chile. Estos han demostrado una buena adaptación a las condiciones de clima y suelo de la zona templada y han logrado una producción similar a las pasturas permanentes, pero con una distinta distribución de la producción (Demanet, 2019).

Asociación: Se asocia a leguminosas, gramíneas y otras especies como *Cichorium intybus* L. con el objetivo de mejorar el nivel nutricional del forraje que consumen los animales en pastoreo y cumplir, en parte, un papel medicinal. Esta especie es un componente de las mezclas que aportan compuestos bioactivos que pueden reducir la carga de parásitos gastrointestinales como nemátodos y helmintos. Además, por la capacidad exploratoria de sus raíces aporta nutrientes minerales como calcio, magnesio, zinc, sodio, cobalto, cobre, fósforo y selenio.

Periodo de siembra: Sembrada sola o en mezcla se establece en dos épocas del año, en verano/otoño, entre los meses de febrero y marzo, y en invierno/primavera, entre los meses de agosto y septiembre. En ambas fechas de siembra esta labor se hace en sistema convencional con roturación de suelos y una temperatura mínima del suelo de 12°C.

Dosis de semilla: En siembras monofíticas la dosis es de 8 kg semillas/ha y en mezclas polifíticas de 3 kg semillas/ha.

Utilización: Las plantas son consumidas cuando logran una altura mínima de 25 cm y su consumo se detiene con un residuo de ocho centímetros. Pastoreos con mayor presión dañan la corona de las plantas y reducen la posibilidad de rebrote post pastoreo. Es importante considerar que el primer pastoreo post siembra es determinante en la población inicial de plantas y en la longevidad de la pastura. Antes del inicio del pastoreo las plantas deben tener seis a siete hojas expandidas. Con este manejo se pretende alcanzar una adecuada acumulación de carbohidratos en la raíz, que son los responsables de aportar la energía para el recrecimiento de las plantas. Con el respeto a estas normas de manejo la pastura logra una persistencia de 4 a 5 años.

Producción: Mediciones en la zona templada han demostrado que la producción de esta especie sembrada sola no supera las 10 ton MS/ha, resultado que es similar al obtenido con los mismos cultivares en Nueva Zelanda (Judson, 2009). Las pasturas presentan una producción concentrada en primavera y parte del verano (Figura 5.60) y a diferencia de las pasturas permanentes, las plantas de *Plantago lanceolata* L. en esta fecha se mantienen verdes, turgentes y palatables.

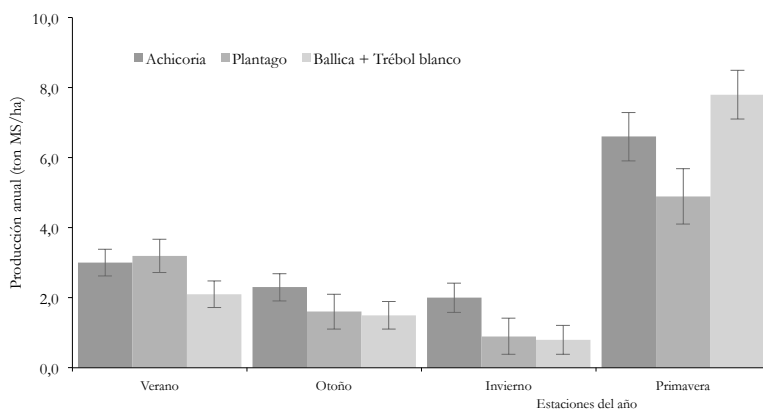


Figura 5.60. Distribución estacional de la producción de *Plantago lanceolata* L., *Cichorium intybus* L. y la mezcla *Lolium perenne* + *Trifolium repens* L. Estación Experimental Maquehue. Universidad de La Frontera. Temuco. Promedio Periodo 2011 – 2014.

Coefficiente de variación achicoria: 8,12%

Coefficiente de variación plantago: 11,28%

Coefficiente de variación ballica + trébol: 5,71%

Calidad nutricional: En estado vegetativo las plantas tienen un contenido en proteínas que fluctúa entre un 14 y 20%, la digestibilidad de la materia seca entre un 70 y 72% y la energía metabolizable entre un 2,2 y 2,4 Mcal/kg (Tabla 5.74). La concentración de minerales es superior que, en otras especies forrajeras, en especial en cuanto a calcio, magnesio, zinc, sodio, cobalto, cobre, fósforo y selenio (Demanet, 2019). Además, las plantas tienen un contenido aminoacídico distinto, entre los que destaca el ácido glutámico, ácido aspártico y la leucina (Tabla 5.75).

Tabla 5.74. Composición química de plantas de *Plantago lanceolata* L. y *Cichorium intybus* L. (medido en base al porcentaje de la materia seca).

Componente	<i>Plantago lanceolata</i> L.	<i>Cichorium intybus</i> L.
Proteína cruda	15,9	31,6
Extracto etéreo	1,7	2,6
Almidón	0,9	0,5
FDN	29,5	33,2
FDA	17,9	26,8
Lignina	5,7	17,7
Hemicelulosa	11,6	6,4
Celulosa	12,2	9,1
Cenizas	15,1	16,7

Fuente: adaptado de Rattanasomboon *et al.*, 2019.

Tabla 5.75. Composición aminoacídica de plantas de *Plantago lanceolata* L. y *Cichorium intybus* L. (g/kg MS).

Componente	<i>Plantago lanceolata</i> L.	<i>Cichorium intybus</i> L.
Ácido glutámico	15,9	31,2
Ácido aspártico	13,2	27,3
Leucina	12,7	23
Valina	9,2	17,1
Alanina	9,2	17,7
Lisina	8,3	15,7
Glicina	8	14
Isoleucina	7,3	12,6
Arginina	7,2	13,4
Prolina	7,2	13,7
Serina	6,5	10,9
Triptófano	3,5	5,7
Histidina	3,1	5,6

Fuente: adaptado de Rattanasomboon *et al.*, 2019.

Producción animal: El objetivo de esta especie es mejorar la calidad de las pasturas y la disponibilidad de forraje verde en el periodo estival (Moorhead & Piggot, 2009; Minneé *et al.*, 2013), pero su respuesta en producción animal ha sido diversa y no concluyente (Minneé *et al.*, 2017). Pembleton *et al.* (2016) demostraron que hay un incremento en la producción de leche de vaca en sistemas pastoriles cuando los animales consumen pasturas de *Lolium perenne* L. + *Trifolium repens* L. y *Plantago lanceolata* L., con respecto a las que consumen pasturas de *Lolium perenne* L. + *Trifolium repens* L. Otras mediciones hechas con vacas lecheras en pastoreo que consumían en el periodo estival la asociación de plantago + achicoria, han demostrado diversos beneficios en la producción y calidad de la leche (Minneé *et al.*, 2017) y en la producción leche y carne de ovejas en pastoreo (Hutton *et al.*, 2011; Rodríguez *et al.*, 2019).

Control de emisiones de gases de efecto invernadero: Los pastizales en pastoreo contribuyen a las emisiones de óxido nítrico (N_2O), gas de efecto invernadero, debido fundamentalmente a la deposición de orina de los animales. La incorporación de forrajes alternativos puede reducir las emisiones de N_2O a través de mecanismos como la exudación por las raíces de inhibidores biológicos de la nitrificación y la mayor profundidad y exploración radical. Mediciones hechas en este sentido han demostrado que *Plantago lanceolata* L. y *Cichorium intybus* L. son opciones que presentan menores niveles de emisión que las pasturas más frecuentes en la zona templada, como son *Lolium perenne* L. y *Trifolium repens* L. (Luo *et al.*, 2018; Rodríguez *et al.*, 2019). *Plantago lanceolata* L. es una especie que influye en los procesos del ciclo del nitrógeno mediante la exudación de metabolitos secundarios que reducen la producción de óxido nítrico a través de la inhibición biológica de la nitrificación (Dietz *et al.*, 2013; Luo *et al.*, 2018). Además, la asociación de ambas especies en los sistemas ganaderos permite prolongar el aporte de forraje de calidad hacia el periodo estival (Rodríguez *et al.*, 2019).

***Helianthus tuberosus* L. (topinambur)**

Origen: El origen es América en las montañas del norte de México. Antes de la llegada de los europeos era cultivado por los indios amerindios. Su nombre proviene de “tupinambas” que era como lo llamaban los indígenas en Brasil. Se ha introducido como cultivo comercial en todo el mundo, especialmente como forraje y cultivos de cobertura en áreas marginales templadas (Monti *et al.*, 2005). Su cultivo en Europa data del siglo XVII (Slimestad *et al.*, 2010) y por su carácter invasor en España es hoy considerada una amenaza para las especies autóctonas, por lo que se encuentra incluida en el catálogo español de especies exóticas invasoras que prohíbe su introducción en el medio natural.

Descripción: Especie perteneciente a la familia Asteraceae, subfamilia Asteroideae, tribu Heliantheae, subtribu Helianthinae, género *Helianthus*. Es una planta utilizada en alimentación del ganado, el cual puede consumir el follaje y los tubérculos. Llega a medir más de dos metros y sus tallos son erectos, hispídeos/hirsutos (cubiertos de tricomas o pelos ásperos y rígidos). Las hojas son pecioladas, opuestas en la parte inferior del tallo, haciéndose alternas en la parte superior. Son hirsutas y tomentosas en la cara inferior (pelos rígidos, ásperos y enmarañados) con borde dentado y un tamaño que puede ser superior a 30 centímetros. La inflorescencia es una cabeza floral amarilla y los frutos son aquenios (Figura 5.61).



Figura 5.61. *Helianthus tuberosus* L. (topinambur)

Sus tubérculos son alargados e irregulares y se asemejan a la raíz del jengibre. Tienen un sabor muy similar al de la alcachofa (Figura 5.62). El rendimiento difiere según los tipos de suelos, las condiciones climáticas, el uso de riego y el manejo de la fertilización y la nutrición de las plantas. Los tubérculos son ricos en inulina, que es una fuente de fructooligosacáridos, y carecen de principios tóxicos.



Figura 5.62. Tubérculos de *Helianthus tuberosus* L. (topinambur)

Como cultivo forrajero es una planta estable y perenne debido a que se reproduce cada año a partir de los tubérculos que quedan en el suelo (Kosaric *et al.*, 1984). Tiene una cierta tolerancia al déficit hídrico y a la salinidad y se adapta con facilidad a diversos ambientes de la zona templada (Monti *et al.*, 2005; Tassoni *et al.*, 2010). Como especie es altamente competitiva, sombrea rápidamente la superficie del suelo y establece un área de utilización de recursos que inhibe el crecimiento de la mayoría de las otras especies.

Utilización: El follaje y los tubérculos de las plantas pueden ser consumidos por los animales. Las plantas crecen entre dos y cuatro metros de altura y se pueden cortar tres a cuatro veces al año. (Izsáki & Kádi, 2013; Papi *et al.*, 2014). La parte aérea de la planta se consume de forma directa o como ensilaje, pero tiene la desventaja de que en el momento de máximo rendimiento las plantas aún no han translocado los nutrientes de la parte aérea al tubérculo, limitando la calidad y producción de este último (Cañas & Hazard, 2016). El mayor valor nutritivo de la parte aérea se logra cuando es cosecha en estados tempranos en los que la proporción de hojas es superior al 50% de la biomasa aérea (Papi *et al.*, 2014). Los tubérculos son consumidos por los animales en comederos después de ser cosechados en forma manual o mecanizada.

Producción: En condiciones marginales la producción de tubérculos no supera las 50 ton/ha. Sin embargo, bajo condiciones de riego y con una nutrición equilibrada de las plantas puede alcanzar una producción superior a 100 ton de tubérculos/ha. La producción de follaje, considerando el periodo desde la siembra hasta la floración, fluctúa entre 50 y 60 ton/ha.

La nutrición equilibrada de las plantas es el elemento clave en la productividad de este cultivo. Mediciones hechas en la localidad de Gorbea demostraron que hay correlación entre la aplicación de enmiendas y el rendimiento de tubérculos. Los requerimientos elevados de magnesio que tiene esta especie se demostraron con el buen comportamiento que tuvo este cultivo con las aplicaciones de dolomita (Figura 5.63). Otro elemento positivo que tiene la incorporación de enmiendas es la mayor tolerancia que se genera a enfermedades foliares, en especial a *Sclerotinia sclerotiorum*, que puede causar la pérdida total del cultivo.

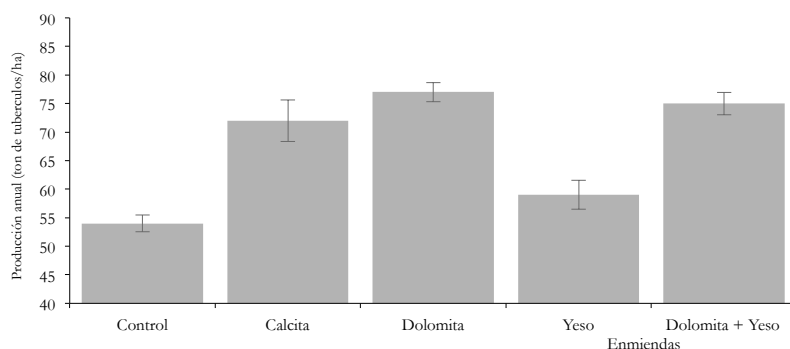


Figura 5.63. Efecto de la aplicación de enmiendas en la producción de tubérculos de *Helianthus tuberosus* L. Gorbea. Temporada 1997/1998.

Coefficiente de variación: 7,28%

Fuente: adaptado de Mora *et al.*, 2000.

Las aplicaciones crecientes de fósforo, potasio y nitrógeno tienen poca relación con la producción de tubérculos, lo que demuestra la rusticidad del cultivo (Figura 5.64). Dosis elevadas de nitrógeno tienen un efecto negativo debido a que promueven en la planta la presencia de *Sclerotinia sclerotiorum*.

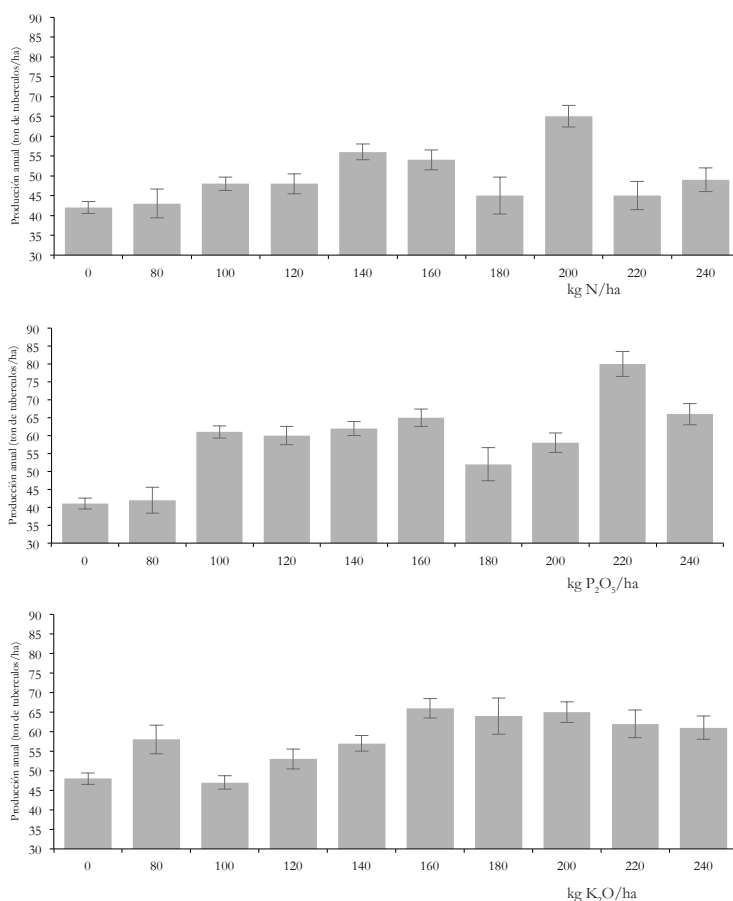


Figura 5.64. Efecto de la aplicación de dosis crecientes de nitrógeno, fósforo y potasio en la producción de tubérculos de *Helianthus tuberosus* L. Gorbea. 1997/1998.

Coefficiente de variación N: 6,58%

Coefficiente de variación P: 9,78%

Coefficiente de variación K: 10,96%

Fuente: adaptado de Mora *et al.*, 2000.

Un factor determinante en la producción de tubérculos de *Helianthus tuberosus* L. es la disponibilidad de agua en periodos de escasez. Mediciones realizadas en la localidad de Gorbea, demostraron que un suministro de agua del 100% de la evaporación de bandeja aumenta la producción en, al menos, 44 ton de tubérculos/ha, equivalente a un incremento de un 122% respecto al cultivo sin riego (Figura 5.65).

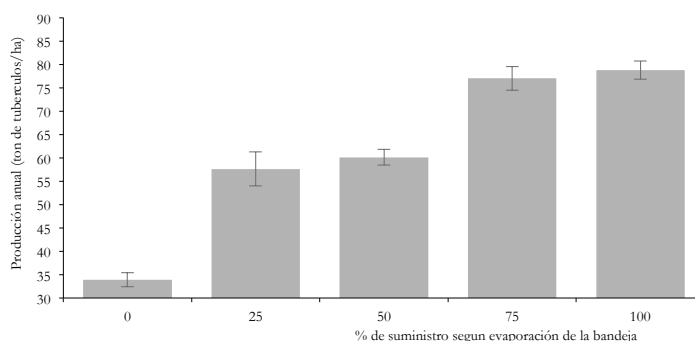


Figura 5.65. Efecto de la aplicación de riego como porcentaje de suministro de agua según evaporación de bandeja en el rendimiento de tubérculos de *Helianthus tuberosus* L. Gorbea. 1997/1998.

Coefficiente de variación: 10.25%

Fuente: adaptado de Mora *et al.*, 2000.

Calidad nutritiva: La parte aérea de las plantas, que es consumida de forma fresca o como ensilaje por los animales, es nutricionalmente comparable con la de otros cultivos forrajeros y es especialmente rica en proteínas, con alto contenido de lisina y metionina (Malmberg & Theander, 1986; Papi *et al.*, 2019). Su contenido mineral difiere del de los tubérculos en que el calcio de las hojas es ocho veces superior al de los tubérculos, el fósforo cinco veces mayor y el potasio cuatro veces superior. Solo los niveles de magnesio son similares en el follaje y los tubérculos (Papi *et al.*, 2014).

La fertilización modifica la composición química de las plantas y su calidad nutritiva. Mediciones hechas en la localidad de Gorbea demostraron que la aplicación de enmiendas de carbonato de calcio (calcita), carbonato de calcio + magnesio (dolomita), sulfato de calcio (yeso) y la combinación yeso + dolomita modificaron los niveles de proteína, calcio y magnesio en el follaje de *Helianthus tuberosus* L. (Figura 5.66).

El incremento en la fertilización fosforada no provoca grandes cambios en la composición química de las plantas. El cambio más relevante que se produce en el avance del estado de madurez de las plantas. Al comienzo de la floración las plantas tienen un contenido bajo de materia seca (15%) que se incrementa en al menos dos puntos porcentuales al fin de la floración. Con el avance en el estado fenológico se reduce el contenido de proteína y fósforo (Figura 5.67).

Las aplicaciones de nitrógeno tienen un efecto antagónico con la absorción de boro, lo que produce una reducción en el contenido de azúcares en los tubérculos. El nitrógeno no modifica los niveles de fósforo foliar de *Helianthus tuberosus* L., pero sí reduce los niveles de calcio con el incremento de uso de este elemento (Figura 5.68).

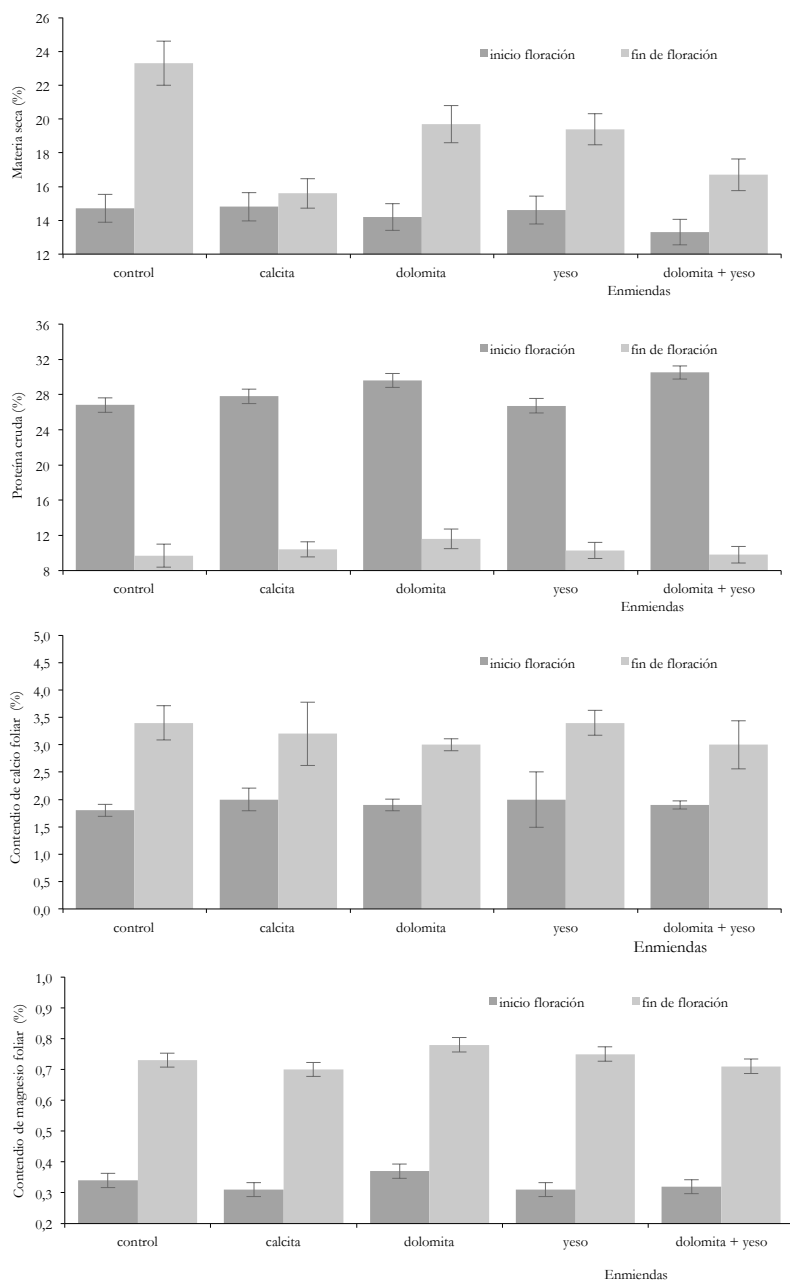


Figura 5.66. Efecto de la aplicación de enmiendas en el contenido de materia seca, proteína cruda, calcio y magnesio de la parte aérea de plantas de *Helianthus tuberosus* L. evaluada en estado de inicio y fin de floración. Gorbea. 1997/1998. Fuente: adaptado de Mora *et al.*, 2000.

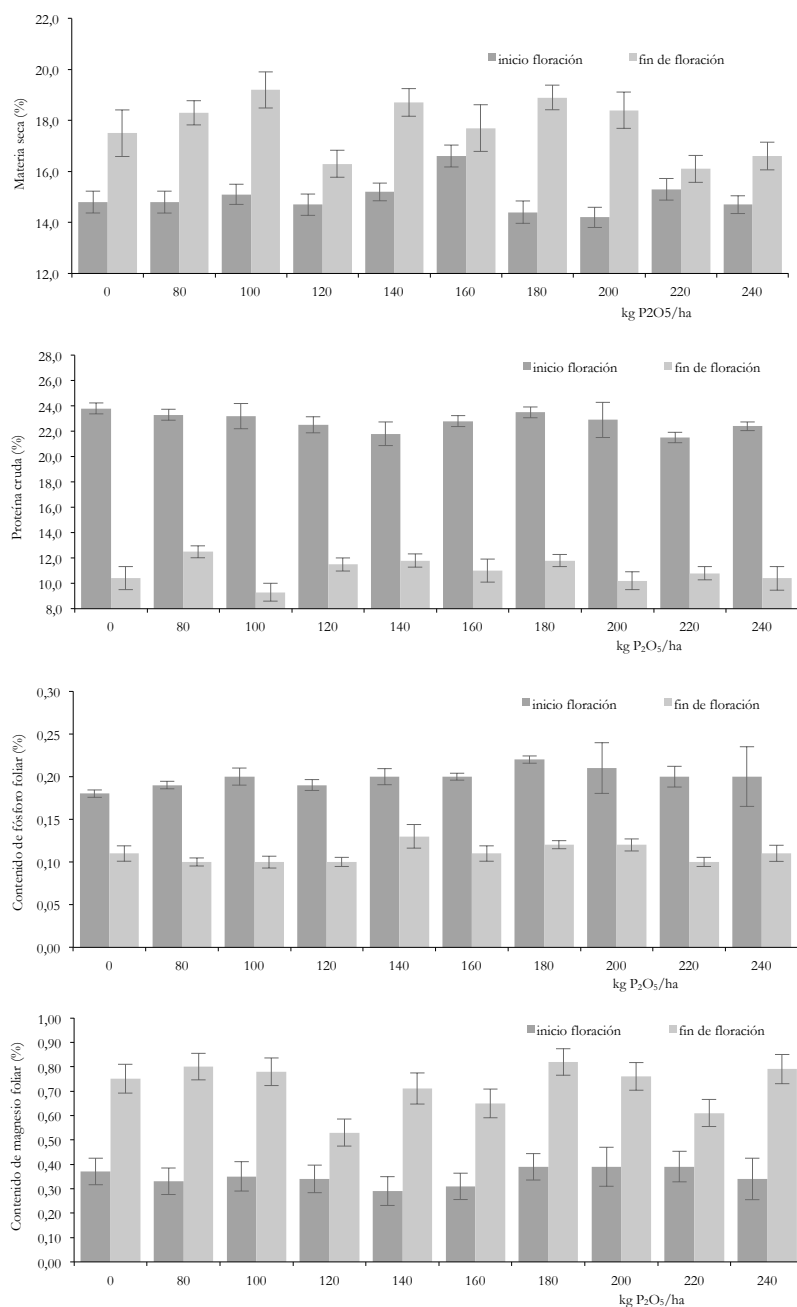


Figura 5.67. Efecto de la aplicación de dosis crecientes de fósforo en el contenido de materia seca, proteína cruda, fósforo y magnesio de la parte aérea de plantas de *Helianthus tuberosus* L. evaluadas al inicio y fin de la floración. Gorbea. 1997/1998.
Fuente: adaptado de Mora *et al.*, 2000.

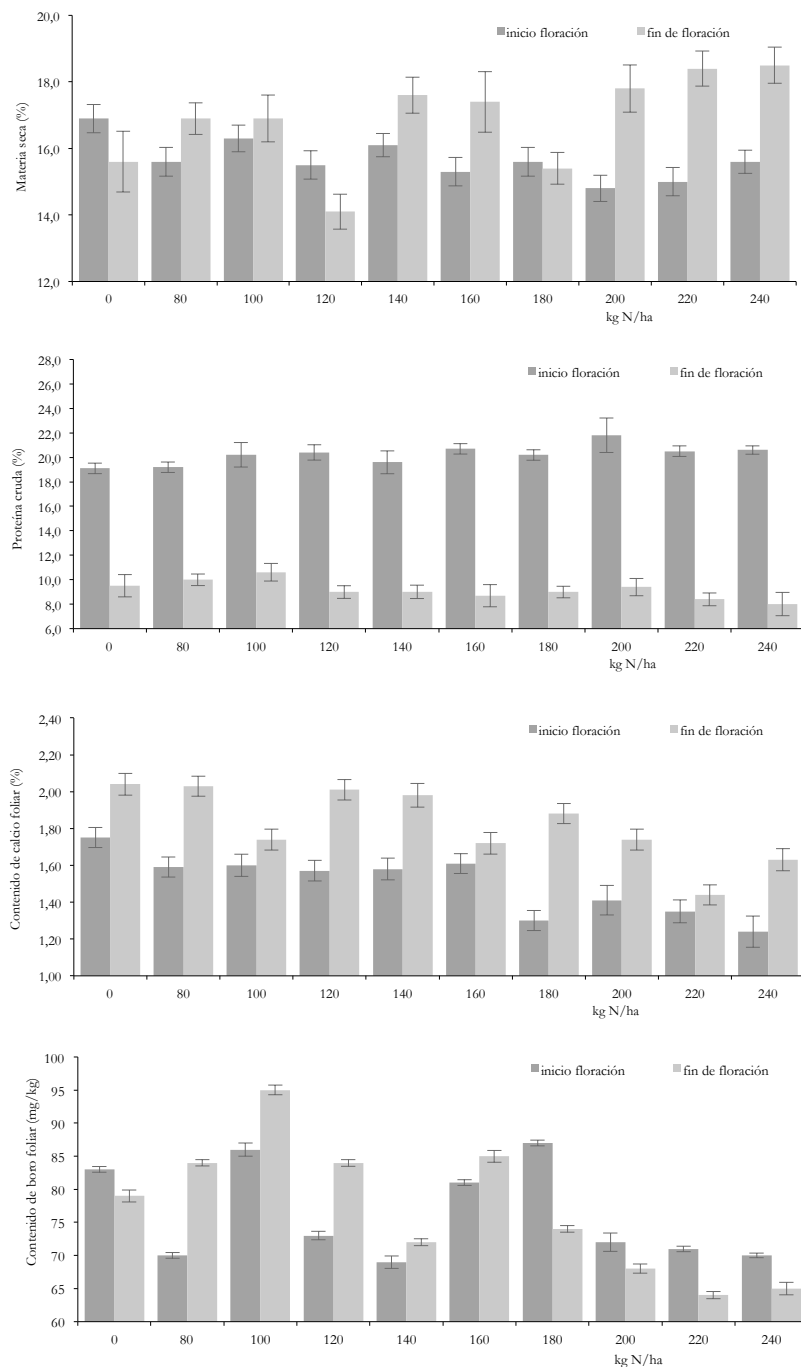


Figura 5.68. Efecto de la aplicación de dosis crecientes de nitrógeno en el contenido de materia seca, proteína cruda, fósforo y magnesio de la parte aérea de plantas de *Helianthus tuberosus* L. evaluadas al inicio y fin de la floración. Gorbea. 1997/1998. Fuente: adaptado de Mora *et al.*, 2000.

Silphium perfoliatum L. (silfo)

Origen: Es nativa del este de América del norte y fue introducida como cultivo forrajero a finales del siglo XIX en Europa y Rusia (Demarquilly & Niqueux, 1978). En Chile las primeras experiencias como cultivo forrajero se realizaron entre los años 1986 y 1993 por el Dr. Gastón Pichard Descalzi. Estos primeros estudios se hicieron mediante un proyecto Fondecyt y una ayuda del CUD (Canadá) otorgados en el contexto de investigación en sistemas de producción para pequeños agricultores de la zona templada. Tenían por objetivo solucionar, en la medida de lo posible, los problemas de alimentación del ganado lechero durante el periodo estival.

Los resultados de estas investigaciones demostraron que *Silphium perfoliatum* L. tiene en la zona templada un elevado potencial de producción en diferentes condiciones de suelos y manejos del cultivo. Además, se observó que la producción estival permite solucionar el déficit de alimentación que se produce con los pastizales permanentes y que su cultivo se adecua a las explotaciones de pequeños productores que realizan agricultura mixta de cultivos y ganadería (Pichard, 1995). En la actualidad esta especie continúa siendo una opción de cultivo suplementario para el ganado en la zona templada y su expansión y utilización en los sistemas ganaderos depende de la disponibilidad de semilla de calidad y de la elaboración de un programa de extensión que enseñe y demuestre los beneficios de esta alternativa.

Descripción: Pertenecce a la familia Asteraceae, género *Silphium*, especie *Silphium perfoliatum* L. En Chile tiene el nombre de silfo y en inglés *cup-plant*. La planta es diploide con 14 cromosomas y en el mundo no existen cultivares con características definidas y solo hay algunos ecotipos locales que tienen un amplio rango genético y una alta heterogeneidad (Gansberger *et al.*, 2015).

Las plantas tienen raíces horizontales profusas, con una alta densidad de raicillas (Neumerkel & Martin, 1982) y se desarrollan a partir de una roseta que posee entre 12 y 14 hojas (Stanford, 1990). Durante el verano la planta forma estructuras vegetativas a partir de las cuales se forman los tallos de la siguiente temporada (Sokolov & Gritsak, 1972). El nuevo crecimiento se produce a partir del incremento de las temperaturas de primavera. En esa época las plantas producen muchos tallos cubiertos de hojas que pueden alcanzar una altura de tres metros (Gansberger *et al.*, 2015). El número de tallos por planta aumentan con la edad y estos producen un follaje denso de alto rendimiento. Las hojas son triangulares u ovales, con bordes dentados y están dispuestas en pares alrededor de todos los tallos. La superficie superior de la hoja es de color verde oscuro y áspera (Neumerkel & Martin, 1982). El periodo de floración es prolongado y las flores son hermafroditas de color amarillo (Jablonski & Koltowski, 2005). La planta es de autopolinización o polinización facultativa y sus flores, además de generar un paisaje agrícola atractivo, son fuente de alimento para los insectos. El fruto es de color verde-marrón y punta plana, con un tamaño aproximado de 9 a 15 mm de largo y 6 a 9 mm de ancho (Niqueux, 1981). El peso de mil semillas fluctúa entre 14 y 21 g (Neumerkel & Martin, 1982; Kowalski & Wiercinski, 2004).

Utilización: El uso es a través de soiling o ensilaje. En la alternativa de soiling existen dos posibilidades: una sola utilización o dos o tres cortes al año.

La planta inicia el crecimiento durante la primavera después de completar sus requisitos de vernalización. La máxima acumulación de biomasa ocurre a finales de verano, cuando después del corte exhibe una rápida recuperación. Para lograr dos o más utilidades en la temporada la planta se corta al estado de botón, lo que permite un segundo uso en menos de 60 días post corte (Pichard, 2012).

La conservación de la planta mediante ensilaje es posible pero su valor nutricional es inferior a otras opciones. Se puede incorporar con éxito como un componente de la dieta o asignarse a animales con menores requerimientos de energía (Pichard, 2012).

Momento de corte: El estado fenológico de las plantas en el momento del corte no solo influye en el rendimiento en biomasa, sino que también afecta al contenido en materia seca y nutrientes. Con bajo contenido de materia seca (<25%) las plantas se utilizan en soiling y es cuando presentan el mayor contenido de nutrientes. Con niveles superiores a 25% es posible elaborar un ensilaje de calidad en el que el proceso de fermentación se puede favorecer mediante la aplicación de aditivos biológicos.

Para lograr un ensilaje de calidad esta planta debe ser sometida a un proceso de pre deshidratado o premarchito. Esta técnica permite aumentar los niveles de proteínas y la digestibilidad de la FDN, pero supone una reducción del rendimiento de materia seca.

Producción: Bajo el régimen de un corte en la temporada la producción fluctúa entre 15 y 21 ton MS/ha (Niqueux, 1981; Pichard *et al.*, 1988). En sistemas de utilización de dos o más cortes se reduce el rendimiento total de materia seca, pero aumenta el valor nutritivo del forraje y la ingesta voluntaria del ganado. Cuando esta planta presenta una gran proporción en la ingesta diaria de animales de engorde y se proporciona en el estado verde es posible sostener ganancias de peso en novillos de 800 g de peso vivo/animal/día (Pichard, 2012).

Calidad nutritiva: La calidad nutricional depende del estado fenológico de las plantas. En estado vegetativo las plantas presentan un nivel de proteínas superior al 14%, aunque este reduce en estados reproductivos a sólo el 6% como consecuencia del incremento en la formación de tallos que tienen una alta proporción de fibra (Tabla 5.76).

Tabla 5.76. Calidad nutricional de hojas y tallos en dos estados fenológicos de *Silphium perfoliatum* L.

Componente (%)	Hojas		Tallos	
	Estado vegetativo	Floración (50%)	Estado vegetativo	Floración (50%)
Materia seca	13,9	19,7	9,3	21
Cenizas	14,8	15,7	9,5	5
Proteína cruda	20	12,7	5,2	2,6
FDN	30	24,4	52,5	61,2
FDA	24,7	23,7	46,8	52,3
Lignina	6,8	4,9	8,5	10,6
Digestibilidad pared celular	89,1	82,5	61,9	30
Digestibilidad materia seca	83,8	82,8	67,1	44,3

Fuente: adaptado de Pichard, 2012.

Bibliografía

- Acosta, Y.M.; Stallings, C.C.; Polan, C.E. & Miller, C.N. 1991. Evaluation of barley silage harvested at boot and soft dough stages. *Journal Dairy Science*, 74(1):167 - 176.
- Adhikari, L.; Mohseni-Moghadam, M. & Missaoui, A. 2018. Allelopathic effects of cereal rye on weed suppression and forage yield in alfalfa. *American Journal of Plant Sciences* 9: 685-700.
- Águila, C.H., 1997. Pastos y Empastadas. Editorial universitaria. Octava edición. Santiago, Chile. 314p.
- Ainouche, A. & Bayer, R.J., 1999. Phylogenetic relationships in *Lupinus* (Fabaceae: Papilionoideae) based on internal transcribed spacer sequences (ITS) of nuclear ribosomal DNA. *American Journal of Botany* 86(4): 590–607.
- Aldrich & Leng, 1974. Producción moderna de maíz. Editorial hemisferio sur. Buenos Aires, Argentina. 308 p.
- Al-Shehbaz, L.A.; Beilstein M.A. & Kellogg, E.A., 2006. Systematics and phylogeny of the Brassicaceae (Cruciferae): An overview. *Plant Systematics and Evolution*, 259(2): 89-120.
- Altamirano, S.S., 1978. Cultivo de maíz. Estación Experimental La Platina. Instituto de investigaciones agropecuarias. Boletín N° 21. Santiago, Chile. 62p.
- Andrews, A.C., Wright, R., Simpson, P.G., Jessop, R., Reeves, S. and Wheeler, J., 1991. Evaluation of new cultivars of triticale as dual-purpose forage and grain crops. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 31:769-775.
- Anrique, G.R.; Fuchslocher, P.R.; Iruira, H.S. & Saldaña, P.R., 2008. Composición de alimentos para ganado bovino. Facultad de ciencias agrarias, Universidad Austral de Chile. Fundación para la innovación agraria (FIA), INIA Remehue, Consorcio lechero. Imprenta América Limitada. Valdivia, Chile. 87p.
- Anrique, R.; Molina, X.; Alfaro, M. & Saldaña, R., 2014. Composición de alimentos para el ganado bovino. Fundación para la Innovación Agraria, FIA, Ministerio de Agricultura, MINAGRI. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 91p.
- Ariel, A & Adine, G., 1994. Effect of Wheat Silage Maturity on Digestion and Milk Yield in Dairy Cows. *Journal of Dairy Science* 77:237-243.
- Assefa, Y.; Staggenborg, S. & Prasad, V. 2010. Grain Sorghum water requirement and responses to drought stress: A review. Online. *Crop Management* doi:10.1094/CM-2010-1109-01-RV.
- Aucal, S.; Balocchi, O. & Keim, J.P., 2015. Inclusión del Nabo forrajero (Brassica rapa) como suplemento estival en dietas ofrecidas a vacas lecheras en predios de la Provincia de Ranco. *Agro Sur*, 43(3): 9-18.
- Ayalew, H.; Kumssa, T.T.; Butler, T.J. & Ma, X., 2018. Triticale Improvement for forage and cover crop uses in the southern great plains of the United States. *Frontiers in plant science*. 9: 1130.
- Baron, V.S.; Stevenson, K.R. & Buchanan-Smith, J.G. 1986. Proteolysis and fermentation of corn-grain ensiled at several moisture levels and under several simulated storage methods. *Canadian Journal of Animal Science* 66: 451–461.
- Barry, T.N., 1998. The feeding value of chicory (*Cichorium intybus*) for ruminant livestock. *Journal of agricultural science - Cambridge*. 131: 251–257.
- Barry, T.N., 2013. The feeding value of forage brassica plants for grazing ruminant livestock. *Animal Feed Science and Technology* 181: 15– 25

- Belesky, D.P.; Fedders, J.A.; Turner, K.E. & Ruckle, J.M., 1999. Productivity, botanical composition, and nutritive value of swards including forage chicory. *Agronomy journal*. 91: 450–456.
- Belesky, D.P.; Turner, K.E.; Fedders, J.M. & Ruckle, J.M., 2001. Mineral composition of swards containing forage chicory. *Agronomy journal*. 93: 468–475.
- Beratto, M.E., 1977. Efectividad de la selección de líneas puras en el mejoramiento de avena rubia corriente. *Agricultura Técnica* (Chile) 37: 150–155.
- Beratto, M.E., 2006. Cultivo de avena en Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación INIA Carillanca. Imprenta Austral. Temuco, Chile. 297p.
- Berenji, J.; Dahlberg, J.; Sikora, V. & Latković, D. 2011. Origin, history, morphology, production, improvement, and utilization of broomcorn [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] in Serbia. *Economic Botany*, 65(2): 190–208.
- Bergen, W.G.; Byrem, T.M. & Grant, A.L. 1991. Ensiling characteristics of whole-crop small grains harvested at milk and dough stages. *Journal Animal Science* 69: 1766–1774.
- Bernier, R. & Meneses, G., 1983. Fertilización de la col forrajera. Instituto de investigaciones agropecuarias (Chile), Estación Experimental Remehue (Osorno). Boletín técnico N°67 (67Re)
- Blum, A., 2014. The abiotic stress response and adaptation of triticale—A review. *Cereal Research Communications* 42(3): 359–375.
- Bonnett, O.T., 1961. Morphology and development. In: Coffman F.A. (ed.). Oats and oat improvement. Agronomy Monograph N° 8 American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin. USA. pp: 41–74.
- Borba, L.; Ferreira, M.; Guim, A.; Tabosa, J.; Gomes, H. & Fernandes, V. 2012. Nutritive value of different silage sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) cultivars. *Acta Scientiarum. Animal Sciences* 4(2):123–129.
- Borreania, G.; Revello Chiona, A.; Colombini, S.; Odoardi, M.; Paoletti, R. & Tabacco, E., 2009. Fermentative profiles of field pea (*Pisum sativum*), faba bean (*Vicia faba*) and white lupin (*Lupinus albus*) silages as affected by wilting and inoculation. *Animal Feed Science and Technology*, 151: 316–323.
- Brandolini, A. 1970. Maize. In: Frankel, O.H. & Bennett, E. (eds.) Genetic Resources in Plants—Their Exploration and Conservation. Oxford: Blackwell Scientific Publications. Philadelphia. USA. Pp: 273–309.
- Burgess, P.L.; Misener, G.C.; Mcqueen, R.E. & Nicholson, J. W. G. 1989. Evaluation of barley and wheat head-chop silages for dairy cows. *Canadian journal of animal science* 69: 947–954.
- Bustos, W. 1968. Cultivo del sorgo. *El Campesino* (Chile). 99(8): 14–19.
- Camide, V.; Mascarenhas-Ferreira, A. & Guedes-Pinto, H., 1988. A comparative study of triticale lines as a forage crop. Tagungsbeitr. Akad. Landwirtschaftswiss. DDR, 266: 591–604.
- Canseco, M.C., 2004. Rendimiento y calidad de dos cultivares de cebada (*Hordeum vulgare* L.) cosechados en ocho estados fenológicos diferentes. Tesis para optar al título de ingeniero agrónomo. Facultad de ciencias agropecuarias y forestales. Universidad de La Frontera. Temuco, Chile. 72p.
- Cantero, M.M., 1997. Efecto de la dosis de semilla de *Pisum sativum* L. en el establecimiento y producción de *Trifolium pratense* – *Lolium multiflorum* en el secano de la IX Región. Tesis para optar al título de ingeniero agrónomo. Facultad de ciencias agropecuarias y forestales. Universidad de La Frontera. Temuco, Chile. 131p.
- Cañas, C.R. & Hazard, T.S., 2016. Alimentación y nutrición animal. Ingeniería de la producción animal. Ediciones universidad de La Frontera. Temuco, Chile. 597p.
- Carevic, R.A., 2017. Las culturas originarias y el maíz en el desierto chileno como fuentes de un desarrollo local y agroecológico. *Sustentabilidad* 8(16): 84 – 95.
- Carpintero, C.M.; Henderson, A.R. & McDonald, P., 1979. The effect of some pre-treatments on proteolysis during the ensiling of herbage. *Grass forage science*. 34: 311–315.
- Catrileo, S.A.; Rojas G.C.; Matus, C.J., 2003. Evaluación de la producción y calidad de cebada sembrada sola y asociada a especies forrajeras para la producción de ensilaje. *Agricultura técnica* (Chile) 63(2): 135–145.
- Cavallarin, L.; Antoniazzi, S.; Tabacco, E. & Borreani, G., 2006. Effect of the stage of growth, wilting and inoculation in field pea (*Pisum sativum* L.) silages. II. Nitrogen fractions and amino acid compositions of herbage and silage. *Journal of the science of food and agriculture*. 86: 1383–1390.
- Chapko, L.B.; Brinkman, M.A. & Albrecht, K.A., 1991. Oat, oat-pea, barley, and barley-pea for forage yield, forage quality, and alfalfa establishment. *Journal of Production Agriculture*, 4: 486–491.
- Charlton, D. & Stewart, A., 2006. Pasture and forage plants for New Zealand. New Zealand grassland association. New Zealand grassland trust. Grassland research and practice series N°8. Third edition revised and expanded. Auckland, New Zealand. 128p.
- Charmley, E. & Veira, D.M., 1990. Inhibition of proteolysis at harvest using heat in alfalfa silages: effects on silage composition and digestion by sheep. *Journal of animal science*. 68: 758–766.
- Chen, Y. & Weinberg, Z.G., 2009. Changes during aerobic exposure of wheat silages. *Animal Feed Science and Technology*. 154: 76–82.
- Cherney, J.H. & Marten, G.C., 1982. Small grain crop forage potential: I. Biological and chemical determinants of quality, and yield. *Crop Science*, 22: 227–231.
- Cherney, J.H.; Marten, G.C. & Goodrich, R.D., 1983. Rate and extent of cell wall digestion of total forage and morphological components of oats and barley. *Crop Science*, 23: 213–216.
- Chisi, M. & Peterson, G. 2018. Chapter 2: Breeding and agronomy. In: Taylor, T. & Duodu, K. (eds). Sorghum and millets: chemistry, technology and nutritional attributes (Second edition). Woodhead Publishing. Cambridge, United Kingdom. pp: 23–50.
- Christensen, D.A. & Mustafa, A.F., 2000. The use of peas in dairy rations. *Advanced dairy science and technology*. 12: 293–302.

- Cid, M.C., 1994. Productividad de cinco especies de *Vicia* sp. Asociadas con *Avena sativa* cv. Nehuen, en el secano de la IX Región. Tesis para optar al título de ingeniero agrónomo. Facultad de ciencias agropecuarias, universidad de La Frontera. Temuco, Chile. 80p.
- Cofré, B.P. & Soto, O.P. 1984. El sorgo: un recurso suplementario de verano. *Investigación y progreso agropecuario*. Quilamapu (Chile). 21: 23-29.
- Contreras, T.D. & Caviedes, E. 1977. Recursos forrajeros para el secano de la zona comprendida entre Aconcagua y Arauco. En Porte, F.E. (ed.) Producción de carne bovina. Editorial universitaria. Santiago, Chile. pp: 21-44.
- Cote, R.; Gerrath, M.; Poslusznzy, U. & Grodzinski, B., 1992. Comparative leaf development of conventional and semi-leafless peas (*Pisum sativum*). *Canadian Journal of Botany* 70(3): 571-580.
- Cranston, L.M.; Kenyon, P.R.; Morris, S.T. & Kemp, P.D., 2015. A review of the use of chicory, plantain, red clover and white clover in a sward mix for increased sheep and beef production. *Journal of New Zealand grasslands*. 77: 89-94.
- Crovetto, G.M.; Galassi, G.; Rapetti, L.; Sandrucci, A. & Tamburini, A. 1998. Effect of the stage of maturity on the nutritive value of whole crop wheat silage. *Livestock Production Science* 55:21-32 (1998).
- Crush, J.R. & Evans, J.P.M., 1990. Shoot growth and herbage element concentration of 'Grasslands Puna' chicory (*Chicorium intybus* L.) under varying soil pH. *Proceedings of the New Zealand grassland assessment*. 51: 163-166.
- Curtis, B. C.; Rajaram, S. & Gómez Macpherson, H., 2002. Bread wheat: improvement and production. Food and Agriculture Organization. Rome, Italy. 553p.
- David, D.B.; Nörnberg, J.L.; Azevedo, E.B.; Brünig, G.; Kessler, J.D. & Skonieski, F.R., 2012. Nutritional value of black and white oat cultivars ensiled in two phenological stages. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 39: 1409-1417.
- De la Puente, V.H. 1982. Evaluación preliminar de cultivares de maíz y sorgos forrajeros en la provincia de Osorno. Tesis para optar al título de ingeniero agrónomo. Facultad de agronomía. Pontificia universidad Católica de Chile. Santiago, Chile. 87p.
- De Ruiter, J.; Wilson, D.; Maley, S.; Fletcher, A.; Fraser, T.; Scott, W.; Berryman, S.; Dumbleton, A. & Nichol, W., 2009. Management practices for forage brassicas. Forage Brassica development group. Christchurch, New Zealand. 62p.
- Del Río, R.R., 1987. Efecto del nivel y parcialización de nitrógeno sobre el rendimiento y calidad de sorgo forrajero (*Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanense*) en Valdivia. Tesis para optar al título de ingeniero agrónomo. Facultad de ciencias agrarias. Universidad Austral de Chile. Valdivia. 54p.
- Demanet, F.R., 2014. Manual de especies forrajeras. Plan lechero Watt's. Corfo. Universidad de La Frontera. Imprenta América. Valdivia, Chile. 163p.
- Demanet, F.R., 2019. Manual de especies forrajeras. Plan lechero Watt's. Corfo. Universidad de La Frontera. CRP Impresores SPA. Concepción, Chile. 266p.
- Demanet, R.F. & García, D.J.C., 1992. Leguminosas anuales para producción de forraje suplementario. En: Latrille, L.L. & Balocchi, L.O. (eds.). Producción animal. Instituto de producción animal. Facultad de ciencias agrarias. Universidad Austral de Chile. Serie B-16. Valdivia, Chile. pp: 121-153.
- Demanet, R.F.; García, D.J.C.; Santander, E.J. & Contreras, D.R., 1991. Arveja forrajera: Nueva alternativa como forraje suplementario. *Investigación y progreso agropecuario* Carillanca. Temuco. 10(3): 22-27.
- Demarquilly, C. & Niqueux, M. 1978. A new perennial plant for silage? *Silphium perfoliatum* L. Bulletin Technique, Centre de Recherches Zootechniques et Vétérinaires de Theix 34: 25-30.
- Dennett, A. L.; Cooper, K. V. & Trethowan, R. M., 2013. The genotypic and phenotypic interaction of wheat and rye storage proteins in primary triticale. *Euphytica* 194: 235-242.
- Dietz, M.; Machill, S.; Hoffmann, H.C. & Schmidtke, K., 2013. Inhibitory effects of *Plantago lanceolata* L. on soil N mineralization. *Plant Soil*. 368: 445-458.
- Dowswell, Ch.R.; Paliwal, R.L. & Cantrell, R.P. 1996. Maize in the third world. Westview Press. Boulder, Colorado, USA. 268p.
- Dumont, J.C. & Lanuza, F. 1990. Producción y composición química de la avena (*Avena sativa* L.) en diferentes estados de desarrollo. *Agricultura Técnica* (Chile) 50:1-6.
- Dumont, L.J.C. 1987. Utilización de avena en producción de leche y carne. En: Latrille, L.L. & Balocchi, L.O. Conservación de forrajes. Instituto de producción animal. Facultad de ciencias agrarias. Universidad Austral de Chile. Serie B-12. Valdivia, Chile. pp: 322-337.
- Dumont, L.J.C.; Anrique, G.R. & Alomar, C. D. 2005. Efecto de dos sistemas de determinación de materia seca en la composición química y calidad del ensilaje directo de avena en diferentes estados fenológicos. *Agricultura Técnica* 65(4): 388-396.
- Edmisten, K.L.; Green, J.T.; Mueller, J.P. & Burns, J.C. 1998. Winter annual small grain forage potential. I. Dry matter yield in relation to morphological characteristics of four small grain species at six growth stages. *Communication Soil Science and Plant Analysis*. 29(7-8):867-879
- Eguiguren, L.H. 1954. Estudio de adaptación de sorgo en la provincia de caufín. Tesis para optar al título de ingeniero agrónomo. Pontificia universidad Católica de Chile. Facultad de agronomía. Santiago, Chile. 83p.
- Elizalde, V.H.F. & Gallardo, C.M., 2003. Evaluación de ensilajes de avena y cebada en la ganancia de peso de vaquillas en crecimiento. *Agricultura técnica* (Chile). 63 (4): 380-386.
- Elizalde, V.H.F. & Menéndez, V.A.M., 2004. Evaluación de ensilajes de cereales de grano pequeño, sobre la producción de leche de vacas overo colorado. *Agro Sur* 32(2): 54-59.
- Ellies, Sch.A., 1994. Limitantes físicas en la producción de forraje. En: Latrille, L.L. (ed.) Producción animal. Instituto de producción animal. Facultad de ciencias agrarias. Universidad Austral de Chile. Serie B-18. Acción gráfica S.A. Valdivia, Chile. pp: 23-38.
- Ellies, Sch.A.; MacDonald, R. & Ramírez, C. 1991. Efecto de las propiedades mecánicas del suelo en el desarrollo radicular en suelos rojo-arcillosos del centro sur de Chile. *Turrialba* 41(4): 496-499.
- Endo, Y. & Ohashi, H., 1996. The pollen morphology of *Vicia* (Leguminosae). *American Journal of Botany*, 83(8): 955-960.
- Eubanks, M.W. 2001. The mysterious origin of maize. *Economic Botany* 55(4): 492-514.

- Faiguenbaum, H.B., 1992. Producción de leguminosas hortícolas y maíces. Facultad de agronomía. Pontificia universidad católica de Chile. Santiago, Chile. 216p.
- Faiguenbaum, M.H. 2017. El cultivo del maíz. Impresora La discusión S.A. Chillán, Chile. 171p.
- FAO—FAOSTAT (Food and Agriculture Organization of the United Nations), 2018. Crops [Internet]. 2018. Disponible en: www.fao.org/faostat/en/#data/QC.
- Faria, A.T.; Ferrerira, E.A.; Rocha, P.R.R.; Silva, D.V.; Silva, A.A.; Fialho, C.M.T. & Silva, A.F. 2015. Effect of trinexapac-ethyl on growth and yield of sugarcane. *Planta daninha* 33(3): 491-497.
- Filya I, 2003. Nutritive value of whole crop wheat silage harvested at three stages of maturity. *Animal Feed Science and Technology* 103(1-4): 85-95.
- Finley, J.W.; Pallavicini, C. & Kohler, G.O., 1980. Partial isolation and characterisation of *Medicago sativa* leaf proteases. *Journal of the science of food and agriculture*. 31: 156-161
- Foster, J.G.; Cassida, K.A. & Turner, K.E., 2011. In vitro analysis of the anthelmintic activity of forage chicory (*Cichorium intybus* L.) sesquiterpene lactones against a predominantly *Haemonchus contortus* egg population. *Veterinary Parasitology*. 180: 298-306.
- Foster, J.G.; Clapham, W.M.; Belesky, D.P.; Labreux, M., Hall, M.H. & Sanderson, M.A., 2006. Influence of cultivation site on sesquiterpene lactone composition of forage chicory (*Cichorium intybus* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 54: 1772-1778.
- Fraser, M.D.; Fychan, R. & Jones, R., 2001. The effect of harvest date and inoculation on the yield, fermentation characteristics and feeding value of forage pea and field bean silages. *Grass Forage Science*, 56: 218-230.
- Fraser, T.J. & Rowarth, J.S., 1996. Legumes, herbs or grass for lamb performance. *Proceedings of the New Zealand grassland assessment*. 58: 49-52.
- Furman, B. J.; Qualset, C. O.; Skovmand, B.; Heaton, J. H.; Corke, H. & Wesenberg, D. M. 1997. Characterization and analysis of North American triticale genetic resources. *Crop Science* 37: 1951-1959.
- Gansberger, M.; Montgomery, L.F.R. & Liebhard, P., 2015. Botanical characteristics, crop management and potential of *Silphium perfoliatum* L. as a renewable resource for biogas production: A review. *Industrial crops and products*. 63: 362-372.
- Garcia, S.C.; Fulkerson, W.J. & Brookes, S.U., 2008. Dry matter production, nutritive value and efficiency of nutrient utilization of a complementary forage rotation compared to a grass pasture system. *Grass Forage Science*, 63: 284-300.
- García-Martínez de Lagrán, I. 2015. Recent data and approaches on the neolithization of the iberian peninsula. *European journal of archeology* 18(3): 429-453
- Genever, L. 2015. Using brassicas for better returns. Beef and sheep BRP manual 6. Agriculture and horticulture development board. Kenilworth, Warwickshire, United Kingdom. 13p.
- Gibbs, S.J. & Saldias B. 2014. Fodder beet in the New Zealand dairy industry. In: Proceedings of the annual conference of the south island dairy event, 23-25 June, Invercargill, New Zealand. pp. 237-246.
- Gibbs, S.J. & Saldias, B. 2014. Feeding fodder beet in New Zealand beef and sheep production. pp. 83-90. In: Proceedings of the society of sheep and beef veterinary association, 16-20 June, Hamilton, New Zealand.
- Gibbs, S.J. 2011. Fodder beet for wintering cows. In: Proceedings of the annual conference of the south island dairy event, June, Lincoln, New Zealand. pp. 230-238
- Gibbs, S.J.; Hodge, S.; Saldias, B.; Walsh, D.; Hastings, C.; Williams, N.; Davis, P.; Trotter, C.; de Ruiter, J.M.; Waugh, S. & Williams, D., 2015. Determining sources of variation in yield assessments of fodder beet crops in New Zealand: how many samples are needed?. *Agronomy New Zealand* 45: 55-68.
- Gowers, S. & Armstrong, S.D., 1994. A comparison of the yield and utilisation of six kale cultivars. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 37: 481-485.
- GRDC, 2018. GrowNotes: Cereal rye. Section 1. Planning and paddock preparation. Australian government. Grains research & development corporation. Canberra, Australia. 42p.
- Halberg, N.; Kristensen, E.S. & Kristensen, I.S., 1995. Nitrogen turnover on organic and conventional mixed farms. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*. 8: 30-51.
- Hall, M.H. & Kephart, K.D., 1991. Management of spring-planted pea and triticale mixtures for forage production. *Journal of Production Agriculture* 4: 213-218.
- Hamaker, B.R.; Mohamed, A.A.; Habben, J.E.; Huang, C.P. & Larkins, B.A. 1995. Efficient procedure for extracting maize and sorghum kernel proteins reveals higher prolamin contents than the conventional method. *Cereal Chemistry* 72: 583-588.
- Hanelt, P. & Mettin, D., 1989. Biosystematics of the genus *Vicia* L. (Leguminosae). *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 20: 199-223.
- Hargreaves, B.A., 1994. Uso de cereales de grano pequeño como planta completa en producción animal. Instituto de producción animal. Facultad de ciencias agrarias. Universidad Austral de Chile. Serie B-18. Valdivia, Chile. pp: 1-22.
- Harker, K.N.; Clayton, G.W. & Blackshaw, R.E., 2008. Comparison of leafy and semi-leafless pea for integrated weed management. *Weed Technology*, 22: 124-131.
- Harper, M. T.; Giallongo, J. O. F.; Roth, G. W. & Hristov, A. N. 2017. Inclusion of wheat and triticale silage in the diet of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 100(8): 6151-6163.
- Haymond, S.; Cariappa, R.; Eby, Ch S. & Scott, M. 2005. Laboratory assessment of oxygenation in methemoglobinemia. *Clinical Chemistry* 51 (2): 434-444
- Hazard, S.; Romero, O.; García, F.; Cañas, R.; Beratto, E.; Godoy, J.; Palacios, M.; Navarro, R. & Mardones, P., 2001. Evaluación de variedades de cebadas forrajeras (*Hordeum vulgare* L.) introducidas a Chile para alimentación de ganado vacuno lechero (Parte I: producción de forraje). En: García, F. & Cretton, P. (ed.) Resúmenes reunión anual de la sociedad chilena de producción animal. (Sochipa). 25-27 de julio. Santiago. Chile. pp: 412-413.

- Hegi, G., 1986. *Illustrierte Flora von Mitteleuropa*. 3a ed.. In: Conert, U. H.J.; Schultz-Motel, H.W. & Wagenitz, G. Tomo IV, Angiospermae - Dicotyledones. Parte 1. Parey, Berlin, Hamburgo. Alemania. 320p.
- Henry, C. 2000. Fodder beet. In: Bradshaw, J.E. (ed.) *Root and tuber crops*. Springer. New York, USA. pp: 221-243.
- Hoffman, P.C.; Esser, N.M.; Shaver, R.D.; Coblenz, W.K.; Scott, M.P.; Bodnar, A.L.; Schmidt, R.J. & Charley, R.C. 2011. Influence of ensiling time and inoculation on alteration of the starch-protein matrix in high-moisture corn. *Journal of Dairy Science* 94(5): 2465-2474.
- Høgh-Jensen, H.; Nielsen, B. & Thamsborg, S.M., 2006. Productivity and quality, competition and facilitation of chicory in ryegrass/legume-based pastures under various nitrogen supply levels. *European journal of agronomy*. 24: 247-256.
- Hondelmann, W., 1984. The lupin – ancient and modern crop plant. *Theoretical and Applied Genetics*. 68(1-2): 1-9.
- Honorato, P.R. 2000. *Manual de edafología*. Facultad de agronomía e ingeniería forestal. Ediciones universidad católica de Chile. Cuarta edición. Imprenta Salesianos S.A. Santiago, Chile. 241p.
- House, R. 1985. *Guide to sorghum breeding*. 2nd edition. International crops research institute for the semi-arid tropics. Patancheru, India. 206p.
- Hutton, P.G.; Kenyon, P.R.; Bedi, M.K.; Kemp, P.D.; Stafford, K.J.; West, D.M. & Morris, S.T., 2011. A herb and legume sward mix increased ewe milk production and ewe and lamb live weight gain to weaning compared to a ryegrass dominant sward. *Animal feed science technology*. 164: 1-7.
- Huyghe, Ch.; De Vlieghe, A., van Gils, B. & Peeters, A. 2014. *Grassland and herbivore production in Europe and effect of common policies*. Editions Quae. Versailles, France. 287p.
- Ide, S.G., 1986. Efecto de la fecha de siembra sobre la productividad del sorgo forrajero (*Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanense*) en Valdivia. Tesis para optar al título de ingeniero agrónomo. Facultad de ciencias agrarias. Universidad Austral de Chile. Valdivia. 48p.
- Izsaiki, Z. & Kádai, G.N., 2013. Biomass accumulation and nutrient uptake of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.). *American Journal of Plant Sciences*, 4: 1629-1640.
- Jablonski, B. & Koltowski, Z., 2005. Nectar secretion and honey potential of honey-plants growing under Poland's conditions – Part XV. *Journal of Apicultural Science*. 49: 59-63.
- Jedel, P.E. & Helrn, H., 1993. Forage potential of pulse-cereal mixtures in central Alberta. *Canadian journal of plant science*, 73: 437-444
- Jessop, R. S., 1996. Stress tolerance in newer triticales compared to other cereals. En: Guedes-Pinto, H.; Darvey, N. & Carnide, V.P. (ed) *Triticale: today and tomorrow. developments in plant breeding*. Springer. Dordrecht, Holland. 5: 419-427.
- Judson, H.G.; McNulty, R. & Sedcole, R., 2009. Evaluation of 'Ceres Tonic' plantain (*Plantago lanceolata*) as a lactation feed for twin-bearing ewes. *Proceedings of the New Zealand grassland association*, 71: 201-205.
- Jung, G.A.; Shaffer, J.A.; Varga, G.A. & Everhart, J.R., 1996. Performance of 'Grassland Puna' chicory at different management levels. *Agronomy journal*. 88: 104-111.
- Jurjanz, S. & Monteils, V. 2005. Ruminal degradability of corn forages depending on the processing method employed. *Animal Research* 54(1): 3-15.
- Kaiser, A.G.; Piltz, J.W., Burns, H.M. & Griffiths, N.W. 2004. *Successful Silage*. Dairy Australia NSW. Department of Primary Industries. New South Wales, Australia. 468p.
- Kato, Y.T.A.; Mapes, S.C.; Mera, O.L.M.; Serratos, H.J.A. & Bye, B.R.A., 2009. Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Editorial Impresora Apolo, S.A. de C.V. México, D.F., México. 116 pp.
- Kavanagh, V. & Hall, L., 2015. *Biology and biosafety*. En: Eudes, F.(ed) *Triticale*. Springer. Berlin, Germany. pp: 3-13.
- Kemp, D.R.; Michalk, D.L. & Goodacre, M., 2002. Productivity of pasture legumes and chicory in central New South Wales. *Australian journal of experimental agriculture*. 42: 15-25.
- Kennelly, J.J. & Weinberg, Z.G. 2003. Small grain silage. In: Buxton, D.R.; Muck, R.E. & Harrison, J.H. (eds). *Silage Science and Technology*, Agronomy 42. ASA, CSSA and SSSA, Inc., Madison, Wisconsin, United State. pp: 141-198.
- Ketterings, Q. M.; Swink, S. N.; Duiker, S. W.; Czymmek, K. J.; Beegle, D. B. & Cox, W. J., 2015a. Integrating cover crops for nitrogen management in corn systems on northeastern U.S. dairies. *Agronomy Journal* 107(4): 1365-1376.
- Ketterings, Q.M.; Ort, S.; Swink, S.N.; Godwin, G.; Kilcer, T.; Miller, J. & Verbeten, W. 2015b. Winter cereals as double crops in corn rotations on new york dairy farms. *Journal of Agricultural Science* 7(2): 18-25.
- Khorasani, G. R.; Jedel, P. E.; Helm, J. H. & Kennelly, J. J. 1997. Influence of stage of maturity on yield components and chemical composition of cereal grain silages. *Canadian veterinary journal* 77(2): 259-267.
- Khorasani, G.R. & Kennelly, J.J. 1997. Optimizing cereal silage quality. *Advanced Dairy Science and Technology* 9: 249-272
- Khorasani, G.R.; Okine, E.K.; Kennelly, J.J. & Helm, J.H. 1993. Effect of whole crop cereal grain silage substituted for alfalfa silage on performance of lactating dairy cows. *Journal Dairy Science* 76: 3536-3546.
- Khvostova, V.V., 1983. *Genetics and breeding of peas*. Oxonian press. London, England. 293p.
- Klein, F.; Elizalde, F.; Lanuza, F. Parga, J. & Meyer, F. 1990. Prospección de rendimiento y calidad de ensilajes de maíz en la zona sur. Informe técnico programa de producción de leche. Estación Experimental Remehue. INIA. Osorno, Chile. pp: 59-71.
- Kleinschmit, D.H. & Kung Jr, L., 2006. A meta-analysis of the effects of *Lactobacillus buchneri* on the fermentation and aerobic stability of corn and grass and small-grain silages. *Journal Dairy Science*. 89: 4005-4013
- Kosaric, N.; Cosentino, G.P.; Wiczorek, A. & Duvnjak, Z., 1984. The Jerusalem artichoke as an agricultural crop. *Biomass*, 5: 1-36.
- Kowalski, R. & Wiercinski, J., 2004. Evaluation of chemical composition of some *Silphium* L. species seeds as alternative foodstuff raw

materials. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*. 13/54: 349–354.

Kozloski, G.V.; Cadorin R.L. Jr.; Härter, C.J.; Oliveira, L., Alves, T.P.; Mesquita, F.R. & Castagnino, D.S. 2009. Effect of supplemental nitrogen source and feeding frequency on nutrient supply to lambs fed a kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum*) hay-based diet. *Small Ruminant Research* 81: 112–118

Kristensen, V.F., 1992. The production and feeding of whole-crop cereals and legumes in Denmark. In: Stark, B.A. & Wilkinson, J.M. (Eds.), *Whole-Crop Cereals*, 2nd edition. Chalcombe Publications, Kingston, Kent, United Kingdom. pp: 21–37.

Kullmer, N.K., 1987. Efecto del nivel y parcialización de nitrógeno sobre el rendimiento y calidad de sorgo forrajero variedad Funk's 192F (*Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanense*) en Valdivia. Tesis para optar al título de ingeniero agrónomo. Facultad de ciencias agrarias. Universidad Austral de Chile. Valdivia. 48p.

Kupicha, F.K., 1977. The delimitation of the tribe *Vicieae* and the relationships of *Cicer* L. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 74: 131-162.

Kurlovich, B.S., 2002. The history of lupin domestication. Chapter 5. In: Kurlovich, B.S. (ed.) *Lupins geography, classification, genetic resources and breeding*. OY International North Express. St. Petersburg, Russia – Pellosniemi, Finland. pp: 147-164.

Labreux, M.; Sanderson, M.A. & Hall, M.H., 2006. Forage chicory and plantain: nutritive value of herbage at variable grazing frequencies and intensities. *Agronomy journal*. 98: 231–237.

Lancashire, J.A. & Brock, J.L., 1983. Management of new cultivars for dryland. *Proceedings of the New Zealand grassland association*. 44: 61–73.

Lange, W.; Brandenburg, W.A. & de Bock, T.S.M., 1999. Taxonomy and cultonony of beet (*Beta vulgaris* L.). *Botanical Journal of the Linnean Society* 130(1): 81–96.

Lanuza, F., 2011. Suplementos Alimenticios. En: Pulido, R.; Parga, J.; Lanuza, F. & Balocchi, O. (eds.). *Suplementación de vacas lecheras a pastoreo*. Consorcio Tecnológico de la Leche S.A. Osorno, Chile. pp. 21-48.

Li, R., Zhang, H., Zhou, X., Guan, Y., Yao, F., Song, G., Wang, J., Zhang, C., 2010. Genetic diversity in Chinese sorghum landraces revealed by chloroplast simple sequence repeats. *Genetic resources and crop evolution*. 57: 1–15.

Listman, G.M. & Estrada, F.P., 1992. Mexican prize for the giant maize of Jala: source of community pride and genetic resources conservation. *Diversity* 8: 14-15.

Liu, W.; Maurer, H.P.; Leiser, W.; Tucker, M.R.; Weissmann, S.; Hahn, V. & Würschum, T., 2017. Potential for marker-assisted simultaneous improvement of grain and biomass yield in triticale. *Bioenergy Research* 10(2): 449-455.

Liua, Beiyi; Huana, Hallin; Gua, Hongru; Xua, Nengxiang; Shen, Qin & Ding, Chenlong, 2019. Dynamics of a microbial community during ensiling and upon aerobic exposure in lactic acid bacteria inoculation-treated and untreated barley silages. *Bioresource Technology* 273: 212–219.

López Bellido, L. 1991. Cereales: Cultivos Herbáceos. Vol I. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 539p.

López, J.R., 1991. Breeding forage and dual purpose triticale in Bordenave, Argentina. In: *Proceedings of the 2nd Int. Triticale Symposium*, 1-5 October 1990, Passo Fundo, Brazil. CIMMYT, pp. 161-163.

Lunnan, T. 1989. Barley-pea mixtures for whole crop forage. Effects of different cultural practices on yield and quality. *Norwegian Journal of Agricultural Science*, 3: 57-71.

Luo, J.; Balvert, S.F.; Wise, B.; Weltena, B.; Ledgarda, S.F.; de Klein, C.A.M.; Lindsey, S. & Judge, A., 2018. Using alternative forage species to reduce emissions of the greenhouse gas nitrous oxide from cattle urine deposited onto soil. *Science of the total environment*. 610–611: 1271–1280.

Luo, J.; Sun, X.Z.; Pacheco, D.; Ledgard, S.F.; Lindsey, S.B.; Hoogendoorn, C.J.; Wise, B. & Watkins, N.L., 2015. Nitrous oxide emission factors for urine and dung from sheep fed either fresh forage rape (*Brassica napus* L.) or fresh perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). *Animal*, 9: 534–543.

Mackay, A.D., 2008. Impacts of intensification of pastoral agriculture on soils: current and emerging challenges and implications for future land uses. *New Zealand Veterinary Journal*, 56: 281–288.

Malagoli, P.; Laine, P.; Rossato, L. & Ourry, A., 2005. Dynamics of nitrogen uptake and mobilization in field-grown winter oilseed rape (*Brassica napus*) from stem extension to harvest. I. Global N flows between vegetative and reproductive tissues in relation to leaf fall and their residual. *N. Annals Botany*, 95: 853–861.

Malmberg, A. & Theander, O., 1986. Differences in chemical composition of leaves and stems in Jerusalem artichoke and changes in low-molecular sugar and fructans content with time of harvest. *Swedish Journal of Agricultural Research*. 16: 7–12.

Mangelsdorf, P.C. & Reeves, R.G. 1959. The origin of corn. I. Pod corn, the ancestral form. Harvard University. Botanical Museum Leaflets. 18(7): 329-355.

Mangelsdorf, P.C. & Reeves, R.G. 1959. The origin of corn. IV. Place and time of origin. Harvard University. Botanical Museum Leaflets. 18(10): 413-439.

Mangelsdorf, P.C. & Reeves, R.G. 1959. The origin of corn. III. Modern races, the product of teosinte introgression. Harvard University. Botanical Museum Leaflets. 18(9): 389-411.

Mangelsdorf, P.C., 1961. Introgression in maize. *Euphytica* 10:157-168.

Maroto, J., 1992. El cultivo de las leguminosas horticolas. En: Cubero, J. & Moreno, M. (eds.) *Leguminosas de grano*. Ediciones Mundi – Prensa. Madrid, España. pp: 95-121.

Martínez-Moreno, F.; Igartua, E. & Solís, I. 2017. Barley types and varieties in Spain: A historical overview. *Ciencia e investigación agraria* 44(1):12-23.

Mathei, S.F., 1987. Efecto del sistema de utilización sobre el rendimiento y calidad del sorgo forrajero (*Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanense*) en Valdivia. Tesis para optar al título de ingeniero agrónomo. Facultad de ciencias agrarias. Universidad Austral de Chile. Valdivia. 82p.

Matsuoka, Y.; Vigouroux, Y.; Goodman, M.M.; Sánchez, J.J.; Buckler, G.E. & Doebley, J. 2002. A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 99 (6): 6080-6084.

- Matthei, O; Matthei, J.; Marticorena, C. & Rodríguez, R. 1995. Manual de malezas que crecen en Chile. Alfabeta Impresiones. Santiago, Chile. 545 p
- Matthiessen, J.N. & Kirkegaard, J.A., 2006. Biofumigation and enhanced biodegradation: opportunity and challenge in soilborne pest and disease management. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 25: 235–265.
- McAllister, T.A.; Selinger, L.B.; McMahon, L.R.; Bae, H.D.; Lysyk, T.J.; Oostling, S.J. & Cheng, K.J. 1995. Intake, digestibility and aerobic stability of barley silage inoculated with mixtures of *Lactobacillus plantarum* and *Enterococcus faecium*. *Canadian Journal Animal Science* 75: 425–432.
- McDonald, G. K., 2003. Competitiveness against grass weeds in field pea genotypes. *Weed Research*. 43: 48–58.
- McDonald, P.; Henderson, N. & Heron, S., 1991. The Biochemistry of Silage, second ed. Chalcombe Publications, Marlow, United Kingdom.
- McKersie, B.D., 1985. Effect of pH on proteolysis in ensiled legume forage. *Agronomy Journal*. 77: 81–86.
- McQueen E.R. & Fillmore E.A. 1991. Effects of triticale (cultivar Beaguelita) and barley-based concentrates on feed intake and milk yield by dairy cows. *Canadian Journal of Animal Science*. 71: 845-853.
- Mera, 1989. Producción y mecanizada de arveja de grano seco. En: Mera M.M. (ed). V Seminario nacional de leguminosas de grano. Estación Experimental Carillanca. Instituto de investigaciones agropecuarias. Temuco, Chile. pp: 153-181.
- Mera, M.K., 2016. Lupino dulce y amargo producción en Chile. Instituto de investigaciones agropecuarias. Boletín INIA N° 326. Temuco, Chile. 121p.
- Mergoum, M.; Singh, P.K.; Anderson, J.A.; Peña, R.J.; Singh, R.P.; Xu, S.S. & Ransom, J.K., 2009. Spring wheat breeding. En: Carena, M.J. Cereal. Handbook of plant breeding. Springer, New York, NY. USA. pp:127-156.
- Mergoum, M. & Macpherson, H. G., 2004. Triticale Improvement and Production. Plant production and protection paper 179. Food & Agriculture Organization. Rome, Italy. 154 p.
- Minneé, E.M.K.; Clark, C.E.F. & Clark, D.A., 2013. Herbage production from five grazable forages. *Proceedings New Zealand grassland association*. 75: 245–250.
- Minneé, E.M.K.; Waghorn, G.C.; Leea, J.M. & Clark, C.E.F., 2017. Including chicory or plantain in a perennial ryegrass/white cloverbased diet of dairy cattle in late lactation: Feed intake, milk production and rumen digestion. *Animal feed science and technology* 227: 52–6.
- Miracle, M.P., 1965. The introduction and spread of maize in africa. *The Journal of African History* 6(1): 39–55.
- Moate, P.; Dalley, D.; Martin, K. & Grainger, C., 1998. Milk production responses to turnips fed to dairy cows in mid lactation. *Australian journal of experimental agriculture*. 38: 117-123.
- Moate, P.; Dalley, D.; Roche, J.; Grainger, C.; Hannah, M. & Martin, K., 1999. Turnips and protein supplements for lactating dairy cows. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 39: 389-400.
- Molina, J., 1989. La cebada. Ministerio de agricultura, pesca y alimentación. Ediciones Mundi prensa. Madrid. España. 256p.
- Montemayor, T.J.; Suárez, G.E.; Munguía, L.J.; Mendoza, V.R., Segura, C.M.A. & Woo, R.J., 2018. Acolchados plásticos para la producción de maíz (*Zea mays* L.) forrajero en la Comarca Lagunera. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 20: 4107-4115.
- Monti, A.; Amaducci, M.T. & Venturi, G., 2005. Growth response, leaf gas exchange and fructans accumulation of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) as affected by different water regimes. *European Journal of Agronomy*. 23: 136–145.
- Mook, J.; Haec, J.; Toorn, J. & Tienderen, P., 1989. Comparative demography of *Plantago*. I. Observations on eight populations of *Plantago lanceolata*. *Acta botanica Neerlandica*. 38: 67–78.
- Moorhead, A.J.E. & Piggot, G.J., 2009. The performance of pasture mixtures containing ‘Ceres Tonic’ plantain (*Plantago lanceolata*) in Northland. *Proceedings New Zealand grassland association*. 71: 195–199.
- Mora, G.M.; Demanet, F.R.; García D.J.C. & Barvo, E.S., 2000. Manejo del cultivo de topinambur. Informe técnico 1997/1998. Proyecto FONDEF D9611014. Instituto de agroindustria. Universidad de La Frontera. Temuco, Chile. 70p.
- Morra, M.J. & Kirkegaard, J.A., 2002. Isothiocyanate release from soil-incorporated brassica tissues. *Soil Biology and Biochemistry*, 34: 1683–1690.
- Muck, R.E., 1988. Factors influencing silage quality and their implications for management. *Journal of dairy science*. 71: 2992–3002.
- Mu-Forster, C. & Wasserman, B.P. 1998. Surface localization of zein storage proteins in starch granules from maize endosperm: Proteolytic removal by thermolysin and in vitro cross-linking of granule-associated polypeptides. *Plant Physiology* 116: 1563–1571.
- Mustafa, A.F.; Christensen, D.A. & McKinnon, J.J., 2000. Effects of pea, barley, and alfalfa silage on ruminal nutrient degradability and performance of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 83: 2859–2865.
- Nadeau, E. 2007. Effects of plant species, stage of maturity and additive on the feeding value of whole-crop cereal silage. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 87: 789–801.
- Nagel, S.A. & Broderick, G.A., 1992. Effect of formic acid or formaldehyde treatment of alfalfa silage on nutrient utilization by dairy cows. *Journal of dairy science*. 75:140–154.
- Neumann, K.F., 1983. Producción de forraje verde en verano de arveja y chícharos. Tesis para optar al título de ingeniero agrónomo. Facultad de ciencias agrarias. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 42p.
- Neumerkel, W. & Martin, B., 1982. Silphium (*Silphium perfoliatum* L.) – a new feedplant. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 26: 261–271.
- Nie, Z.; Miller, S.; Moore, G.; Hackney, B.; Boschma, S.; Reed, K.; Mitchell, M.; Albertsen, T.; Clark, S. & Craig, A., 2008: Field evaluation of perennial grasses and herbs in southern Australia. 2. Persistence, root characteristics and summer activity. *Australian journal of experimental agriculture*, 48: 424–435.
- Niqueux, M., 1981. A new forage plant: *Silphium perfoliatum* L. *Fourrages*. 87:119–136.

- Oenema, O., Wrage, N., Velthof, G.L., Van Groenigen, J.W., Dolfig, J., Kuikman, P.J., 2005. Trends in global nitrous oxide emissions from animal production systems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 72: 51–65.
- Olivares, E.A.; Yung, L.C. & Contreras, T.D. 1984. Posibilidades del sorgo (*Sorghum bicolor* (Linn) Moench) como recurso forrajero suplementario para el secano costero, comuna La Unión, X Región. *Avances en producción animal*. 9(1-2): 29-41.
- Opazo, R. 1932. Agricultura. Monografía cultural de plantas agrícolas. Cereales y plantas escardadas, horticulura. Tomo II. Imprenta Cervantes, Santiago, Chile. pp:434 – 465.
- Oscá Lluich, J.M., 2007. Cultivos herbáceos extensivos: cereales. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España. 254p.
- Owens, F.N.; Zinn, R.A. & Kim, Y.K. 1986. Limits to starch digestion in the ruminant small intestine. *Journal Animal. Science* 63:1634–1648.
- Pahlow, G.; Muck, R.E.; Driehuis, F.; Oude-Elferink, S.J.W.H. & Spoelstra, S.F., 2003. Microbiology of ensiling. In: Buxton, D.R.; Muck, R.E. & Harrison, J.H. (Eds.), *Silage Science and Technology*. American Society of Agronomy, Madison, WI, United State. pp. 31–93.
- Paine, S.J., 2007. Efecto de la época de cosecha en el rendimiento y calidad de cinco cultivares de cebada (*Hordeum vulgare* L.) para ensilaje. Tesis para optar al título de ingeniero agrónomo. Facultad de ciencias agropecuarias y forestales. Universidad de La Frontera. Temuco, Chile. 53p.
- Papastilianou, I., 1990. Response of pure stands and mixtures of cereals and legumes to nitrogen fertilization and residual effect on subsequent barley. *Journal of Agricultural Science*. 115: 15-22.
- Papi, N.; Kafizadeh, F. & Fazacli, H. 2019. Use of Jerusalem artichoke aerial parts as forage in fat-tailed sheep diet. *Small Ruminant Research*, 174: 1–6.
- Papi, N.; Kafizadeh, F. & Fazacli, H., 2014. Yield, composition and digestibility of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) at different harvesting stages. *Journal of Animal Production Advances*. 17(2): 335–345.
- Pardo de Santayana, M.; Morales R.; Aceituno, I. & Molina, M. 2014. Inventario español de los conocimientos tradicionales relativos a la biodiversidad agrícola. Ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente secretaría general técnica centro de publicaciones. Impresión Monterreín. Madrid, España. 413p.
- Parga, J.; Barrientos, L.; Pulido, R.; Canto, F.; Lanuza, F.; Balocchi, O. & Uribe, C., 2010. Suplementación estival de vacas lecheras a pastoreo con Nabo forrajero (*Brassica rapa* L.): Respuesta productiva. En: Hepp, K.Ch. (ed.) Libro de resúmenes XXXV congreso de la sociedad chilena de producción animal. Coyhaique, Chile. pp: 117-118.
- Parga, J.; Lanuza, F.; Pulido, R.; Balocchi, O.; Canto, F.; Campo, S. & Uribe, C., 2009. Suplementación estival de vacas lecheras a pastoreo con Nabo forrajero (*Brassica rapa* L.). En: Alfaro, M. (ed.). Libro de resúmenes XXXIV congreso de la sociedad chilena de producción animal. Pucón, Chile. pp: 73-74
- Parga, M.J. & Torres, B.A., 1993. Cultivos forrajeros para sistemas lecheros. En: Lanuza, F. & Bortolameolli, G. (ed.). II Seminario: Aspectos técnicos y perspectivas de producción de leche. Estación Experimental Remehue. INIA. Serie Remehue N°33. Osorno, Chile. pp: 49-78.
- Parodi, B.O. & Altamirano, S.S. 1995. El cultivo el maíz. Centro regional La Platina. Instituto de investigaciones agropecuarias. Santiago. Chile. 173p.
- Passalacqua, R.G., 1984. Ensayo en diferentes asociaciones de arveja y avena para forraje verde de verano en la zona de Valdivia. Tesis para optar al título de ingeniero agrónomo. Facultad de ciencias agrarias. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 51p.
- Pembleton, K.G.; Hills, J.L.; Freeman, M.J.; McLaren, D.K.; French, M. & Rawnsley, R.P., 2016. More milk from forage: milk production, blood metabolites, and forage intake of dairy cows grazing pasture mixtures and spatially adjacent monocultures. *Journal Dairy Science*. 99: 1–17.
- Pichard, D.G., 1995. El silfo (*Silphium perfoliatum* L.). Boletín técnico. Departamento de zootecnia. Facultad de agronomía. Pontificia universidad católica de Chile. Santiago, Chile. 15p.
- Pichard, D.G., 2012. Management, production, and nutritional characteristics of cup-plant (*Silphium perfoliatum*) in temperate climates of southern Chile. *Ciencia Investigación Agraria*, 39(1):61-77.
- Pichard, G. & Águila, J.C., 1983. Cultivos forrajeros suplementarios. Gerencia de desarrollo de la corporación de fomento de la producción. Facultad de agronomía. Pontificia universidad católica de Chile. Santiago, Chile. 31p.
- Pichard, G., 1986. Sorgo forrajero. *El Campesino* (Chile). 117(12): 40-46.
- Pichard, G.; Cussen, R. & Sánchez, F., 1988. *Silphium perfoliatum* L.: un nuevo recurso forrajero de verano para la zona sur. *Ciencia Investigación Agraria*. 15: 101-106.
- Pirhofer-Walzl, K.; Soegaard, K.; Høgh-Jensen, H.; Eriksen, J.; Sanderson, M.A. & Rasmussen, J., 2011. Forage herbs improve mineral composition of grassland herbage. *Grass Forage Science*. 66: 415–423.
- Polhill, R.M. & Raven P.H., 1981. Advances in legume systematics. Parts 1 & 2. The royal botanic gardens, Kew. Richmond, England. 1049p.
- Quappe, M.M., 1985. Evaluación de cultivares y líneas de arveja asociadas con avena para producción de forraje de verano. Tesis para optar al título de ingeniero agrónomo. Facultad de ciencias agrarias. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 42p.
- Ramírez-Restrepo, C.A. & Barry, T.N. 2005. Alternative temperate forages containing secondary compounds for improving sustainable productivity in grazing ruminants. *Animal Feed Science and Technology*. 120: 179–201.
- Randhawa, H.; Bona, L. & Graf, R., 2015. Triticale breeding—progress and prospect. En: Eudes, F. (ed). Triticale. Springer. New York, United State. pp: 15–32.
- Rattanasomboona, T.; Westerb, T.J.; Smitha, S.L. & Morel, P.C.H., 2019. Nutritive value of plantain and chicory for pigs. *Livestock Science* 223: 8–15.
- Resende, P.A.P.; Soares, J.E. & Hudetz, M., 2001. Moddus, a plant growth regulator and management tool for sugarcane production in Brazil. *International Sugar Journal* 102(1225): 5-9.
- Robledo, F. & Martín, L. 1988. Aplicación de los plásticos en la agricultura. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 573 p.
- Robson, S., 2007. Prussic acid poisoning in livestock. NSW Department of Primary Industries. New South Wales. Australia. *Primefact* 417: 1-3.

- Rodríguez, R.; Marticorena, C.; Alarcón, D.; Baeza, C.; Cavieres, L.; Finot, V.; Fuentes, N.; Kiessling, A.; Mihoc, M.; Pauchard, A.; Ruiz, E.; Sanchez, P. & Marticorena, A., 2018. Catálogo de las plantas vasculares de Chile. *Gayana Botánica*, 75(1): 1-430
- Rodríguez, R.; Suazo, C.; Balocchi, O. & Alomar, D., 2019. Milk production and quality from ewes grazing a plantain-chicory mixture or a grass-based permanent sward. *Small ruminant research*. 170: 91–96.
- Rojas, C.; Catrileo, A. & Letelier, A. 1991. Niveles de triticale en raciones de engorda de novillos Hereford. *Agricultura Técnica* (Chile) 51(1): 9-14.
- Rojas, G.C. & Catrileo, S.A., 2000. Evaluación de ensilaje de cebada en tres estados de corte en la engorda invernal de novillos. *Agricultura técnica* (Chile) 60(4): 370-378.
- Rojas, G.C.; Catrileo, S.A.; Martínez, B.M. & Calabi, F.F., 2004. Evaluación de la época de corte de triticale (x *Triticosecale* Wittmack) para ensilaje. *Agricultura técnica* (Chile) 64(1):34-40.
- Romero, O.; Rojas, C.; Butendieck, N. & Hazard, S., 1999. Producción de materia seca y calidad nutritiva de tres especies de cereales: avena, cebada y triticale para ensilaje. Resúmenes de la XXIV reunión anual de la sociedad chilena de producción animal (Sochipa). 27-29 octubre. Temuco, Chile. pp: 49-50.
- Romero, Y.O.; Hazard, T.S.; Márquez, M.M.G. & Hiriart, L.M., 1993. Evaluación agronómica de dos especies de lupino *Lupinus albus* y *Lupinus mutabilis* como alternativas de forraje suplementario en secano. *Agricultura técnica* (Chile). 53(3): 303-309.
- Rondahl, T.; Bertilsson, J. & Martinsson, K., 2011. Effects of maturity stage, wilting and acid treatment on crude protein fractions and chemical composition of whole crop pea silages (*Pisum sativum* L.). *Animal feed science and technology*. 163: 11–19.
- Rosales, L.J.C. 1999. El cultivo de la cebada (*Hordeum vulgare*) y sus principales Plagas y Enfermedades. Monografía. Universidad autónoma agraria Antonio Narro. División de agronomía. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 91p.
- Royo, C.; Insa, J.A.; Boujenna, A.; Ramos, J.M.; Montesinos, E. & Garía del Moral, L.F. 1994. Yield and quality of spring triticale used for forage and grain as influenced by sowing date and cutting stage. *Field Crops Research* 37: 161-168.
- Royo, C.; Montesinos, E.; Molina-Cano, J.L. & Serra, J., 1993. Triticale and other small grain cereals for forage and grain in Mediterranean conditions. *Grass Forage Science* 48(1):11-17.
- Rumball, W., 1986. 'Grasslands Puna' chicory (*Cichorium intybus* L.). *New Zealand journal of experimental agriculture*. 14: 105–107.
- Saggar, S.; Tate, K.R.; Giltrap, D.L. & Singh, J., 2008. Soil-atmosphere exchange of nitrous oxide and methane in New Zealand terrestrial ecosystems and their mitigation options: a review. *Plant Soil*, 309: 25–42.
- Salawu, M.B.; Adesogan, A.T.; Weston, C.N. & Williams, S.P., 2001. Dry matter yield and nutritive value of pea/wheat bi-crops differing in maturity at harvest, pea to wheat ratio and pea variety. *Animal Feed Science and Technology*. 94: 77–87.
- Salcedo, D.G., 1998. Valor nutritivo y degradabilidad ruminal de *Avena sativa* y *Vicia sativa*. *Pastos*, 28 (1): 71 -85.
- Salinas, A. 1996. Influencia de la época de siembra sobre el rendimiento y calidad física del grano de tres líneas avanzadas de cebadas invernales y alternativas (*Hordeum vulgare* L.). Tesis para optar al título de ingeniero agrónomo. Facultad de ciencias agropecuarias y forestales. Universidad de La Frontera. Temuco, Chile. 50p.
- Santini, B.M., 1995. Productividad y calidad de la mezcla *Pisum sativum*/*Avena sativa* en asociación con *Lolium perenne* o *Lolium multiflorum* en el secano de la IX Región. Tesis para optar al título de ingeniero agrónomo. Facultad de ciencias agropecuarias y forestales. Universidad de La Frontera. Temuco, Chile.
- Sarrantonio, M. 1994. Northeast Cover Crop Handbook. Soil Health Series. Rodale Institute, Kutztown, Pennsylvania, Estados Unidos. 118P.
- Sarrantonio, M. and E. Gallandt. 2003. The role of cover crops in North American cropping systems. *Journal of Crop Production* 8:53-74.
- Sharma, N. & Koul, A.K., 1995. Reproductive strategies in weeds - *Plantago major*, *P. lanceolata* and their cultivated ally *P. ovata*. *Biological Sciences*, 61(6):471-478.
- Shepherd, T. & Davies, H.V., 1993. Carbon loss from the roots of forage rape (*Brassica napus* L.) seedlings following pulse-labelling with $^{14}\text{CO}_2$. *Annals of Botany*, 72: 155 - 163.
- Silva, F.J. & Correa, B.C., 1969. Establecimientos de forrajeras perennes. Región centro – norte de riego. Coquimbo a Curicó. Servicio agrícola y ganadero. Central de divulgación técnica. Instituto de investigaciones agropecuarias. Estación Experimental La Platina. Boletín técnico N°46. Santiago, Chile. 68p.
- Slimestad, R.; Seljaasen, R.; Meijer, K. & Skar, S.L., 2010. Norwegian-grown Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.): morphology and content of sugars and fructooligosaccharides in stems and tubers. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 90: 956–964.
- Snyder, A.J.; Johnson-Maynard, J.L. & Morra, M.J., 2010. Nitrogen mineralization in soil incubated with ^{15}N -labeled Brassicaceae seed meals. *Applied Soil Ecology*, 46: 73–80.
- Sokolov, V.S. & Gritsak, Z.I., 1972. *Silphium* – a valuable fodder and nectariferous crop. *World Crops*, 24: 299–301.
- Somasiri, S.C.; Kenyon, P.R.; Kemp, P.R.; Morel, P.C.H. & Morris, S.T., 2016. Is plantain (*Plantago lanceolata* L.), chicory (*Cichorium intybus* L.) and clover mixtures effective on weaned lamb growth? *Tropical Agricultural Research*, 27(3): 217–228.
- Soto, O.P.; Figueroa, R.M. & Martínez, R.C., 1984. Frecuencia e intensidad de utilización de un híbrido de sorgo x pasto sudan en suelos arroceros (Ñuble, VII Región). *Agricultura técnica* (Chile). 44(3): 237-243.
- Soto, P., 1988. Forrajes suplementarios de invierno y verano. En: Ruíz, I. Praderas para Chile. Instituto de investigaciones Agropecuarias. Ministerio de Agricultura. Santiago, Chile. pp: 109 – 137.
- Stace, C.A., 1987. Triticale: a case of nomenclatural mistreatment. *Taxon* 36(2): 445-452.
- Stace, C.A., 1997. New flora of the British Isles. Cambridge university press. Cambridge, United Kingdom. 89p.
- Stanford, G., 1990. *Silphium perfoliatum* (cup-plant) as a new forage. In: Smith, D.D. & Jacobs, C.A. (eds.). Recapturing a Vanishing Heritage. Presented at the 12th North American Prairie Conference. University of Northern Iowa, Cedar Falls. pp: 33–38.

- Staples, C. R.; Fernando, R. L.; Fahey Jr., G. C.; Berger, L. L. & Jaster, E. H. 1984. Effects of intake of a mixed diet by dairy steers on digestion events. *Journal of Dairy Science* 67:995-1006
- Stehr, W.W., 1987. Ensilaje de maíz en producción de leche y carne. En: Latrille, I.L. & Balocchi (eds.). Conservación de forrajes. Instituto de producción animal. Facultad de ciencias agrarias. Universidad Austral de Chile. Seri B-12. Valdivia, Chile. pp: 338-351.
- Stépanoff, Ch. & Vigne J.D. 2018. Hybrid communities. Biosocial approaches to domestication and other trans-species relationships. Routledge, Taylor & Francis group. 1st Edition. London, United Kingdom. 306p.
- Sun, X.Z.; Waghorn, G.C.; Hoskin, S.O.; Harrison, S.J.; Muetzel, S. & Pacheco, D., 2012. Methane emissions from sheep fed fresh brassicas compared to perennial ryegrass. *Animal feed science technology*, 176: 107–116.
- Sundberg, M.D. & Orr, A.R. 1986. Early inflorescence and floral development in *Zea diploperennis*, diploperennial teosinte. *American Journal of Botany* 73(12): 1699-1712.
- Tamura, Y. & Nishibe, S., 2002. Changes in the concentrations of bioactive compounds in plantain leaves. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 50: 2514–2518.
- Tari, I.; Laskay, G.; Takacs, Z. & Poor, P., 2013. Response of sorghum to abiotic stress: A review. *Journal of agronomy and crop science* 199: 264–274.
- Tassoni, A.; Bagni, N.; Ferri, M.; Franceschetti, M.; Khomutov, A.; Marques, M.P.; Fiuza, S.M.; Simonian, A.R. & Serafini, F.D., 2010. *Helianthus tuberosus* and polyamine research: past and recent applications of a classical growth model. *Plant Physiology and Biochemistry*. 48(7): 496–505.
- Teuber, K.N. 2000. El triticale como recurso forrajero en la X región. En: Granger, D.; Hazard, S.; Hewstone, C.; Rojas, C.; Romero, O. & Teuber, N. (Editores). El triticale en el sur de Chile. Boletín INIA N°12. Instituto de investigaciones agropecuarias. Centro regional Carillanca. Temuco, Chile. pp: 29-32.
- Teuber, N., 1985. Cultivo y utilización de la col forrajera. Programa praderas. Centro regional de investigación Remehue. Instituto de investigaciones agropecuarias. Ministerio de agricultura. Boletín técnico N° 61 (11 re.). Osorno, Chile. 32p.
- Teuber, N.; Goic, L. & Navarro, H., 2000. Fechas de siembra, acumulación de materia seca y calidad bromatológica de cebada para ensilaje. Evaluación agronomica. Resúmenes de la XXV reunión anual de la sociedad chilena de producción animal (Sochipa). 18 a 20 de octubre. Puerto Natales, Chile. pp: 69-70
- Teuber, N.; Navarro, H.; Goic, L. Angulo, L., 2001. Distintas fechas de siembra, acumulación de materia seca y calidad bromatológica de cebada para ensilaje. En: García, F. & Cretton, P. (ed.) Resúmenes reunión anual de la sociedad chilena de producción animal. (Sochipa). 25-27 de julio. Santiago. Chile. pp 446-447
- Thomas, H., 1992. Cytogenetics of Avena. In: Marshall, H.G. & Sorrells, M.E. (eds.) Oat science and technology. Agronomy Monograph N° 33. American Society of Agronomy and Crop Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA. pp: 473-507.
- Troncoso, R.V., 2004. Producción de la asociación *Lolium hybridum* (*Lolium perenne* x *Lolium multiflorum*), *Trifolium pratense* L. y *Cichorium intybus* L. en el secano de la IX Región. Tesis para optar al título de ingeniero agrónomo. Facultad de ciencias agropecuarias y forestales. Universidad de La Frontera. Temuco, Chile. 46p.
- Turner, K.E.; Belesky, D.P. & Fedders, J.A., 1999. Chicory effects on Lamb weight gain and rate of in vitro organic matter and fiber disappearance. *Agronomy Journal*. 91: 445–450.
- Vagnoni, D.B.; Broderick, G.A. & Muck, R.E., 1997. Preservation of protein in wilted lucerne using formic, sulphuric or trichloroacetic acid. *Grass forage science*. 52: 5–11.
- Vanderwerff, L.; Ferraretto, L.; Salvati, G. & Shaver, R. 2014. Update on Corn Shredlage for Dairy Cows. *Focus on forage* 16(4): 1-3.
- Venkateswaran, K.; Elangovan, M. & Sivaraj, N. 2018. Chapter 2: Origin, domestication and diffusion of *Sorghum bicolor*. IN: Aruna, C.; Visarada, K.B.R.S.; Bhat, B.V. & Tonapi, V.A. (eds.) Breeding sorghum for diverse end uses. Woodhead Publishing, Cambridge, United Kingdom. pp: 23-50.
- Vidal, A. & Jahn, E. 1989. Utilización de triticale en alimentación de terneros. *Revista Investigación y Progreso Agropecuario Quilamapu* N° 41. Chillán. Chile. pp: 21-23.
- Wall, D.A.; Friesen, G.H. & Bhati, T.K., 1991. Wild mustard interference in traditional and semi-leafless field pea. *Canadian Journal of Botany* 71:473-480.
- Wannaseka, L.; Ortnerb, M.; Kaula, H.P.; Amone, B. & Amone, T., 2019. Double-cropping systems based on rye, maize and sorghum: Impact of variety and harvesting time on biomass and biogas yield. *European Journal of Agronomy* 110: 125934
- Warwick, S.I. & Hall, J.C., 2009. Phylogeny of Brassica and wild relatives. In: Gupta, S.K. (ed.), Biology and breeding of crucifers. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA. pp: 19-56.
- Warwick, S.I.; Francis, A. & Al-Shehbaz, L.A., 2006. Brassicaceae: Species checklist and database on CD-Rom. *Plant Systematics and Evolution*, 259(2): 249-258p.
- White, J.G.H.; Matthew, C. & Kemp, P.D., 1999. Supplementary feeding systems. In: White J. & Hodgson, J. (eds.) New Zealand pasture and crop science. Oxford university press. Auckland, New Zealand. pp: 175- 197.
- Whitson, T. 1996. Weeds of the west. 5th Edition. Pioneer of Jackson Hole, Jackson, Wyoming, USA. 630p.
- Wilkes, H.G. 1979. México and Central América as a centre for the origin of agriculture and the evolution of maize. *Journal of Crop Improvement* 6(1): 1-18.
- Wilkins, R.J. & Jones, R., 2000. Alternative home-grown protein sources for ruminants in the United Kingdom. *Animal feed science and technology*. 85: 23–32.
- Wilkinson, J.M. & Davies, D.R., 2013. The aerobic stability of silage: key findings and recent developments. *Grass Forage Science*. 68, 1–19.
- Willcox, G. & Stordeur, D. 2012. Large-scale cereal processing before domestication during the tenth millennium cal BC in northern Syria. *Antiquity* 86: 99–114.
- Wolko, B.J.; Clements, C.; Naganowska, B.; Nelson, M. & Yang, H., 2011. Chapter 9. Lupinus. In: Kole, C. (ed.). Wild crop relatives: genomic

and breeding resources, legume crops and forages. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany. pp: 153-207

Yosef, E.; Carmi, A.; Nikbachat, M.; Zenou, A.; Umiel, N. & Miron, J., 2009. Characteristics of tall versus short-type varieties of forage sorghum grown under two irrigation levels, for summer and subsequent fall harvests, and digestibility by sheep of their silages. *Animal feed science and technology* 152: 1–11

Zadoks, J. C.; Chang, T. T. & Konzak, C. F., 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*, 14: 415-421. doi: 10.1111/j.1365-3180.1974.tb01084.x

Zagal, V.E.; Hirzel C.J. & Vidal, P.I., 2003. Evaluación de la recomendación de fertilización nitrogenada para cultivos anuales en suelos de origen volcánico usando un modelo de simulación. *Agricultura técnica* (Chile), 63(1): 94-104.

Zapata, L.; Peña-Chocarro, L.; Pérez-Jordá, G. & Stika, H.P. 2004. Early neolithic agriculture in the iberian peninsula. *Journal of World Prehistory* 18(4): 283-325

Capítulo VI

Establecimiento de pasturas

Rolando Demanet Filippi

Contenido

Introducción	302
Tipos de pasturas	302
Proceso de siembra de pasturas	304
Corrección de la acidez del suelo	304
Enmiendas calcáreas	307
Preparación de suelos	310
Sistema de siembra	312
Forma de siembra	315
Calidad de semilla	317
Época de siembra	320
Fertilización a la siembra	321
Literatura citada	322

Introducción

El establecimiento de una pastura es un proceso de alta complejidad que considera la ubicación de la semilla en el suelo para que esta germine, emerja y se desarrolle en tiempo mínimo y bajo condiciones de humedad, temperatura y nutrientes adecuadas. La semilla dispuesta a una profundidad definida por condiciones de humedad, calidad de mullido y compactación del suelo solo logra germinar, emerger y crecer como planta si se establece en el sitio correcto y bajo condiciones ambientales adecuadas para su desarrollo.

La sustitución de una pradera por una pastura tiene por objetivo cubrir alguna carencia que los pastos naturales poseen y que pueden estar relacionadas con la producción anual, rendimiento estacional y calidad bromatológica del forraje.

En el proceso de definición de las especies a establecer, hay que situarse en el contexto histórico de los pastizales del área donde se establecerán y conocer exactamente los requerimientos de las pasturas a introducir, junto a las características del sitio.

Tipos de pasturas

Para definir el tipo de pastura a establecer se debe tener claro cuál será el uso en el sistema productivo: pastoreo, soiling, ensilaje, heno, henilaje o multipropósito. En cada opción existen dos posibilidades, establecer pasturas monofíticas o polifíticas.

Pasturas monofíticas: Son aquellas que poseen una sola especie. Las pasturas utilizadas como cultivos suplementarios habitualmente son monofíticas. Ejemplo de este tipo de pasturas son las ballicas anuales, cereales de grano pequeño para pastoreo y conservación de forraje, maíz, sorgo y brassicas.

Pasturas polifíticas: Son aquellas constituidas por dos o más especies. La mezcla de especies tiene por objetivo desarrollar a través de un proceso sinérgico, pasturas estables y persistentes. En ellas se pretende lograr la perfecta complementación entre sus componentes, donde cada uno hará un aporte a la producción y calidad de la pastura.

Para el desarrollo de pasturas polifíticas es necesario tener pleno conocimiento de la arquitectura, tasa de crecimiento, distribución estacional y calidad bromatológica de los componentes individuales. Esta información es necesaria para la construcción de pasturas armónicas, donde las especies y cultivares generen sinergia al estar asociados y no una competencia entre ellos (competencia heterotípica).

Las especies componentes de las pasturas polifíticas pueden ser diversas, pero independientemente del tipo y número de componentes que se incluyan en la mezcla, estas deben generar un aporte al valor nutricional y a la producción total y estacional de la pastura.

En la construcción de una pastura polifítica los elementos más importantes están referidos a la arquitectura epígea e hipógea de las especies componentes, donde la tasa de crecimiento de cada una no debe tener características extremas, para así lograr la armonía y persistencia de cada especie (Tabla 6.1).

Tabla 6.1. Mezclas armónicas posibles de utilizar en sistemas ganaderos.

Mezcla perenne	Longevidad	Arquitectura
Ballica perenne	Perenne	Achaparrada
Trébol blanco	Perenne	Rastrera
Mezcla trianual		
Ballica bianual	Bianual	Erecta
Trébol rosado	Trianual	Erecta
Mezcla anual		
Avena	Anual	Erecta
Ballica anual	Anual	Erecta

El concepto de orden en las mezclas según arquitectura y longevidad se ha expandido en los sistemas pastoriles intensivos, en los que el movimiento del ganado se basa en el crecimiento diario de las pasturas y los tiempos de rezago entre utilización responden a un esquema de uso infrecuente intenso.

Con el desarrollo de los sistemas ganaderos holísticos y regenerativos el establecimiento de pasturas ha sufrido una involución y aquello que se consideraba una mala práctica agronómica en estos sistemas es apreciado e incluido como parte de la estabilidad y diversidad del ecosistema. Es así como se siembran asociaciones de especies y cultivares con arquitectura y longevidad diversa, que generan un paisaje heterogéneo y con distinta profundidad de raíces, lo que permite captar agua y nutrientes de diferentes estratos. Algunos ejemplos de pasturas polifíticas posibles de utilizar en estos sistemas bajo condiciones diversas de suelos en la zona templada se presentan en la Tabla 6.2.

Tabla 6.2. Mezclas polifíticas utilizadas en sistemas de ganadería holística y regenerativa en diferentes suelos de la zona templada.

Especies	suelos profundidad < 1 m	suelos profundidad > 1 m	suelos inundación eventual	suelos baja fertilidad
<i>Lolium perenne</i> L.	✓	✓		
<i>Festuca arundinacea</i> Schreb.	✓	✓	✓	
<i>Dactylis glomerata</i> L.		✓		✓
<i>Bromus stamineus</i> Desv.	✓	✓		✓
<i>Trifolium repens</i> L.	✓	✓	✓	✓
<i>Trifolium pratense</i> L.		✓		
<i>Cichorium intybus</i> L.		✓	✓	✓
<i>Plantago lanceolata</i> L.		✓	✓	✓

Longevidad: La longevidad o persistencia de una pastura corresponde al tiempo de vida productivo medida en años. Existen diversas clasificaciones que se pueden resumir en cuatro categorías. Pasturas de rotación corta cuya vida productiva es entre una o dos temporadas, pasturas de rotación larga donde su longevidad es de tres a cinco años y las pasturas permanentes que tienen una vida productiva superior a cinco años. También existen las pasturas de resiembra anual, que son las que cumplen su ciclo productivo y reproductivo en una temporada y se resiembran en forma natural (Tabla 6.3).

Tabla 6.3. Clasificación de las pasturas según su persistencia o longevidad.

Tipo	Longevidad (años)
Rotación corta	1 ó 2
Rotación larga	3 a 5
Permanente	> 5
Resiembra	1

Proceso de siembra de pasturas

En el proceso de siembra de una pastura se consideran diversos aspectos tecnológicos que determinan la calidad de la pastura establecida. Antes de realizar la siembra de una pastura, es necesario acondicionar el sitio de establecimiento considerando todos los elementos necesarios para que en el periodo productivo y de utilización, como pastoreo o conservación del forraje, las labores se realicen con facilidad.

Previo a la siembra se debe considerar la extracción de agua (drenaje) (Figura 6.1), nivelación del terreno, eliminación de áreas de matorral bajo, elaboración de cercos, puertas, pasos de animales y puentes. Además, es necesario localizar las fuentes de aguas y construir la red de bebederos o aguadas. Junto a lo anterior, es imprescindible la corrección de los parámetros de acidez y fertilidad de suelo. El omitir estas labores puede significar, en ocasiones, la pérdida de parte de la pastura o el desarrollo de labores correctivas posteriores, lo que incrementa el costo de producción de forraje y reduce la calidad del proceso de siembra.



Figura 6.1. El anegamiento temporal de la siembra de una pastura de maíz para ensilaje genera pérdida de plantas y reducción en la productividad.

Corrección de la acidez del suelo

Los suelos de la zona templada de Chile son, en su mayoría, derivados de cenizas volcánicas, con alto riesgo de acidificación producto de la pérdida de bases generada por la concentración de las precipitaciones y el uso de fertilizantes nitrogenados acidificantes como son la urea, fosfato monoamónico y fosfato diamónico (Mora, 1993).

Un elemento que caracteriza los suelos volcánicos del sur del país, es la presencia de aluminio en diferentes concentraciones. Su presencia genera toxicidad y es un factor que limita el crecimiento de las plantas, siendo particularmente importante en áreas donde es habitual el uso de fertilizantes nitrogenados de origen amoniacal y cuya neutralización a través de la aplicación de enmiendas calcáreas no se respeta (Mora & Demanet, 1999).

La presencia de aluminio de intercambio en los suelos ácidos genera diversos efectos en las plantas y su productividad:

- ✓ Afecta el desarrollo de las raíces
- ✓ Reduce la capacidad de profundización de las raíces en el suelo
- ✓ Incrementa la susceptibilidad de las plantas a la sequía
- ✓ Disminuye el uso de nutrientes del subsuelo
- ✓ Inhibe la elongación radical

- ✓ Disminuye el crecimiento de la planta
- ✓ Aumenta la sensibilidad a los cambios ambientales (frío, sequía, inundaciones, sobre pastoreo)
- ✓ Limita la nutrición y productividad de las pasturas

Las plantas que crecen en suelos con altos contenidos de aluminio tienden a acumularlo en las raíces, específicamente en el ápice, generando un aumento de la división y expansión celular. Esto genera una reducción en la cantidad de raíces de las plantas y aumento desmedido del grosor de las raíces que sobreviven (Mora & Demanet, 1999).

El ion aluminio, en especial el Al^{+3} , en la solución del suelo produce problemas de fitotoxicidad. Al ingresar en el sistema radical se acumula en las células e interfiere en la división celular, inhibiendo el desarrollo normal de raicillas y pelos radicales y afectando, por tanto, la nutrición de las plantas (Mora, 1993).

Como consecuencia del incremento de la acidez de los suelos, la capacidad de retención de los cationes de intercambio, como potasio, calcio, magnesio y sodio, disminuye debido al aumento de carga positiva de los coloides. Esta menor capacidad de retención de cationes y la concentración de las precipitaciones, generan un aumento de la lixiviación de las bases del suelo favoreciendo la hidrólisis del aluminio. De esta forma, el aluminio pasa a ser un constituyente importante en el complejo de intercambio y desplaza a nutrientes tan importantes para las plantas como son el calcio, magnesio y potasio (Mora & Demanet, 1995).

Las plantas pueden acumular cantidades considerables de aluminio en la parte aérea (Figura 6.2). Sin embargo, tienen diversos mecanismos de desintoxicación de este elemento entre los que se encuentran la exclusión desde los ápices de las raíces.

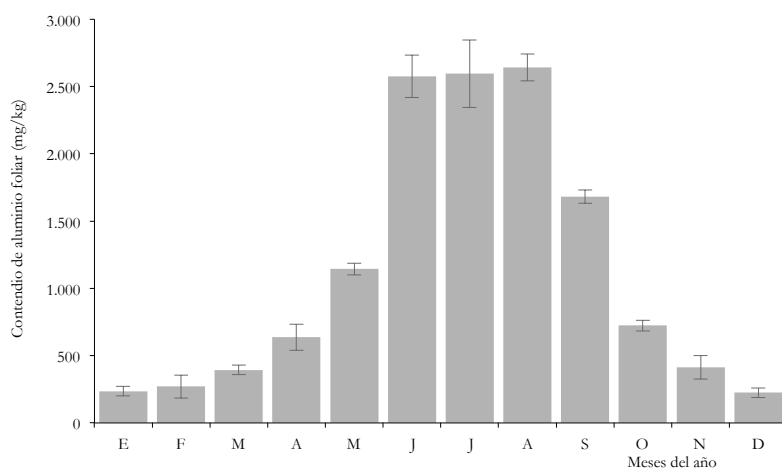


Figura 6.2. Variación en el contenido foliar de aluminio en una pastura de ballica perenne. Los valores indicados son promedio de 12 años de medición. Río Bueno, Región de Los Ríos.
(Fuente: adaptado de Demanet, 2015)

Valores superiores a 200 mg/kg de aluminio en la planta resultan tóxicos para los animales. En la zona sur es habitual que en todos los meses del año existan niveles superiores a 200 mg/kg, alcanzando a un máximo de 2.642 mg/kg, lo que representa un riesgo para la salud de los animales que consuman dichas pasturas. Sin embargo, las mayores concentraciones de aluminio en la planta se presentan en el periodo de menor disponibilidad de forraje, situación que atenúa las posibles acciones tóxicas del aluminio consumido (Demanet *et al.*, 1999).

La presencia del ion aluminio en el suelo genera la carencia en la planta de minerales necesarios para la nutrición del animal, como el magnesio (Figura 6.3). La deficiencia de este elemento en las plantas se traduce en una reducción de la actividad fotosintética y de síntesis de proteínas. En los animales, la falta de magnesio aumenta las probabilidades de generar hipomagnesemia, desbalance metabólico que se caracteriza por la reducción de los niveles de magnesio en la sangre, lo que compromete la función neuromuscular, generando una reducción drástica de la síntesis de grasa y disminución de la producción de leche (Rodón-Berrios, 2006).

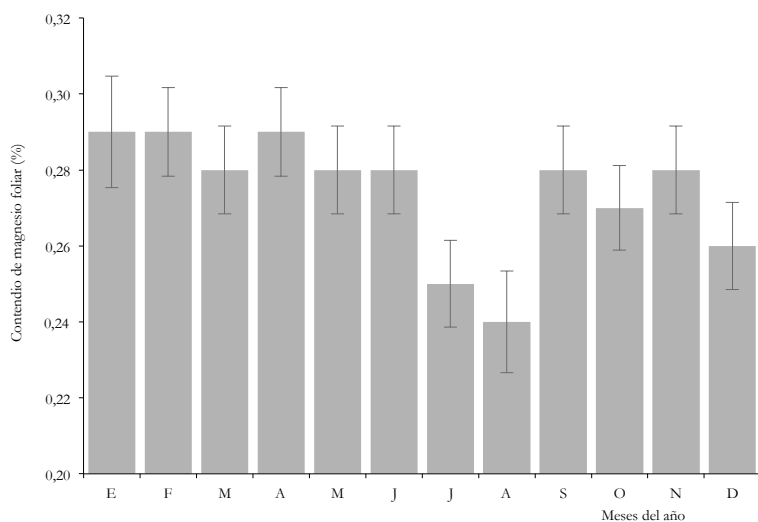


Figura 6.3. Variación en el contenido foliar de magnesio en una pastura de ballica perenne. Los valores indicados son promedio de 12 años de medición. Río Bueno, Región de Los Ríos.

Fuente: adaptado de Demanet, 2015.

La relación entre el porcentaje de aluminio en las plantas y el rendimiento de materia seca, permite definir la extracción anual de nutrientes de las pasturas. En las pasturas permanentes, la extracción mensual depende del nivel de rendimiento y la extracción anual de la producción total. La extracción anual de aluminio puede superar los 7 kg/ha, (Figura 6.4) lo que indica que este elemento puede ser más abundante que elementos tan importantes como el zinc y el boro, que logran extracciones inferiores a 1,5 kg/ha. Mediciones hechas en la Universidad de La Frontera ha demostrado de que existen especies y cultivares que son capaces de tolerar la presencia de aluminio en el suelo, mediante mecanismos fisiológicos de exclusión que permiten la acumulación de este en las raíces (Figura 6.5).

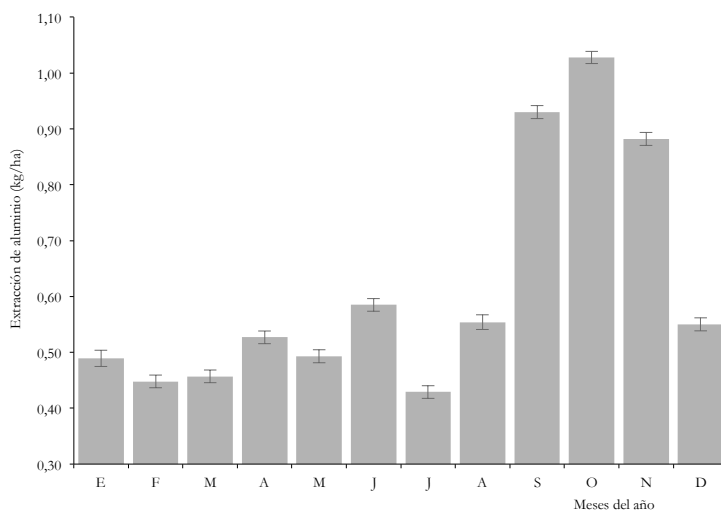


Figura 6.4. Extracción de aluminio en una pastura de ballica perenne. Los valores indicados son promedio de 12 años de medición. Río Bueno, Región de Los Ríos.

Fuente: adaptado Demanet, 2015

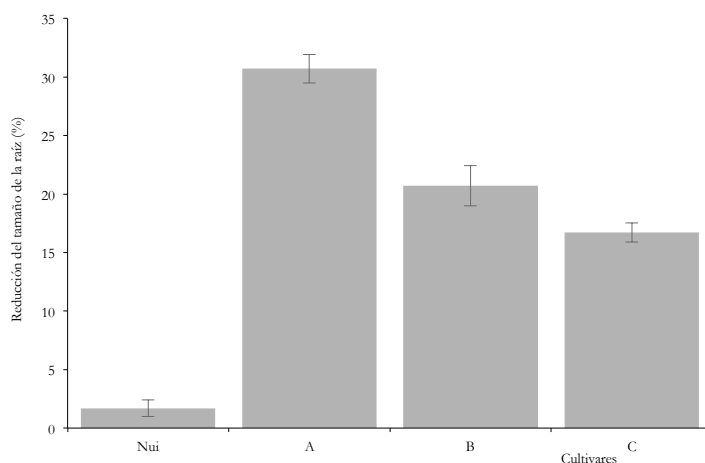


Figura 6.5. Reducción del tamaño radical de cuatro cultivares de ballica perenne sometidos a pH ácido y altas concentraciones de aluminio.

Fuente: adaptado de Parra *et al.*, 2016

Enmiendas calcáreas

La alternativa para corregir los problemas de acidez en los suelos es el uso de enmiendas calcáreas que aumentan el contenido de bases y neutralizan los protones que resultan del proceso de acidificación.

Los suelos de origen volcánico, donde se desarrollan la mayoría de las pasturas que utilizan los sistemas ganaderos de la zona sur, poseen carga variable que se caracteriza por tener una alta concentración de grupos activos de Al-OH y Fe-OH ionizables que, con el aumento de la acidez, se cargan positivamente generando Al-OH_2^+ y Fe-OH_2^+ en la superficie de los coloides. Este aumento de la carga positiva disminuye la capacidad de retención de bases de intercambio en el complejo arcilla - materia orgánica del suelo y genera, a su vez, un aumento en el contenido de aluminio soluble (Mora 1993).

Por esta razón, es necesario aumentar la carga negativa del suelo aumentando el pH con el uso de carbonatos, de manera que las bases como el calcio, el magnesio y el potasio sean retenidas en el complejo y liberadas a medida que las plantas componentes de las pasturas lo requieran (Figura 6.6).



Figura 6.6. Aplicación de enmienda calcárea con el objetivo de corregir la acidez del suelo.

El encalado consiste en agregar al suelo carbonatos de calcio o carbonato de calcio y magnesio que permiten reducir la acidez e incrementar el pH, desplazando el aluminio intercambiable en las partículas del suelo y neutralizando el aluminio libre en la solución del suelo.

La incorporación de las enmiendas al suelo se puede hacer previo al establecimiento de las pasturas a través del uso de rastra, vibrocultivador o incorporadores de rastrojos durante el proceso de preparación de suelo. En pasturas establecidas, donde la enmienda se aplica en cobertera, es la lluvia, riego y pisoteo animal lo que incorpora la cal al suelo.

La reacción de los materiales encalantes que permiten la neutralización de la acidez, solo se verifica cuando la enmienda se pone en contacto con el agua. Es por esta razón que la velocidad de corrección y neutralización de las enmiendas calcáreas es función, no sólo de la dosis y solubilidad de la enmienda, sino también de la humedad del suelo.

Mediante el encalado se favorece que los iones hidrógeno y aluminio presente en la solución del suelo, reaccionen con los hidroxilos provenientes de la hidrólisis de la cal, formándose agua y aluminio precipitado. De esta forma, el aluminio es reemplazado en los sitios de intercambio por calcio y otros cationes básicos, quedando en una forma inerte en la solución del suelo.

Los materiales encalantes que existen el mercado son, principalmente, carbonato de calcio (cal) y carbonato de calcio y magnesio (dolomita), además de hidróxidos de calcio y silicatos de calcio y magnesio. Estos materiales comercialmente se conocen como óxido de calcio o cal viva (CaO), hidróxido de calcio (Ca(OH)_2) (cal apagada o hidratada de rápida reacción en el suelo), carbonato de calcio (calcita) y carbonato de calcio y magnesio (dolomita) en que las solubilidades dependen de la fineza del producto.

La decisión de qué tipo de enmienda utilizar va a depender del contenido de calcio y carbonatos del encalante que determina la capacidad neutralizante. Sin embargo, en praderas y pasturas hay un factor tan importante como el anterior que define el tipo de enmienda, la disponibilidad de magnesio, elemento deficitario en los suelos y que genera anualmente eventos de hipomagnesemia en animales en pastoreo. Se estima que, como valor límite para prevenir la hipomagnesemia, el forraje debe contener al menos 0,2% de magnesio. Bajo estas condiciones la mejor enmienda corresponde a la dolomita, que tiene una mayor capacidad neutralizante y realiza un importante aporte de magnesio, necesario para una nutrición equilibrada de los animales en producción.

Las aplicaciones de dolomita en praderas y pasturas permiten un mayor equilibrio en el componente nutricional de las plantas, incrementa a nivel foliar el contenido de magnesio y reduce el consumo de lujo (excesivo) de calcio que realizan las plantas y que genera grandes desequilibrios en los programas de nutrición animal.

El manejo de las enmiendas calcáreas corresponde a un programa permanente que se realiza aplicando una dosis inicial alta que permite una corrección rápida. Posteriormente se aplican dosis periódicas de mantenimiento en los años siguientes con el objetivo de controlar los procesos de acidificación que, en suelos derivados de cenizas volcánicas, forma parte de un proceso natural de degradación. Además, se debe considerar que las enmiendas cumplen la función de neutralizar el efecto acidificante que realizan los fertilizantes amoniacales, habitualmente utilizados en la fertilización de las pasturas del área templada.

La neutralización de los fertilizantes amoniacales se realiza aplicando entre 2 y 4 kilos de enmienda por kilo de nitrógeno amoniacal adicionado. Por ejemplo, si se considera la aplicación anual de 120 kg de nitrógeno (260 kg Urea/ha), es necesario utilizar entre 240 y 480 kg de enmienda/ha sólo con el objetivo de neutralizar el fertilizante amoniacal utilizado en esa temporada.

La corrección de la acidez que realizan las enmiendas calcáreas depende entre otros factores, del tipo de suelo, nivel de acidez y poder neutralizante de las enmiendas. En la mayoría de los suelos de la zona sur, la aplicación de 1 tonelada de calcita/ha genera un incremento teórico de 0,15 puntos de pH. Con la aplicación de dolomita ese cambio es mayor y la aplicación de 1 tonelada de dolomita permite un incremento de 0,18 puntos de pH, debido al mayor contenido de carbonato de calcio y magnesio que posee esta enmienda (Mora, 1994; Mora & Demanet, 1995).

La dosis de aplicación de enmienda en los suelos se regula de acuerdo a la capacidad de corrección de la enmienda y presencia de fósforo. Dosis excesivas de enmienda ($> 3 \text{ ton/ha}$) aplicadas de una sola vez pueden causar efectos contrarios al esperado. Esto se debe a que el exceso de calcio disponible produce un consumo de

lujo (excesivo) de este elemento por las plantas y además, genera una reducción de la disponibilidad del fósforo en la solución del suelo debido a la formación de fosfatos de calcio, compuestos insolubles que no pueden ser absorbidos por la planta (Demanet, 1994; Mora & Demanet, 1995).

Las enmiendas aplicadas en cobertera e incorporadas al suelo inician su acción una vez que existe humedad. La actividad microbiana de suelo y los exudados radicales favorecen el proceso de cambio, que permite la acción de la enmienda en menos de 30 días. Siendo un producto que se disuelve en forma gradual, el efecto residual de las enmiendas es superior a 24 meses (dos años). Es por ello que los programas de encalado son permanentes, con aplicaciones anuales o cada tres años dependiendo de la dosis y tasa de cambio de los parámetros de acidez.

Tamaño de partículas: La calidad de un material encalante se relaciona con la pureza del producto, forma química, contenido de humedad, tamaño de partículas (Figura 6.7) y poder neutralizante. La eficiencia de los productos de enmienda son la resultante de dos factores: el poder neutralizante y el grado de molienda del material. Una partícula más fina presenta mayor área de contacto y, por tanto, se disuelve rápidamente. Aunque los carbonatos de magnesio son menos solubles que los carbonatos de calcio, el mayor porcentaje de partículas finas que presenta la dolomita puede contrarrestar este hecho. A mayor fineza mayor contacto de las partículas de cal con el suelo y con ello se logra una reacción más rápida. Las enmiendas que presentan un mallaje superior a 100 mesh son las que presentan mejor eficiencia agronómica.

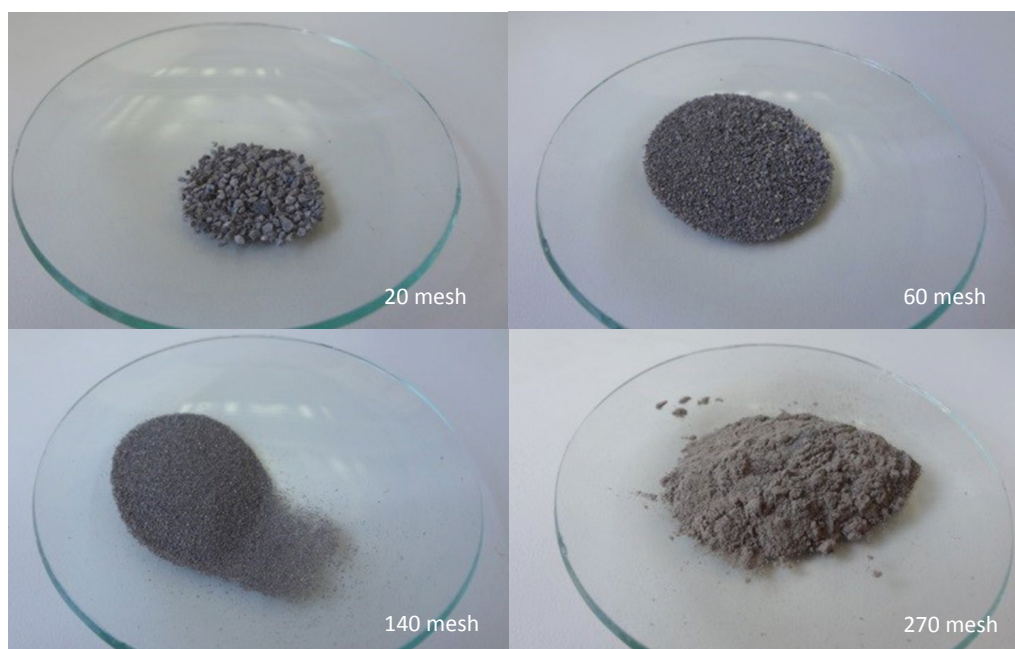


Figura 6.7. Tamaño de partícula de la enmienda calcárea.

Valor neutralizante: El valor neutralizante del carbonato de calcio es 100%, y equivale a 100 kg CaCO_3 . EL producto con mayor poder neutralizante es el óxido de calcio, que tiene un valor de 179%, lo que significa que aplicado al suelo se requiere menor cantidad para ejercer la misma neutralización que el carbonato de calcio (Tabla 6.4).

El valor de neutralización de una enmienda está relacionado con la reactividad y su residualidad, ambos antagónicos, ya que a mayor residualidad menor reactividad.

Poder relativo de neutralización total: Este es un factor que determina la calidad de la enmienda en base a la eficiencia relativa y su granulometría. Las dosis de enmienda se ajustan de acuerdo al poder relativo de neutralización total (PRNT). Este valor permite definir la dosis exacta de enmienda que corresponde al cociente entre la dosis de enmienda multiplicada por 100 y el PRNT.

Tabla 6.4. Valor neutralizante de algunas enmiendas.

Tipo de enmienda	Valor neutralizante
Carbonato de calcio	100
Oxido de magnesio	248
Oxido de calcio	179
Hidróxido de magnesio	172
Hidróxido de calcio	138
Carbonato de magnesio	119
Dolomita	109
Silicato de magnesio	100
Silicato de calcio	86

El aumento del valor de pH producido por la aplicación de carbonatos de calcio y magnesio, provoca en suelos de carga variable un aumento de la carga negativa y con ello un aumento de la capacidad de retención de bases del complejo de intercambio. Esto determina en gran medida el nivel de fertilidad del suelo y supone que la aplicación de cal genere un aumento en el rendimiento de las pasturas (Mora & Demanet, 1995).

Relación de nutrientes: Las especies de pasturas, e incluso cultivos, presentan distintos grados de tolerancia a las condiciones de acidez y, por lo tanto, su respuesta a la aplicación de enmienda varía en un amplio rango. En ocasiones el uso de enmienda no se traduce en un aumento de la producción, situación que se relaciona con el desequilibrio de las bases del suelo producto del incremento desmedido del calcio. En general si no se usa cal dolomítica, la relación Ca/Mg se ve fuertemente alterada. Por otra parte, aunque el suelo presente una alta selectividad por potasio, altas concentraciones de calcio revierten esta tendencia y el potasio es fácilmente perdido por lixiviación.

La fuerte competencia entre calcio, magnesio y potasio, tanto en el suelo como en la planta, hace que hoy se realicen las recomendaciones en base más a las relaciones Ca/Mg, Mg/K y K/Ca+Mg, que en el uso de valores individuales. Se considera que una relación Mg/K es adecuada en el suelo cuando el porcentaje de saturación de magnesio es dos veces superior al porcentaje de saturación de potasio. En general, esta relación para los suelos de la zona sur es algo menor (Mora & Demanet, 1995).

Normalmente, el uso de dolomita mantiene los niveles de magnesio en la planta, bastante estables, presentando una relación Ca:Mg entre 1,2:1 a 1,5:1. Sin embargo, cuando se usa caliza, la relación Ca:Mg puede variar desde 2,2:1 a 4:1 (Mora & Demanet, 1995).

Enmienda y productividad: El incremento de rendimiento generado por la aplicación de enmiendas calcáreas en pasturas ubicadas en suelos ácidos, presenta una alta variación (2 a 32%) y su magnitud depende del nivel de acidez del suelo. Sin embargo, es la longevidad de las pasturas permanentes la que más se ve afectada, pudiendo reducirse a solo un año de persistencia bajo condiciones extremas de acidez (saturación de aluminio >20%) (Mora *et al.*, 2004)

Algo similar ocurre con la composición botánica, la cual se modifica en forma acelerada y evoluciona hacia un dominio de especies naturalizadas de alta adaptación a condiciones de acidez, como son la chéfica, pasto oloroso o pasto miel, entre otras gramíneas (Mora *et al.*, 1999)

Preparación de suelos

Barbecho químico: En cada una de las formas de establecimiento de pasturas se considera la aplicación de barbecho químico (Tabla 6.5), labor que se realiza con la suficiente anticipación para que el producto seleccionado actúe en plenitud y logre el objetivo que es el control del tapiz vegetal. La aspersión de los productos sobre la vegetación se realiza sobre plantas que posean áreas fotosintéticamente activas (plantas verdes). En plantas sin actividad el efecto del barbecho es limitado.

Independientemente de la fecha de siembra, la aplicación del barbecho químico se realiza con al menos 45 días antes del inicio de las labores de preparación de suelos o siembra. En el caso de doble aplicación de herbicida, la primera aspersión se debe hacer con al menos 70 días de anticipación.

Tabla 6.5. Productos y dosis de aplicación para el barbecho químico.

Nombre Comercial	Ingrediente Activo	Nombre químico	Eq. Ácido (g/L)	Concentración	L/Ha
Roundup	Glifosato	Sal monoamónica de N-fosfonometil glicina	360	396 g/L	4
Rango 480 SL	Glifosato	Sal isopropilamina de N-fosfonometil glicina	360	480 g/L	4
Panzer	Glifosato	Sal isopropilamina de N-fosfonometil glicina	360	480 g/L	4
Glyruk	Glifosato	Sal isopropilamina de N-fosfonometil glicina	360	480 g/L	4
Glifosato Dupont	Glifosato	Sal isopropilamina de N-fosfonometil glicina	360	480 g/L	4
Atila	Glifosato	Sal isopropilamina de N-fosfonometil glicina	360	480 g/L	4
Credit Full	Glifosato	Sal Potásica + Sal monoisopropilamina	540	622 g/L	3
Panzer Gold	Glifosato	Sal dimetilamina N-fosfonometil glicina	480	608 g/L	3
Rango Full	Glifosato	Sal potásica de N-fosfonometil glicina	540	622 g/L	3
Roundup Full II	Glifosato	Sal potásica de N-fosfonometil glicina	540	622 g/L	3
Touchdown IQ	Glifosato	Sal potásica de N-fosfonometil glicina	500	500 g/L	3

El glifosato es la base de todos los productos para el control total de la vegetación (Figura 6.8). Las empresas productoras de pesticidas han logrado generar más de 750 productos basados en glifosato (de Brito Rodrigues *et al.*, 2017; Reno *et al.*, 2018), cuyas formulaciones difieren en cuanto a concentración, presencia de compuestos inertes y tipos de sal como son isopropilamina, diamonio, monoamonio, potasio, trimetilsulfonio y sales de sesquisodium (Travlos *et al.*, 2017). La translocación del glifosato se realiza a través de hojas y raíces afectando en forma directa al microbiota del suelo (Laitinen *et al.*, 2007).



Figura 6.8. Con un barbecho químico realizado en forma oportuna y en dosis correcta, se logra el control total del tapiz vegetal, lo que reduce y facilita las labores de preparación de suelos.

En la actualidad el uso de glifosato es cuestionado como consecuencia del conocimiento que se tiene sobre las propiedades contaminantes y daño ambiental que genera su uso. Pochron *et al.*, (2020) demostraron que el glifosato generaba una reducción en la población de lombrices de tierra, vida media y biomasa junto con una disminución de la biomasa fúngica.

Junto a los problemas ambientales y de salud humana y animal que presenta el glifosato está la resistencia que ha adquirido un grupo importante de especies vegetales a su acción. Los avances en control y productividad que generó el glifosato en la agricultura fueron tan disruptivos que su utilización masiva en el mundo, desde su aparición en el mercado en el año 1974, provocó una simplificación del manejo de malezas. Por entonces pocos pudieron vaticinar las complicaciones que su uso derivaría en el ecosistema.

Considerando la pérdida de control sobre algunas especies es por lo que se consideró la opción de ampliar el rango de acción mediante la combinación con otros herbicidas que poseen mayor efectividad en el control de malezas complejas, principalmente de hoja ancha. Entre las alternativas de mezcla, se encuentra la combinación de glifosato + Heat (saflufenacilo) o glifosato + Starane Xtra (fluroxipir-meptilo) que se utilizan para el establecimiento de pasturas polifíticas. El uso de otras opciones como MCPA, Esteron Ten Ten (ácido 2,4-diclorofeniacético, éster butoxietílico) o metsulfuron metil, quedan restringidas a pasturas de gramíneas.

Sistema de siembra

Existen diversas formas de establecer una pastura. Labranza convencional, mínima labor, cero labranza y regeneración son las principales opciones de siembra, cada una de las cuales con sus propios atributos y complejidades.

Labranza convencional: Corresponde al sistema que implica la roturación de suelos para preparar la cama de semilla. Se inicia con la aplicación de barbecho químico, seguido de la incorporación del rastrojo, arado cincel o subsolador, preparación de cama de semilla y finaliza con el paso del rodón.

Los sistemas convencionales actuales han eliminado el uso de arados tradicionales que invierten el suelo como son el arado de disco y vertedera. Esto ha sido reemplazado por arados que trabajan en profundidad sin inversión de suelos, como son el arado cincel y el subsolador y que además han permitido reducir el balance orgánico negativo que produce en el suelo el paso de estos arados tradicionales. Los arados que invierten el suelo provocan una pérdida de, al menos, 2,5 ton de carbono orgánico/ha, equivalente a 5 ton de materia orgánica/ha, situación que induce cambios negativos en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

La labranza convencional ha sido una de las prácticas que ha provocado mayor erosión y degradación de los suelos. Este proceso, a veces silente, hoy se intenta reducir utilizando prácticas de siembra un poco más conservacionistas, que incluyen la no inversión del suelo y la incorporación de los rastrojos (Figura 6.9).



Figura 6.9. La incorporación de rastrojos permite devolver al suelo parte de los nutrientes extraídos por el cultivo, incorpora materia orgánica, mejora la actividad biológica y aumenta la capacidad de retención de humedad.

Mínima Labor: Implica la aplicación de barbecho químico y el paso de un cultivador multifuncional o incorporador de rastrojo. Las labores son habitualmente superficiales y finaliza con el paso del rodón. Responde a la necesidad de mantener un balance de carbono un poco menos negativo y así reducir la pérdida de materia orgánica, manteniendo las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos.

Cero Labranza: Esta técnica nace por la necesidad de generar una agricultura un poco más conservacionista. Al evitar la rotura de los suelos, esta opción permite mantener la cubierta orgánica, reduciendo los procesos de erosión y degradación de los suelos. Además, genera un ambiente equilibrado donde se desarrollan de

forma armónica microorganismos y fauna de anélidos invertebrados (lombrices), todos ellos beneficiosos para el proceso de descomposición de la materia orgánica, mineralización de nutrientes y mantenimiento de la fertilidad de los suelos (Aguilera *et al.*, 1999; Peirano *et al.*, 1999).

La cero labranza sólo considera la aplicación de barbecho químico y siembra con maquinaria especializada (Figura 6.10). Este es un sistema de menor costo de establecimiento que los anteriores y supone la generación de pasturas más productivas y estables.



Figura 6.10. Siembra cero labranza de maíz para ensilaje.

Regeneración: El objetivo de este sistema es elevar la producción de la pradera a través de un cambio en la composición botánica y un rejuvenecimiento de las especies presentes en el pastizal. A diferencia de la cero labranza, la regeneración no considera la aplicación de barbecho químico, pero si eventualmente el uso de un herbicida controlador de alguna especie no deseada.

Diversas son las ventajas que posee este sistema entre las que se distinguen las siguientes:

- ✓ Menor costo de siembra
- ✓ Factibilidad de uso en suelos no aptos para labranza convencional
- ✓ Menor alteración de la estructura y de la actividad biológica del suelo
- ✓ Mantenimiento estable de la producción de forraje
- ✓ Mayor disponibilidad de nutrientes en el suelo
- ✓ Reducción de la erosión
- ✓ Disminución de problemas de descalce
- ✓ Rápida disponibilidad de forraje para el ganado

Existen algunas indicaciones que son fundamentales para lograr éxito en el desarrollo de este sistema de siembra:

- ✓ Antes de regenerar la pastura esta debe estar talada con bajo residuo (cortada a piso)
- ✓ La cobertura de la pastura a regenerar debe ser inferior a 60%. Con mayor cobertura la factibilidad de éxito es reducida

- ✓ Las especies que se incluyan en la regeneración deben ser agresivas y con buen vigor y poder germinativo
- ✓ El suelo debe estar con bajo nivel de humedad con el objetivo de que el paso de la máquina genere una turbulencia tal que permita que todas las semillas queden cubiertas con suelo
- ✓ La máquina regeneradora debe tener la capacidad de cortar el suelo y tener rueda compactadora lisa o dispuesta en V para evitar que la semilla quede al descubierto
- ✓ Junto a la semilla en el surco de siembra, nunca se deben aplicar fertilizantes nitrogenados. Solo es factible incluir fósforo, potasio, magnesio, azufre y otros fertilizantes de baja solubilidad. El nitrógeno se debe aplicar una vez emergidas las plántulas
- ✓ El primer talajeo se debe realizar una vez emergidas y arraigadas las plántulas
- ✓ Habitualmente la mejor respuesta al proceso de regeneración se observa a partir del segundo año cuando son fácilmente observable las líneas de siembra

Hay diversas formas de regeneración, entre las cuales, destaca la regeneración al voleo sobre la pastura o en línea con maquinaria regeneradora especializada o de cero labranza. También existe la opción del sistema boca – anal, que consiste en el consumo de semilla por parte de los animales, que posteriormente la diseminan a través de las heces en pasturas degradadas. Esta opción es exitosa solo con algunas leguminosas como por ejemplo *Trifolium pratense* L. (Figura 6.11).



Figura 6.11. La diseminación de las semillas a través de las botas es una opción de regeneración.

El sistema más eficiente es el que considera el uso de máquinas regeneradoras o de cero labranzas. Con esta modalidad de siembra la semilla queda cubierta (menores pérdidas) y se logra una germinación más homogénea, con lo cual es factible reducir la dosis de semilla y obtener una mayor eficiencia en el uso del fertilizante aplicado al surco.

Compactación de suelos: Se trata de un proceso acumulativo que se genera por el paso de maquinaria y pastoreo animal. La reducción de los intersticios del suelo provoca una reducción del volumen del mismo y, por consiguiente, un incremento en su densidad (Heinrich & Ellies, 1999).

Todos los suelos que están dedicados a la ganadería sufren este proceso con diferente grado de intensidad, lo que reduce la capacidad de infiltración de agua en el suelo, disminuye la posibilidad de exploración radical en profundidad y, por tanto, la absorción de nutrientes (Ellies, 1995; Ellies, 1994).

Durante el proceso de preparación de los suelos, es necesario considerar este efecto utilizando implementos que permiten descompactar y, por consiguiente, airearlos. Estos implementos son el arado subsolador, que actúa en

profundidad, y el arado cincel, cuyo efecto es más superficial. Ambos deben ser utilizados en suelos secos con el objetivo de lograr el resquebrajamiento del perfil del suelo y permitir la aireación y des compactación deseada.

Este proceso de corrección de la capacidad de infiltración de agua en los suelos es particularmente relevante en suelos bajo riego, que basan el incremento de la productividad en la utilización correcta del agua.

Cada suelo es diferente y el proceso de compactación se produce de forma distinta. Por ello es necesario monitorear a través de calicatas o agujas de medición el nivel de compactación, para así decidir el paso del arado subsolador. En áreas de cultivo de maíz y remolacha forrajeras es habitual el paso del arado subsolador cada dos o tres años, sin embargo, esto no se puede considerar una regla general debido a la alta variabilidad de manejo de suelos que hay en la zona sur.

Pie de arado: El proceso de compactación es gradual y acumulativo y es diferente de lo que se denomina pie de arado. El pie de arado corresponde a una capa dura e impermeable que se forma a profundidad de aradura (20 a 35 cm) y esta producido por el paso de implementos obsoletos como son el arado de disco y vertedera.

Forma de siembra

Una vez desarrollado el proceso de habilitación del sitio de siembra, es necesario decidir si la siembra se realizará al voleo o en línea.

Siembra al voleo: La siembra al voleo se caracteriza por distribuir, de forma uniforme, la semilla sobre el suelo. Posteriormente es incorporada en el perfil a través de elementos de presión tales como rodón, rodillo brillion o ruedas compactadoras de las sembradoras (Figura 6.12).

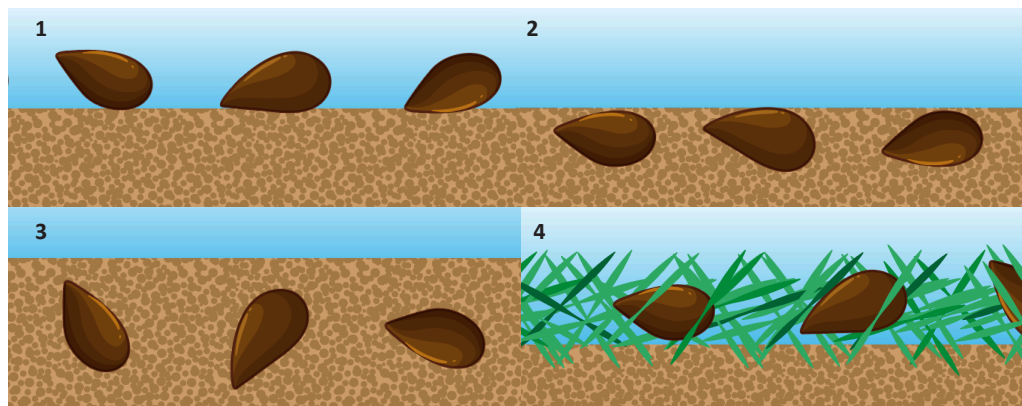


Figura 6.12. (1) Al voleo la semilla queda sobre el suelo. (2) Algo debe presionar la semilla para que logre el íntimo contacto con el suelo. (3) Siembra al voleo con perfecta distribución y profundidad. (4). La presencia de mantillo en la superficie impide el contacto de la semilla con el suelo.

Este sistema logra una distribución espacial de la semilla que evita la competencia homotípica (entre la misma especie) y permite alcanzar la máxima cobertura de suelo en poco tiempo. Transforma así a la especie sembrada en una planta muy competitiva por espacio, luz y nutrientes con las especies residentes o acompañantes (competencia heterotípica). Además, al obtener una rápida cobertura del suelo, este sistema permite reducir los procesos de erosión que habitualmente se producen post siembra, en especial cuando hay eventos de precipitación de alta concentración en poco tiempo.

En la zona de suelos de origen volcánicos, que corresponde prácticamente a toda la zona templada, el éxito de una siembra al voleo depende del nivel de fósforo existente en el suelo. Esta metodología de siembra requiere que el suelo posea un nivel de fósforo asimilable igual o superior a 30 mg/kg. Niveles inferiores generan deficiencias de este elemento que retrasan el desarrollo inicial de las plantas, situación que las expone a una fuerte competencia con las especies residentes, habitualmente más agresivas que las introducidas.

Otra limitante de este sistema es la presencia de residuos vegetales u otros obstáculos físicos que puedan existir en la superficie del suelo que impiden el contacto de la semilla con el mismo. En estas condiciones, las siembras presentan una alta variabilidad de emergencia, aunque esta se reduce con el tiempo como consecuencia de la

incorporación de la semilla en el perfil del suelo por el pisoteo animal.

La posibilidad de depredación de las semillas ubicadas en la superficie del suelo o la pérdida de viabilidad por exposición del sol y altas temperaturas, determinan que, en los sistemas de siembra al voleo, sea necesario incrementar la dosis de siembra entre un 20 y un 40%.

Siembra en línea: La principal razón por la cual en la zona sur las especies forrajeras se establecen en línea está relacionada con la necesidad de ubicar los fertilizantes que contienen fósforo próximo a la semilla. La baja solubilidad y movilidad del fósforo en el suelo supone la necesidad de acercar este elemento a la rizósfera que se formará una vez que las plántulas desarrollen sus raíces. La presencia del fósforo en este ambiente evita la deficiencia inicial de este elemento, lo que en la mayoría de las plantas se detecta por la coloración violácea de sus hojas (Figura 6.13).



Figura 6.13. Coloración violácea como respuesta a la deficiencia de fósforo en maíz para ensilaje.

La ubicación de la semilla en línea produce una concentración espacial de las plantas en una pequeña área, lo que se traduce en una fuerte competencia homotípica que reduce la opción de desarrollo de la totalidad de las plántulas viables emergidas. En la línea las plántulas compiten por luz, agua y nutrientes, con lo cual retrasan su desarrollo inicial y reducen las opciones de desplazar las especies residentes (malezas) que se ubican entre hileras, siendo esta una desventaja de este tipo de siembra (Figura 6.14).

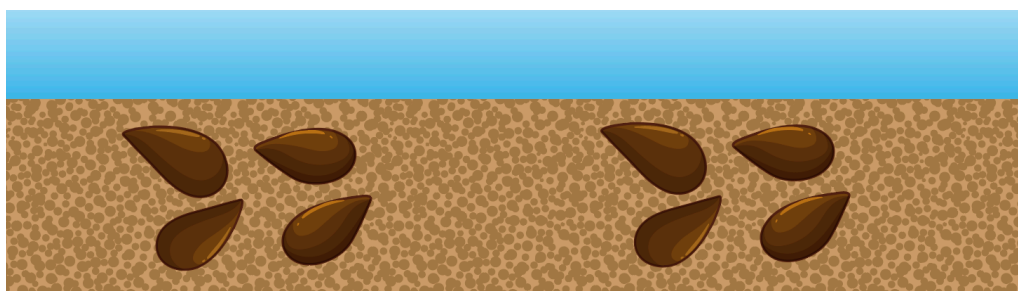


Figura 6.14. En la siembra en línea las semillas compiten por espacio y agua antes de emerger.

Para mejorar la distribución espacial y acelerar el proceso de cubrimiento entre hileras existen en la actualidad máquinas sembradoras que han disminuido la distancia entre hileras de 17,5 a 15 cm e incluso a 12 cm. Esta reducción mejora la distribución de la semilla en la superficie de siembra, disminuye la competencia entre plantas, acelera el cubrimiento entre hileras (cobertura) y reduce la competencia con las especies residentes o acompañantes.

Existe una práctica equivocada que en ocasiones se utiliza con el objetivo de mejorar la distribución espacial de las semillas y corresponde a la elaboración de siembras cruzadas donde en cada dirección se usa la mitad de semilla y fertilizante. Esta práctica desvirtúa el principal objetivo de la siembra en línea, que es la concentración del fósforo en el surco donde se ubica la semilla.

En los cultivos suplementarios la siembra en línea no solo se relaciona con el mejor aprovechamiento del fosforo aplicado en las proximidades de la semilla, sino que también con la captura de la luz. Mediciones realizadas en la Estación Experimental Maquehue de La Universidad de La Frontera se demostró que, en maíz para ensilaje, la mayor producción se logra a una distancia entre hileras de 70 cm (Figura 6.15).

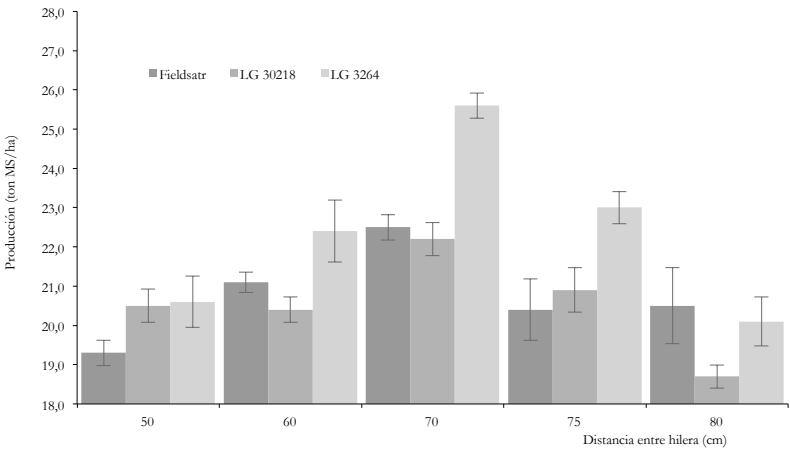


Figura 6.15: Efecto de la distancia entre hilera en el rendimiento (ton MS/ha) de tres híbridos de maíz para ensilaje. Estación Experimental Maquehue. Universidad de La Frontera. Temuco. Temporada 2013/14.

Profundidad de siembra: Este es un factor determinante en el éxito del establecimiento de una pastura. El tamaño pequeño de la semilla determina que, en las especies forrajeras, la ubicación de las semillas en el suelo este directamente relacionada con el grado de compactación del suelo, tipo de siembra y regulación de la maquinaria.

La profundidad de siembra recomendable de las especies forrajeras gramíneas es entre 0,5 y 1 cm. En las leguminosas y brassicas entre 0,1 y 0,5 cm. En cultivos suplementarios como maíz y cereales de grano pequeño la semilla se ubica preferentemente entre 3 y 6 cm de profundidad (Tabla 6.6).

Tabla 6.6. Efecto de la profundidad de siembra en el porcentaje de emergencia de plántulas de especies forrajeras.

Profundidad (cm)	ballica perenne	pasto ovillo	trébol blanco	trébol subterráneo
0,6	81	33	94	79
1,3	81	25	91	96
2,5	76	19	83	96
3,8	65	7	72	96

Fuente: Adaptado de Cullen, 1966.

Calidad de semilla

El concepto más primario que define una semilla de calidad es aquel que se refiere a la capacidad de germinación. Es decir, aquella que es capaz de germinar y está libre de especies invasoras indeseables (malezas). Sin embargo, la calidad de semilla corresponde a un concepto multifactorial que incluye parámetros genéticos, físicos y

biológicos. Entre estos, los más importantes son la pureza varietal, pureza física, germinación, vigor en frío, tamaño y sanidad (Peretti, 1994)

Pureza física: Es la proporción de semilla libre de impurezas (malezas, otras semillas, material inerte). Este parámetro se mide en términos porcentuales respecto al total de la semilla y es fundamental una elevada pureza física para tener una semilla de calidad.

Germinación: Corresponde al proceso mediante el cual el embrión del interior de la semilla se desarrolla y transforma en una plántula. La imbibición del embrión se produce por el ingreso de agua a la semilla a través del micrópilo y fisura la cubierta. Este parámetro se evalúa en términos porcentuales respecto al total de la semilla.

Vigor: Es la capacidad de la semilla para germinar en un amplio rango de condiciones ambientales. Habitualmente en el laboratorio se somete la semilla a condiciones adversas de frío porque el proceso de vernalización (almacenaje en frío) mejora la germinación de la semilla o rompe su dormancia. Esta evaluación se denomina *cold test* o vigor en frío y consiste en someter a las semillas a condiciones de temperatura iguales o inferiores a 10°C durante cuatro días y posteriormente a 25°C para su germinación.

El *cold test* es especialmente importante en semillas de maíz, dado que su sensibilidad a las bajas temperaturas reduce su capacidad de germinar. En semillas germinadas bajo condiciones de frío (temperatura de suelos inferior a 10°C) es habitual la presencia de radícula, pero ausencia de hipocótilo, lo que produce una reducción importante de la población de plantas del cultivo. El vigor, al igual que la germinación, se evalúa en términos porcentuales respecto del total de la semilla.

Viabilidad de la semilla: Corresponde a la capacidad que posee la semilla de germinar y formar una plántula. La proporción de semillas viables disminuye en forma progresiva a través del tiempo. Condiciones de almacenamiento, manejo de la semilla post cosecha, secado, empaque y transporte pueden dañar la viabilidad de la semilla.

Tamaño de semilla: El tamaño de la semilla se expresa de forma general por el peso de las mil semillas (Tabla 6.7). Se supone que semillas de mayor tamaño presentan un mayor vigor. Sin embargo, esta regla no es absoluta dado que, en algunas especies, semillas de mayor tamaño presentan problemas de vigor en frío, en especial cuando se someten a una elevada saturación de agua en el suelo.

Tabla 6.7. Peso de mil semillas (PMS), número de semillas por kilogramo, porcentaje de emergencia esperado y dosis de semilla expresada en semillas por metro cuadrado.

Especie	PMS* (g)	Nº semillas/kg**	% emergencia **	semillas/m ²
Ballica anual diploide	3,0 - 3,2	320.000	90	700
Ballica anual tetraploide	3,8 - 4,0	260.000	90	700
Ballica bianual diploide	2,6 - 2,8	380.000	75	700
Ballica bianual tetraploide	2,9 - 3,2	340.000	70	700
Ballica híbrida diploide	2,4 - 2,6	420.000	70	700
Ballica híbrida tetraploide	2,9 - 3,2	340.000	70	700
Ballica perenne diploide	1,9 - 2,2	520.000	70	700
Ballica perenne tetraploide	2,0 - 2,3	460.000	70	700
Festuca	2,6 - 2,8	385.000	80	700
Festulolium	3,0 - 3,2	320.000	90	700
Pasto ovillo	0,8 - 1,1	1.250.000	50	700
Bromo	4,5 - 4,7	220.000	90	700
Trébol blanco	0,5 - 0,7	1.550.000	30	450
Trébol rosado	3,4 - 3,8	280.000	80	350
Alfalfa	2,5 - 2,7	380.000	95	600
Trigo	45 - 55	20.000	85	350
Avena	38 - 45	24.000	85	380
Cebada	45 - 55	20.000	85	320
Centeno	40 - 45	25.000	85	300
Triticale	45 - 58	20.000	85	400
Maíz	250 - 300	3.600	95	10
Vicia	70 - 90	12.500	90	50
Arveja	260 - 320	3.500	90	56

(*): PMG: Peso mil semillas (g)

(**): Promedio

En Chile existe una regulación de los niveles mínimos de germinación y pureza que deben tener las semillas corrientes y certificadas. Estos valores son definidos por el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG). En semilla corriente los niveles mínimos de pureza exigidos fluctúan entre 90 y 98% y de germinación entre 70 y 85%. En semillas certificadas el rango permitido para el porcentaje de germinación es entre 75 y 85%, semillas duras y latentes del 15 a 20% y pureza varietal entre 90 y 98% (Tabla 6.8 y 6.9).

Tabla 6.8. Valores mínimos de pureza y germinación exigidos en Chile para la semilla corriente.

Especie	pureza física mínima (%)	germinación mínima (%)
Ballica anual	95	85
Ballica bianual	95	85
Ballica híbrida	95	85
Ballica perenne	95	85
Pasto ovillo	90	80
Festuca	95	85
Festulolium	98	80
Bromo	90	80
Falaris	95	75
Alfalfa	98	85
Trébol blanco	97	75
Trébol encarnado	98	75
Trébol frutilla	97	80
Trébol rosado	98	85
Trébol subterráneo	95	80
Plantago	90	70
Achicoria	97	75
Coles forrajeras	98	75
Nabos forrajeros	98	75
Raps forrajero	98	80
Remolacha forrajera	97	73
Rutabaga	98	75
Maíz	98	85
Avena	98	85
Avena strigosa	98	80
Cebada	98	85
Centeno	98	75
Trigo	98	80
Triticale	98	80
Arveja	98	85
Vicia	98	85

Tabla 6.9. Valores mínimos de germinación, semillas duras y latentes y pureza varietal exigidos en Chile para la semilla certificada.

Especie	% germinación mínima	semillas duras y latente	% pureza varietal
Ballica anual	85	20	96
Ballica bianual	85	20	96
Ballica híbrida	85	20	96
Ballica perenne	85	20	96
Pasto ovillo	80	15	90
Festuca	85	20	95
Bromo	85	20	96
Alfalfa	85	20	98
Trébol blanco	80	20	97
Trébol encarnado	75	20	98
Trébol rosado	85	20	98

Fijación biológica de nitrógeno: La fijación biológica de nitrógeno corresponde a la captura del nitrógeno atmosférico (N₂) que realizan algunas bacterias, transformándolo en amonio para producir proteína. Las leguminosas forrajeras poseen una relación simbiótica con bacterias del género *Rhizobium*, bacterias que capturan el nitrógeno atmosférico y transfieren a la planta. Leguminosas y bacterias pueden vivir en forma independiente y sólo cuando la bacteria coexiste íntimamente con la leguminosa se produce la fijación del N₂ (Fernández-Pascual, *et al.*, 2002).

Los rizobios son bacterias gram negativas aeróbicas que viven habitualmente en el suelo. La temperatura óptima de crecimiento es 25°C y es capaces de tolerar un amplio rango de pH de entre 5 y 8. En contacto con la leguminosa el rizobio induce la formación de nódulos que corresponden a una hipertrofia de la raíz. En el interior de los mismos las bacterias se transforman en bacteroides y establecen una relación metabólica con la planta. Los bacteroides reducen el nitrógeno atmosférico (N₂) a amonio (NH₄), que es exportado al tejido vegetal para la producción de proteína y otros compuestos nitrogenados. Por su parte las hojas de las plantas reducen el CO₂ a azúcares a través de la fotosíntesis y una parte de ellos son transportados a la raíz donde se ubican los rizobios que lo utilizan como fuente de energía para el proceso de fijación de N₂ (Ayanaba, 1977).

Las especies leguminosas poseen rizobios específicos y dentro de ellos cepas (*strains*) de mayor o menor capacidad de fijación (Tabla 6.10). Por ello en Chile las semillas de especies como alfalfa y trébol blanco son comercializadas con sus rizobios específicos, los cuales se inoculan mediante recubrimiento de las semillas. Esto permite la colonización rápida de la raíz por los rizobios y la formación de nódulos donde se verificará la fijación biológica de nitrógeno.

Tabla 6.10. Especies de rizobios que colonizan las especies leguminosas forrajeras.

Especie de rizobio	Especie vegetal
<i>Sinorhizobium meliloti</i> syn. <i>Rhizobium meliloti</i>	Alfalfa
	Medicagos anuales
<i>Rhizobium trifolii</i>	Trébol blanco
	Trébol rosado
	Trébol encarnado
	Trébol frutilla
	Trébol subterráneo
	Trébol alejandrino
<i>Rhizobium leguminosarum</i>	Arveja
	Vicia

El aporte de N que puede representar la fijación simbiótica a las pasturas es diverso y tiene una dependencia multifactorial, en donde un factor importante es la capacidad específica de nodulación del rizobio. Determinaciones realizadas en Chile y Nueva Zelandia han demostrado que la contribución de la fijación biológica puede alcanzar niveles de 200 a 240 kg N/ha/año, valor que permite un ahorro importante en la aplicación de nitrógeno como fertilizante (Ledgard & Steele, 1992).

Época de siembra

El momento de siembra es definido por la temperatura y humedad del suelo. Temperaturas inferiores a 8°C no son adecuadas para establecer una pastura. Cada especie posee un rango de temperaturas a la cuales germina, siendo las leguminosas el grupo menos exigente (Tabla 6.11).

Tabla 6.11. Efecto de la temperatura del suelo en el porcentaje de germinación de semillas de especies gramíneas y leguminosas, expresado en número de días requeridos para alcanzar un 75% de germinación de las semillas viables.

Especie	Temperatura (°C)				
	5	5 a 10	10	15	20
Ballica perenne	23	13	11	6	4
Pasto ovinlo	51	28	22	18	14
Bromo	40	26	22	12	8
Festuca	65	29	12	9	8
Trébol blanco	8	8	4	3	2
Alfalfa	10	6	4	3	2
Trébol rosado	15	10	8	5	3
Loteria	-	-	18	10	6

Fuente: adaptado de Hampton, Kemp & White, 1999.

Asumiendo una temperatura del suelo adecuada para la especie, la humedad pasa a ser el factor determinante. El mayor porcentaje de germinación y emergencia de las plántulas se registra cuando el suelo se encuentra a capacidad de campo, es decir, cuando este húmedo y no tiene capacidad de retener más agua. Es a ese nivel de humedad cuando las semillas logran su máximo nivel de germinación y las plantas presentan la mayor capacidad de producción.

Existen dos periodos tradicionales de establecimiento de pasturas y cultivos suplementarios: febrero – abril y agosto – octubre. Sin embargo, existiendo las condiciones favorables de humedad y temperatura de suelo, el periodo de siembra se puede extender aún más, alcanzado a casi nueve meses al año.

Fertilización a la siembra

La aplicación de fertilizantes en el surco de siembra en especial fósforo, tiene por objetivo aumentar la disponibilidad de este nutriente a las plántulas una vez formado el sistema radical (Demanet & Mora, 1999). Los fertilizantes que contienen fósforo son de baja solubilidad y, por tanto, poco móviles en el perfil del suelo. Este hecho implica que su eficiencia está directamente relacionada con la cercanía del fertilizante con el sistema radical de las plantas. Es por ello que, para siembras al voleo, se exige un nivel de fósforo en la solución del suelo superior a 30 mg/kg. En siembras en línea la eficiencia de aprovechamiento del fósforo se eleva en al menos un 300%, ya que el fertilizante queda próximo a la zona donde se desarrollarán las raíces.

Roca fosfórica: Corresponde a un producto primario que no ha sido acidulado como los superfosfatos (Tabla 6.12). La acidulación y liberación del fósforo a la solución del suelo ocurre de forma natural cuando el producto fino se mezcla con un suelo ácido o cuando se enfrenta a los ácidos orgánicos exudados por las raíces y que se ubican en la rizósfera de las plantas, en especial de las leguminosas.

Tabla 6.12. Opciones de fertilizantes fosforados.

Fósforo soluble							
Superfosfato Triple	46,0	1,0			20,0		
Superfosfato Normal	22,0	12,0			28,0		
Fosfato Monoamónico	10,0	50,0	2,0	0,1	2,4		
Fosfato Diamónico	18,0	46,0					
Roca fosfórica							
Bayovar	30,5	0,2	3,0	1,2	40,5	0,05	
Bifox (Roca Fosfórica Bahía Inglesa)	18,5		1,0	1,2	30,0		
Roca Fosfórica Arad	33,0		1,0	0,3	53,0		
Roca Fosfórica Carolina del Norte	30,0		1,2	0,6	40,0		
Superfos (Roca fosfórica parcialmente acidulada)	40,0		2,0	0,3	35,0		

La velocidad de solubilización del fósforo está relacionada con el ambiente ácido al cual se someta la roca fosfórica y la precipitación. La roca fosfórica tiene una escasa solubilidad en suelos con pH superior a seis y en áreas donde la precipitación anual es inferior a 800 mm (Besoain & Sadzawka, 1999).

Si se utilizan rocas fosfóricas en el establecimiento de pasturas, se debe considerar que el producto debe ser incorporado al suelo al menos un mes antes de la siembra. Además, la dosis de fósforo se tiene que duplicar o triplicar para que las plantas puedan tener acceso al fósforo y no presenten deficiencias en sus primeros estadios de desarrollo. Para evitar la deficiencia inicial es factible incluir en la máquina de siembra un estándar de fósforo que ira al surco de siembra (Demanet & Mora, 1999).

Al aplicar dosis elevadas de roca fosfórica a la siembra, esto es dos o tres veces la requerida de un fósforo acidulado (superfosfato), es factible eliminar o reducir la dosis de mantenimiento en los siguientes dos años.

Por otra parte, la aplicación de enmiendas calcáreas se contrapone con el uso de rocas fosfóricas. Las rocas requieren pH ácido, por lo tanto, la corrección de este parámetro a través de enmiendas genera una reducción de la velocidad de solubilización de la roca fosfórica.

Fertilización orgánica: El uso de fertilizantes orgánicos en el establecimiento de pasturas aporta grandes beneficios (Tabla 6.13). Nutrientes de alto valor biológico, incremento de la actividad biológica del suelo, aumento de la capacidad de retención de agua de los suelos y desarrollo de pasturas de alta calidad bromatológica, son algunas de las virtudes que posee el uso de este tipo de fertilizantes.

Tabla 6.13. Opciones de fertilizantes orgánicos posibles de aplicar antes de la siembra de una pastura.

Guano de pollo cama viruta	15-35	15	2,8-3,5	2,6-3,2	2,8-3,0	3,2-3,8	3,5-4,0	0,004	0,04	0,09
Guano de pollo cama capotillo	15-25	14	2,5-3,6	2,5-3,5	2,5-3,6	2,5-3,4	3,5-4,0	0,003	0,03	0,11
Guano de pollo fresco	20-30	11	3,8-4,5	3,0-3,5	3,0-3,4	0,4-0,6	1,8-2,0	0,005	0,03	0,06
Guano de pollo reciclado	18-30	12	4,0-4,5	3,2-4,2	3,6-4,0	0,5-0,7	1,8-2,2	0,008	0,05	0,07
Guano de pavo fresco	25-30	9	2,4-2,6	6,0-7,0	1,5-1,8	1,4-1,6	2,5-2,8	0,004	0,23	0,23
Guano de pavo estabilizado	15-20	10	3,5-4,5	4,0-4,6	4,0-4,5	1,0-1,3	4,4-4,8	0,009	0,05	0,16
Bioestabilizado de cerdo	18-22	8	3,0-3,4	7,0-8,0	2,0-2,5	1,4-1,6	5,5-6,5	0,006	0,29	0,79

Estos productos que de forma rápida liberan los nutrientes como nitrógeno, potasio y azufre a la solución del suelo, favorecen el desarrollo de malezas que competirán con las plantas emergidas. Este problema, que puede incluso ocasionar la pérdida de la pastura, se puede enfrentar de dos formas. La primera es aplicar e incorporar el fertilizante orgánico 45 días antes de la siembra, esperar la emergencia de las malezas y aplicar un barbecho químico, con lo cual se reducirá la carga de malezas en los primeros estadios de desarrollo de la pastura. La segunda opción es sembrar con un estándar de fósforo y aplicar la fertilización orgánica después del primer pastoreo una vez que la pastura este consolidada.

Bibliografía

- Aguilera, S.M.; Borie, B.G. & Peirano, P.V., 1999. Dinámica del carbono en suelos con distintos sistemas de labranza. *Frontera Agrícola* 5(1-2): 33-38.
- Ayanaba, A. 1977. Towards better use of inoculants in the humid tropics. En: Ayanaba, A. & Dart, P.J. (eds.). *Biological Nitrogen Fixation in Farming Systems of the Tropics*, Wiley-Interscience. Chichester, England. pp. 181-187.
- Besoain, E. & Sadzawka, M.A. 1999. Fenómenos de retención de fósforo en los suelos volcánicos y sus consecuencias. En: Besoain, E.M.; Rojas, W.C. & Montenegro, B.A. (Eds.) *Las Rocas Fosfóricas y sus Posibilidades de Uso Agrícola en Chile*. Colección Libros INIA N° 2. Santiago, Chile. pp: 23-36.
- Cullen, N.A., 1966. The establishment of pasture on yellow-brown loams near Te Anau. *New Zealand journal of agricultural research* 9:363-374.
- de Brito Rodrigues, L.; de Oliveira, R.; Abe, F.R.; Brito, L.B.; Moura, D.S.; Valadares, M.C.; Grisolia, C.K.; de Oliveira, D.P. & de Oliveira, G.A.R., 2017. Ecotoxicological assessment of glyphosate-based herbicides: effects on different organisms. *Environmental Toxicology and Chemistry* 36: 1755-1763
- Demanet, F.R. 1994. Praderas y acidificación. En: Borie, B.F. (ed.) *alternativas de manejo de suelos con riesgo de acidificación*. Instituto de agroindustria. Universidad de la Frontera. Fondef 2.88. Temuco, Chile. pp: 23-43.
- Demanet, F.R. & Mora, G. María de la Luz, 1999. Efecto de la solubilidad de las fuentes de fósforo sobre la producción de una pradera permanente. *Frontera agrícola* 5(1-2): 82-86.
- Demanet, F.R., 2015. Cambio del paisaje cultural desde el bosque a la pastura permanente en la zona templada de Chile. Tesis doctoral. Escuela técnica superior de ingeniería agronómica y montes. Departamento de ingeniería forestal. Universidad de Córdoba. Córdoba, España. 245p.
- Demanet, F.R., Schnettler, M.B. & Mora, G., María de la Luz. 1999. Efecto del encalado y su relación con los nutrientes sobre la producción de pasturas en suelos ácidos. *Frontera agrícola* 5(1-2): 95-110.
- Ellies Sch.A., 1994. Limitantes físicas del suelo en la producción de forrajes. En: Latrille, L.L. (ed.). *Producción animal*. Instituto de producción animal. Facultad de ciencias agrarias. Universidad Austral de Chile. Serie B18. Action gráfica S.A. Valdivia, Chile. pp: 23-38.
- Ellies Sch. A. 1995. Efecto del manejo sobre las propiedades físicas de suelos trumaos y rojo arcillosos. *Bosque (Valdivia)* 16(2): 101-110.
- Fernández-Pascual, M.; de María, N & De Felipe, M.R., 2002. Fijación biológica de nitrógeno: factores limitantes. En: CSIC - Centro de Ciencias Medioambientales (CCMA). *Ciencia y Medio Ambiente - Segundas jornadas científicas sobre medio ambiente del CCMA-CSIC*. España. pp: 195-202.
- Hampton, J.; Kemp, P. & White, J. 1999. Pasture establishment. En: White, J. & Hodgson, J. (Eds.), *New Zealand pasture and crop science*. Oxford University Press. New Zealand. pp. 101-116.
- Heinrich, H. K. & Ellies Sch. A., 1999. El rol de la física del suelo en la producción agrícola. *Agro sur* 27(1): 43-56.
- Laitinen, P.; Rämö, S. & Siimes, K., 2007. Glyphosate translocation from plants to soiledoes this constitute a significant proportion of residues in soil? *Plant Soil*. 300: 51-60.
- Ledgard, S.F. & Steele, K.W., 1992. Biological nitrogen fixation in mixed legume/grass pastures. *Plant and Soil* 141 (1-2): 137-153.
- Mora, G. María de la Luz. 1994. Efecto del uso de enmiendas sobre las propiedades químicas del suelo. En: Borie, B.F. (ed) *Alternativas de manejo de suelos con riesgo de acidificación*. Instituto de agroindustria. Universidad de La Frontera. Fondef 2.88. Temuco, Chile. pp: 6-22.
- Mora, G. María de la Luz & Demanet, F.R., 1995. efecto de las relaciones Ca/P y Ca/K en el establecimiento de pasturas en suelos acidificados. *Frontera agrícola* 3(1):28-35
- Mora, G. María de la Luz & Demanet, F.R., 1999. Uso de enmiendas calcáreas en suelos acidificados. *Frontera agrícola* 5(1-2): 43-58.
- Mora, G. María de la Luz. 1993. Nivel de fertilidad de los suelos de la IX Región y su relación con la acidificación. *Frontera agrícola* 1(1):5-12.
- Mora, G. María de la Luz.; Alfaro, M.; Sterh, W.; Williams, P.H. & Demanet, F.R., 2004. Production and mineral composition of a Lolium multiflorum pasture growing on an acidic Andisol with two levels of acidity. *Soil Science and Plant Nutrition* 4(1): 28-40.
- Mora, G. María de la Luz; Del canto, P. & Venegas, C., 1994. Sistemas de labranza y uso de enmiendas. I. Efecto sobre las propiedades químicas del suelo. *Frontera agrícola* 2(1):18-26

- Mora, M.L., B. Schnettler & R. Demanet. 1999. Effect of liming and gypsum on soil chemistry, yield, and mineral composition of ryegrass grown in an acidic andisol. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 30(9-10): 1251-1266.
- Parra, A. L.; Díaz, C. A.; Millaleo, R.; Mora, G. María de la Luz. 2016. Differential responses of root growth and oxidative damage in ryegrass cultivars under aluminium toxicity. XI Reunión de Biología Vegetal. 28 de noviembre - 1 diciembre. Chilean Society of Plant Biologist. Chillán, Chile.
- Peirano, V.P.; Aguilera, S.M. & Borie, B.G., 1999. Balance de nitrógeno y fósforo en suelos en sistema de cero labranza. *Frontera Agrícola* 5(1-2): 39-42.
- Peretti, A. 1994. Manual para el análisis de semillas. Editorial Hemisferio Sur. INTA. 281. Buenos Aires, Argentina. 281p.
- Pochron, S.; Simon, L.; Mirza, A.; Littleton, A.; Sahebzada, F. & Yudell, M., 2020. Glyphosate but not Roundup® harms earthworms (*Eisenia fetida*). *Chemosphere* 241: 1-9.
- Reno, U.; Doyle, S.R.; Momo, F.R.; Regaldo, L. & Gagneten, A.M., 2018. Effects of glyphosate formulations on the population dynamics of two freshwater cladoceran species. *Ecotoxicology* 27: 784-793
- Rondón-Berrios, H., 2006. Hipomagnesemia. *Anales de la Facultad de Medicina*. Lima. 67(1): 38-48.
- Travlos, I.; Cheimona, N. & Bilalis, D., 2017. Glyphosate efficacy of different salt formulations and adjuvant additives on various weeds. *Agronomy* 7: 60-69.

Capítulo VII

Nitrógeno y manejo de pastoreo

Pedro Antonio Núñez Ramos
María de la Luz Mora Gil
Rolando Demanet Filippi

Contenido

Introducción	326
Estrategias de pastoreo y calidad de forraje	327
Efecto del manejo de pastoreo en el balance de nitrógeno (N)	332
Pérdidas de nitrógeno en pasturas	338
Balance de nitrógeno en sistemas pastoriles de la zona templada	344
Eficiencia en la recuperación de nitrógeno	345
Biomasa microbiana y actividad ureasa en el suelo	347
Consideraciones generales	351
Bibliografía	351

Introducción

En la región templada de Chile se centra la producción de carne y leche bovina. Esta basa su alimentación en praderas y pasturas que son pastoreadas durante todo el año con diferentes grados de intensificación. En ese sentido, el mejoramiento de los sistemas de manejo del pastoreo y el manejo adecuado de las dosis de aplicación de fertilizantes nitrogenados han permitido el aumento de la carga animal, frecuencia e intensidad de utilización y productividad de los pastizales.

En diferentes pasturas del mundo se han estudiado los impactos negativos del uso del nitrógeno (N) en los sistemas ganaderos. Los pastizales utilizados en la ganadería del sur de Chile no escapan a esta realidad en el manejo de N. La salida de N de estos sistemas hacia la atmósfera, cuerpos de agua y ecosistemas cercanos, provocan contaminación ambiental con efectos negativos al medio ambiente.

El N es el nutriente esencial de mayor concentración encontrado en forma orgánica e inorgánica en las plantas (Benton *et al.*, 1991; Steubing *et al.*, 2002; Hofman & Cleemput, 2004; Mosier & Galloway, 2005). Este es aplicado como fertilizante en los sistemas ganaderos, con el objetivo de mantener los niveles óptimos de producción y calidad del forraje ofertado a los animales en pastoreo. Las dosis de aplicación de fertilizantes nitrogenados en la zona templada son variables y depende de diversos factores, tales como, la longevidad de la pastura, composición botánica, área agroecológica, uso de riego, tipo de suelo y sistema productivo. El rango de aplicación de N se ubica entre los 30 y 400 kg N/ha (Ordoñez, 2003; Mora *et al.*, 2004a; Mora *et al.*, 2004b; Alfaro & Salazar, 2005; Alfaro *et al.*, 2006b; Mora *et al.*, 2006; Mora *et al.*, 2007; Demanet, 2019; Demanet & Canales, 2021).

Las altas dosis de N utilizadas en algunos pastizales indicarían que este elemento podría estar generando un impacto negativo en el ambiente a través de las pérdidas de compuestos nitrogenados por lixiviación en forma de nitratos y volatilización, como gases nitrogenados (Strebel *et al.*, 1989; Aulakh *et al.*, 1992; Sutton *et al.*, 1993). La eficiencia de utilización de N se define como la relación entre el N absorbido por las plantas y el N total que entra al sistema y que es dependiente de las prácticas de manejo utilizadas en los sistemas agropecuarios (Paramasivam & Alva, 1997). La disminución de las pérdidas de N se manifiesta en un incremento en la eficiencia, aumento de los volúmenes de producción y calidad del forraje y consecuentemente en una reducción de contaminantes en el ambiente (Di & Cameron, 2004).

En los sistemas ganaderos, las pérdidas de N pueden variar entre un 30 y un 60% del N total aplicado (Hawkins & Scholefield, 2000; Jarvis, 2002; Alfaro *et al.*, 2007). En ese sentido, mediciones realizadas en la zona templada han evidenciado pérdidas de N en los sistemas de producción ganaderos con animales bovinos (Núñez *et al.* 2007; Núñez *et al.* 2010a y 2010b; Núñez *et al.* 2012b y 2012c; Núñez *et al.* 2019; Núñez *et al.* 2021). Estos investigadores demostraron que las pérdidas de N son variables y que dependen de las condiciones particulares de cada suelo, así como del tipo de pastoreo. Las pérdidas de N por lixiviación, volatilización y/o emisión, son provocadas, además, por los excedentes de N eliminados por heces y orina sobre los pastizales. Se han reportado

pérdidas por lixiviación variables en un rango de 3 a 200 kg N/ha/año. Además, las pérdidas de NH₃ son también muy variables, ya que su emisión depende de la influencia de diversos factores ambientales como son las condiciones de clima, suelo y sistema de manejo del pastoreo (Núñez *et al.*, 2007a). En la zona de Osorno se han informado pérdidas de N orgánico desde las praderas por lixiviación y escorrentía que han sido atribuidas al tipo de fertilizante aplicado, dosis de aplicación, carga animal, condiciones climáticas, tipo de suelo, tipo de cultivo y manejo del sistema de producción (Alfaro & Salazar, 2005; Alfaro *et al.* 2006a, 2007).

Estrategias de pastoreo y calidad de forraje

La zona templada de Chile es un área que permite sustentar sistemas pastoriles de alto rendimiento en producción de carne y leche. Los pastizales son la fuente de alimentación más abundante para el ganado y su utilización en forma correcta representa la opción de menor costo (Núñez *et al.*, 2014). Los cálculos teóricos basados en la productividad y calidad de los pastizales han indicado que en esta zona es posible alcanzar una producción de 10.000 litros de leche/ha la que puede subir hasta valores superiores a 30.000 litros/ha si se incorporan a la ración alimentos concentrados de alto valor nutricional. En la actualidad, los sistemas de producción de esta zona presentan valores inferiores a los ya mencionados, producto del bajo nivel de rendimiento que poseen las praderas y pasturas.

El bajo nivel productivo de los pastizales está relacionado con el mal manejo del pastoreo, deficiencias en la fertilización y baja regulación de la carga animal. Junto a lo anterior se debe considerar la estacionalidad de la producción de los pastizales, donde más del 50% del forraje se produce en primavera y en invierno un porcentaje inferior al 10%, situación que limita la producción ganadera en el año de manera estable. Todos estos factores, influyen en forma directa en la eficiencia del uso de los recursos forrajeros, factor determinante en la gestión técnico-económica de las explotaciones ganaderas.

Las investigaciones realizadas en las zonas templadas han indicado que el manejo de la frecuencia e intensidad de pastoreo tienen influencia en la estructura de los pastizales (Ru & Fortune, 1996; Ru & Fortune, 1999; Ru & Fortune, 2000; McKenzie *et al.*, 2006a; McKenzie *et al.*, 2006b), en el crecimiento de las plantas constituyentes del pastizal (McKenzie *et al.*, 2006a) y en la persistencia (McKenzie *et al.*, 2006b). Además, produce cambios en la cobertura (Mennerer *et al.*, 2005), calidad nutricional (Guevara *et al.*, 1996) y disponibilidad de forraje para el animal. Estos trabajos demostraron que la productividad y composición botánica de los pastizales puede ser modificado a través del manejo de la frecuencia e intensidad del pastoreo (Vesk & Westoby, 2001; Güsewell *et al.*, 2007).

Frecuencia e intensidad de pastoreo: El tiempo que transcurre entre pastoreos se denomina frecuencia de pastoreo y está determinado por la disponibilidad de forraje que existe en cada época del año. La frecuencia de pastoreo que se utiliza en un sistema ganadero determina la cantidad de forraje consumido por los tipos de animales. Por su parte, la intensidad de pastoreo indica el nivel de residuo que dejan los animales una vez pastoreada la pradera. Esto genera una regulación del consumo que se realiza con los animales y es un índice de medición de la eficiencia de utilización de los pastizales. La intensidad de pastoreo puede ser controlada a través de la altura del residuo o de la cantidad de fitomasa post pastoreo.

Mediciones realizadas en la Estación Experimental Maquehue de la Universidad de la Frontera ubicada en la Región de La Araucanía (38°50' LS, 72°42'), Chile, demostraron que al someter a una pastura polifítica a distintas frecuencias e intensidades de pastoreo se produce una modificación en la productividad, composición botánica y calidad nutricional (Figura 7.1)

Productividad de las pasturas: El uso de las pasturas en forma intensa permite alcanzar las máximas productividades (Tabla 7.1), sin embargo, cuando esta intensidad se combina con una alta frecuencia, las pasturas modifican su composición botánica poblando el pastizal de especies residentes no deseadas. En pasturas polifíticas el incremento de los intervalos entre pastoreo genera un aumento de la producción de forraje anual (Mislevy & Brown, 1991).

Al analizar las estaciones del año en forma separada existe claridad en el uso intenso y frecuente de la pastura en primavera, ya que genera una mayor producción de materia seca (Kristensen, 1998; McKenzie *et al.*, 2006a) e incrementa la persistencia de las pasturas (McKenzie *et al.*, 2006b), sin embargo, modifica la composición botánica (Demanet, 2019).



Figura 7.1. Vacas Holsteins Friesian en pastoreo A. Pastoreo intenso y frecuente en primavera; B. Pastoreo suave e infrecuente en primavera; C. Animales pastoreando una pastura polifítica; D. El consumo de forraje varía con la carga animal y el tiempo de pastoreo.

Tabla 7.1. Producción de forraje (kg MS/ha) durante el periodo de pastoreo. Estación Experimental Maquehue, Universidad de La Frontera. Temuco, Chile.

Estación	Control	PFI	PFS	PPFI	PPFS
Primavera	3.054 c	4.540 ab	3.634 bc	4.721 a	3.800 bc
Verano	1.235 b	1.604 a	870 c	1.527 a	1.004 c
Otoño	1.553 b	2.533 a	1.671 b	2.385 a	1.623 b
Invierno	1.264 b	1.707 a	1.091 b	1.256 b	1.747 a
Total	7.107 c	10.383 a	7.265 c	9.888 a	8.174 b

Control: Sin pastoreo; PFI: Pastoreo frecuente intenso; PFS: Pastoreo frecuente suave; PPFI: Pastoreo poco frecuente intenso; PPFS: Pastoreo poco frecuente suave; MS: materia seca.

Medias que no comparten una letra en común en una misma fila son diferentes según Prueba de Tukey ($p > 0,05$).

Fuente: Núñez *et al.*, 2014.

En un estudio realizado en México en la pastura de *Digitaria decumbens* Stent y *Dichanthium annulatum* Forsk no se reportaron diferencias de producción entre los pastoreos de diferente intensidad en la estación seca, pero si en la estación húmeda. Las plantas que durante el invierno son sometidas a estrés por frío, retardan su crecimiento, bajan la tasa diaria y la producción total. Por lo tanto, un pastoreo intenso durante esta estación garantiza una óptima producción en la primavera siguiente (Ortega-S *et al.*, 2007).

La intensidad y frecuencia de pastoreo no modifica en forma significativa la distribución estacional de la producción de materia seca, pero si la tasa de crecimiento diario, demostrando que el uso intenso produce tasas mayores que las logradas en pastoreos suaves donde el residuo en post utilización es mayor (Figura 7.2).

Con pastoreos suaves la capacidad de recuperación de los pastizales se ve interferida por la presencia de materia senescente acumulada en la base de las plantas que genera un gasto de energía de mantención superior respecto a aquellas plantas con menor residuo (uso intenso). La tasa de pérdida de tejido vegetal supera a la de formación situación que produce una disminución de la acumulación neta de tejido foliar (Bircham & Hodgson, 1983).

Además, la acumulación de material senescente en la pradera reduce la iniciación de nuevos macollos y afecta la calidad y persistencia de las especies (Korte, 1986; Fulkerson & Snack, 1994) (Tabla 7.2). Los estudios realizados por Canseco *et al.* (2007) y Reyes *et al.* (2005), en la zona templada de Chile han ratificado que la intensidad de uso es un factor determinante en la producción y calidad de las pasturas ofertadas al ganado en pastoreo. El equilibrio productivo se logra en los sistemas donde el uso en pastoreo no interfiere sobre los centros de acumulación de carbohidratos de las plantas y deja post utilización un área foliar suficiente para permitir la recuperación del pastizal (Demanet, 2019).

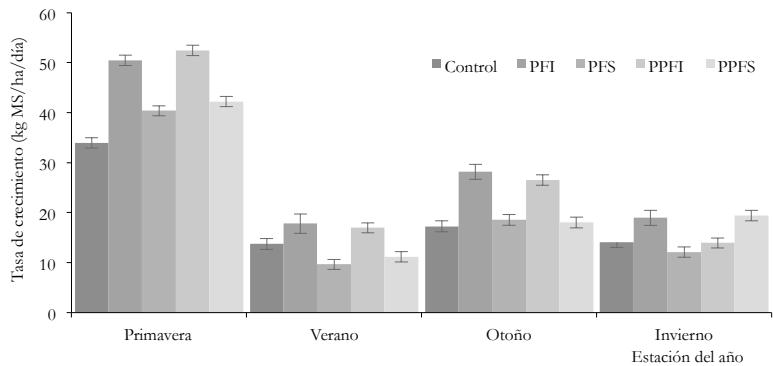


Figura 7.2. Tasa de crecimiento diaria de una pastura sometida a diferentes intensidad y frecuencias de pastoreo. Estación Experimental Maquehue, Universidad de La Frontera. Temuco, Chile.

Control: control sin pastoreo; FI: frecuente intenso; FS: frecuente suave; PFI: poco frecuente intenso; PFS: poco frecuente suave
Fuente: Núñez *et al.*, 2014.

Tabla 7.2. Número de macollos y estolones en especies componentes del pastizal medido en las diferentes estaciones del año. Estación Experimental Maquehue, Universidad de La Frontera. Temuco, Chile.

Estación del año	Macollos/m ²				Total	Estolones/m ²
	<i>Lp</i>	<i>Fa</i>	<i>Dg</i>	<i>Mm</i>		
Primavera						
Control	789 c	60 c	1.517 a	72 c	2.366 c	85 b
PFI	1.267 a	177 a	1.424 a	89 b	2.868 a	126 a
PFS	964 b	181 a	1.191 b	113 a	2.336 d	131 a
PPFI	1.133 a	188 a	1.251 b	81 bc	2.572 b	121 a
PPFS	1.009 b	141 b	1.240 b	99 a	2.390 c	92 b
Verano						
Control	947 a	28 d	533 d	460 b	1.508 a	24 b
PFI	710 b	97 a	734 c	505 a	1.541 a	39 a
PFS	508 c	46 b	880 a	464 b	1.434 b	31 a
PPFI	655 b	42 c	729 c	415 c	1.426 b	24 b
PPFS	430 c	55 b	798 b	489 a	1.283 c	44 a
Otoño						
Control	980 b	40 d	655 c	228 a	1.675 b	nd
PFI	1.100 a	120 a	757 b	220 a	1.977 a	nd
PFS	650 d	60 b	800 a	200 b	1.510 d	nd
PPFI	900 c	50 c	680 c	205 b	1.630 c	nd
PPFS	600 d	50 c	860 a	234 a	1.510 d	nd
Invierno						
Control	451 a	75 b	1.447 a	48 a	1.973 b	43 a
PFI	426 a	124 a	1.439 a	57 a	1.989 a	41 a
PFS	480 a	76 b	1.364 b	48 a	1.920 c	45 a
PPFI	469 a	118 a	1.406 a	56 a	1.993 a	41 a
PPFS	486 a	134 a	1.483 a	47 a	2.103 a	29 b

Lp: *Lolium perenne* L.; Fa: *Festuca arundinacea* Schreb.; Dg: *Dactylis glomerata* L.; Mm: Macollos muertos; Tr: *Trifolium repens* L.

Control: control sin pastoreo; FI: frecuente intenso; FS: frecuente suave; PFI: poco frecuente intenso; PFS: poco frecuente suave

Medias que no comparten una letra en común en una misma fila son diferentes según Prueba de Tukey ($p > 0,05$)

En las estaciones de primavera e invierno las pasturas presentan una mayor cantidad de macollos, respecto al verano y otoño, situación que está relacionada con el estrés hídrico que sufren las plantas. En primavera, existe una población de un 60% más de macollos que en verano y otoño; y en invierno esta densidad aumenta en 30%.

La intensidad y frecuencia de uso tiene una influencia directa en el número de macollos y cobertura de las pasturas. Los pastoreos intensos permiten el incremento de al menos 10% en el número de macollos por unidad de superficie y los pastoreos frecuentes reducen su densidad en al menos un 5%, respecto al uso de pastoreos laxos.

Mckenzie *et al.* (2006b) y Wen Yu *et al.* (2008), demostraron que un cambio en la intensidad de pastoreo tiene efectos en la cantidad de macollos producidos en la pradera. Las gramíneas tienen un alto poder de competencia con otras especies residentes, tanto por espacio como por nutrientes y por eso tienen una mayor persistencia y en pastoreo son las especies macolladora y de alta densidad como es *Dactylis glomerata* L. las que dominan la composición botánica.

Composición botánica de la pastura: Las especies componentes de un pastizal tienen una respuesta diferente a la frecuencia e intensidad de pastoreo. Formoso (2005) menciona que en pasturas compuestas por *Festuca arundinacea* Schreb., *Lotus* sp. y *Trifolium repens* L., el pastoreo infrecuente produce una mayor acumulación de biomasa respecto al de tipo frecuente (Ortiz *et al.* 2006), lo que indican que para lograr en esta pastura la mayor producción de materia seca se debe desarrollar la combinación de mayor intensidad y menor frecuencia en pastoreos de invierno.

En cada estación del año la composición botánica de una pastura polifíticas cambia, según la frecuencia e intensidad de pastoreo. Mediciones realizadas con pasturas polifíticas compuestas por *Lolium perenne* L., *Dactylis glomerata* L., *Festuca arundinacea* Schreb. y *Trifolium repens* L., han demostrado que en todas las estaciones del año se produce un dominio de *Lolium perenne* L. y *Dactylis glomerata* L., por sobre *Festuca arundinacea* Schreb. y *Trifolium repens* L. (Tabla 7.3.) debido a la capacidad de competencia y tolerancia que tienen en las diferentes intensidades y frecuencias de uso (Demagnet, 2019).

Tabla 7.3. Aporte porcentual de las especies a la composición botánica de una pastura polifítica. Estación Experimental Maquehue, Universidad de La Frontera. Temuco, Chile.

Estación del año	Lp	Fa	Dg	Tr	Otras	MM
Primavera						
Control	62,3 a	0,6 c	23,1 c	1,5 c	1,3 d	11,2 a
PFI	29,6 b	3,3 ab	48,1 a	9,8 a	2,2 c	7,0 b
PFS	22,0 c	2,1 ab	52,2 a	7,2 a	6,4 b	10,1 a
PPFI	30,2 b	4,2 a	41,6 b	11,3 a	2,4 c	10,3 a
PPFS	20,7 c	1,9 ab	49,9 a	4,9 b	9,7 a	12,9 a
Verano						
Control	14,9 a	1,6 c	56,6 a	1,5 a	2,1 a	23,3 d
PFI	17,1 a	10,6 a	27,0 d	2,4 a	0,3 c	42,6 b
PFS	8,3 b	1,2 c	31,6 cd	0,7 b	0,9 b	57,3 a
PPFI	16,6 a	4,2 b	38,2 c	1,1 ab	1,3 b	38,6 c
PPFS	5,0 c	4,3 b	45,0 b	0,1 c	0,0 d	45,6 b
Otoño						
Control	23,3 c	0,7 c	35,3 c	1,3 b	6,1 a	33,3 a
PFI	27,8 b	1,8 a	37,8 b	2,4 b	5,3 a	24,9 b
PFS	23,7 c	0,7 c	45,4 a	2,0 b	2,9 b	25,3 b
PPFI	35,1 a	2,0 a	39,9 b	1,9 a	1,4 c	19,7 c
PPFS	23,0 c	1,2 b	38,9 b	1,1 b	3,5 b	32,3 a
Invierno						
Control	28,8 a	5,9 a	36,0 b	2,9 a	3,7 a	22,7 a
PFI	21,0 b	6,7 a	47,9 a	2,1 a	1,1 b	21,2 a
PFS	27,1 a	5,8 a	42,0 a	4,5 a	2,8 a	17,8 b
PPFI	24,4 ab	1,9 c	53,0 c	6,4 b	0,3 c	14,0 c
PPFS	26,3 ab	3,5 b	45,6 b	3,3 b	0,8 b	20,5 a

Control: control sin pastoreo; FI: frecuente intenso; FS: frecuente suave; PFI: poco frecuente intenso; PFS: poco frecuente suave

Lp: *Lolium perenne* L., Dg: *Dactylis glomerata* L., Fa: *Festuca arundinacea* Schreb., Tr: *Trifolium repens* L., MM: Material muerto, Otras: Otras especies

Medias que no comparten una letra en común en una misma columna y estación son diferentes según Prueba de Tukey ($p > 0,05$)

Fuente: Núñez *et al.*, 2014

La intensidad de pastoreo afecta la abundancia y distribución espacial de las especies en forma creciente o decreciente (Vesk & Westoby, 2001), generando cambios en la proporción y arquitectura de las especies (Güsewell *et al.*, 2007). El incremento de la intensidad y frecuencia de pastoreo produce un efecto benéfico en el desarrollo y crecimiento de *Lolium perenne* L. y *Dactylis glomerata* L. en todas las estaciones del año. Sin embargo, los pastoreos intensos sólo tienen un efecto positivo sobre el aporte de trébol blanco en las estaciones de primavera e invierno.

Calidad nutricional de la pastura: En las zonas templadas del mundo la calidad del forraje ofrecido al ganado presenta variaciones a través del año. Las condiciones climáticas de cada estación, la composición botánica y la intensidad de uso son tres factores que modifican el valor nutricional del forraje. Un elemento relevante en la calidad nutricional del forraje es el contenido de materia seca que cambia a través del año determinando variaciones en la concentración de nutrientes del forraje. La frecuencia e intensidad determinan valores diversos de materia seca en cada estación del año tanto pre como post pastoreo. Es así como en la Tabla 7.4 se observan estos cambios que demuestran que en pre y post pastoreo los mayores porcentajes de materia seca se registran en verano y los menores en otoño. En todas las estaciones del año el incremento de la intensidad de uso permite la oferta de un forraje tierno con bajo contenido de materia seca.

Tabla 7.4. Contenido de materia seca de una pastura polifítica según estación del año pre y post pastoreo manejada bajo distintos niveles de frecuencia e intensidad. Estación Experimental Maquehue, Universidad de La Frontera. Temuco, Chile.

Estación del año	Porcentaje de materia seca	
	Pre pastoreo	Post pastoreo
Primavera		
Control	26,2 a	34,4 a
PFI	21,4 b	30,7 b
PFS	23,0 a	30,0 b
PPFI	24,4 a	34,7 a
PPFS	24,4 a	34,0 a
Verano		
Control	36,2 b	41,4 b
PFI	34,6 b	41,8 b
PFS	39,4 a	44,0 a
PPFI	33,3 b	39,9 b
PPFS	38,6 a	42,9 ab
Otoño		
Control	22,0 a	22,5 b
PFI	19,3 b	23,4 b
PFS	20,4 ab	22,8 b
PPFI	15,3 c	17,1 c
PPFS	15,2 c	31,7 a
Invierno		
Control	20,7 b	21,5 b
PFI	23,6 a	25,2 a
PFS	21,4 ab	25,3 a
PPFI	22,4 a	25,0 a
PPFS	22,4 a	26,1 a

Control: control sin pastoreo; FI: frecuente intenso; FS: frecuente suave; PFI: poco frecuente intenso; PFS: poco frecuente suave

Medias que no comparten una letra en común en una misma columna y estación son diferentes según Prueba de Tukey ($p > 0,05$)

Fuente: Núñez *et al.*, 2014.

En relación con el efecto de la frecuencia e intensidad de utilización en la calidad de los pastizales, se ha observado que el pastoreo infrecuente suave que es más productivo que otras opciones de utilización, genera turnos de pastoreo más largos y residuos más altos, factor que permite una mayor acumulación de material muerto en primavera y una reducción en la calidad del forraje a consumir por los animales (Tabla 7.5).

La mayor parte de los cambios en la calidad de la pastura se explican por la composición botánica y el aporte de las especies de alto valor nutricional a la producción de materia seca. Además, la calidad está definida por el estado fenológico de las plantas al momento del pastoreo. Según McKenzie *et al.* (2006a, 2006b) y Scimone *et al.* (2007) la práctica de pastoreos intensos y frecuentes modifican la estructura y composición botánica de la pradera mejorando su calidad. Por su parte, Guevara *et al.* (1996), menciona que la frecuencia de pastoreo no tiene efectos en la composición de la pradera, atribuyéndose el efecto sólo a la intensidad que coincide con los resultados obtenidos por García *et al.* (2003) en pasturas *Dactylis glomerata* L. en la zona templada de Francia. En

Chile Canseco *et al.* (2007), demostraron que los cambios climáticos de las estaciones del año y la intensidad de uso modifican la composición botánica y calidad de las pasturas manejadas bajo pastoreo. Son los pastoreos intensos los que permiten generar pastizales de alta calidad nutricional para el ganado.

Tabla 7.5. Calidad nutricional de una pastura polifítica sometida a diferentes frecuencias e intensidades de pastoreo. Estación Experimental Maquehue, Universidad de La Frontera, Temuco, Chile.

Estación del año	ton MS/ha	PC (%)	FDN (%)	FDA (%)	EM (Mcal/kg)
Primavera					
Control	3,1 c	14,39 b	52,87 a	28,62 a	2,45 a
PFI	4,5 ab	18,24 a	46,87 b	26,15 a	2,54 a
PFS	3,6 bc	16,55 ab	46,64 b	26,32 a	2,53 a
PPFI	4,7 a	17,57 a	47,67 b	27,52 a	2,49 a
PPFS	3,8 bc	16,30 ab	47,08 b	27,22 a	2,50 a
Verano					
Control	1,2 b	11,41 c	53,81 b	33,04 a	2,26 b
PFI	1,6 a	14,70 b	57,35 a	32,20 a	2,32 b
PFS	0,9 c	10,65 c	58,25 a	34,55 a	2,18 c
PPFI	1,5 a	16,16 a	56,90 a	27,10 b	2,50 a
PPFS	1,0 c	14,20 b	58,30 a	31,70 a	2,33 b
Otoño					
Control	1,6 b	18,16 a	56,98 a	28,92 a	2,44 a
PFI	2,5 a	19,68 a	52,08 b	28,86 a	2,47 a
PFS	1,7 ab	19,13 a	53,95 b	29,11 a	2,49 a
PPFI	2,4 ab	18,83 a	52,09 b	26,40 b	2,53 a
PPFS	1,6 ab	18,78 a	56,21 a	26,49 b	2,53 a
Invierno					
Control	1,3 b	17,72 b	47,68 a	24,74 b	2,54 a
PFI	1,7 a	19,97 a	45,97 b	24,13 b	2,62 a
PFS	1,1 b	18,01 b	44,12 b	23,46 bc	2,64 a
PPFI	1,3 b	16,87 c	42,40 c	22,61 c	2,67 a
PPFS	1,8 a	19,56 a	48,05 a	26,15 a	2,54 a

Control: control sin pastoreo; FI: frecuente intenso; FS: frecuente suave; PFI: poco frecuente intenso; PFS: poco frecuente suave

PC: proteína cruda; FDN: fibra detergente neutra; FDA: fibra detergente ácida; EM: energía metabolizable; MS: materia seca.

Medias que no comparten una letra en común en una misma columna y estación son diferentes según Prueba de Tukey ($p > 0,05$)

Fuente: Núñez *et al.*, 2014

Efecto del manejo de pastoreo en el balance de nitrógeno (N)

Disponibilidad de N en el suelo: La cantidad de N inorgánico disponible en el suelo en las formas de NH_4^+ y NO_3^- presenta variaciones según la estación del año y el sistema de pastoreo (Figura 7.3). El N disponible aumenta en las estaciones de verano y otoño donde las pérdidas por lixiviación son menores en comparación con primavera e invierno. En el periodo de menor precipitación, se incrementan las pérdidas de N gaseoso, procesos que afectan el balance anual.

La concentración de N-NH_4^+ disponible en el suelo cambia según la estación de crecimiento y la frecuencia e intensidad de pastoreo, donde la mayor variación se presenta en pastoreos intensos (Figura 7.4). El incremento en la disponibilidad de NH_4^+ en sistemas pastoriles está relacionado con el tiempo que los animales pastorean, aporte de N vía fecas, orina y plantas, así como la incorporación de N al sistema a través de la fijación simbiótica de las leguminosas y la aplicación de fertilizantes nitrogenados (Whitehead, 2000)

Los periodos de mayor disponibilidad de NH_4^+ ocurren en verano, estación donde las plantas se encuentran sometidas a estrés por sequía y, por tanto, tienen una menor absorción de N, lo que incrementa la disponibilidad en el suelo. Sin embargo, esta mayor disponibilidad de NH_4^+ también explica las pérdidas de NH_3 en esta estación, aunque en menor proporción. Si se relaciona esta mayor disponibilidad con menores entradas y mayores pérdidas de N en verano y se comparan con el balance de N de la estación, se tiene que este es negativo, demostrando con esto, que una mayor disponibilidad de N en el suelo en la estación de menor demanda, potencia las emisiones y reduce la cantidad de nitrógeno disponible en el suelo.

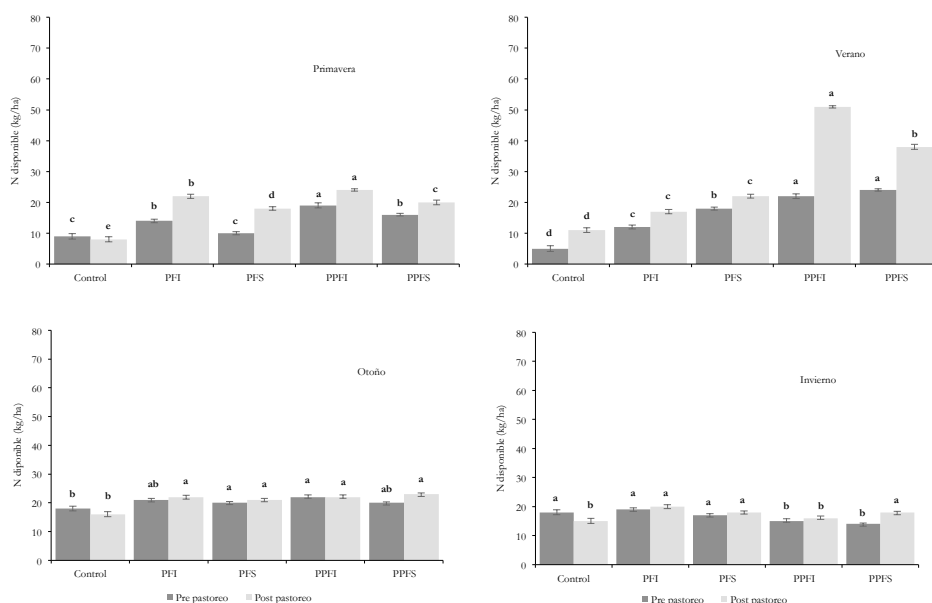


Figura 7.3. Nitrógeno disponible ($\text{N-NO}_3^- + \text{N-NH}_4^+$) en el suelo a una profundidad de 10 cm en pre y post pastoreo en las estaciones del año. Estación Experimental Maquehue, Universidad de La Frontera. Temuco, Chile.

Control: control sin pastoreo; PFI: frecuente intenso; PFS: frecuente suave; PPFI: poco frecuente intenso; PPFS: poco frecuente suave. Medias que no comparten una letra en común en una misma columna y estación son diferentes según Prueba de Tukey ($p < 0,05$)

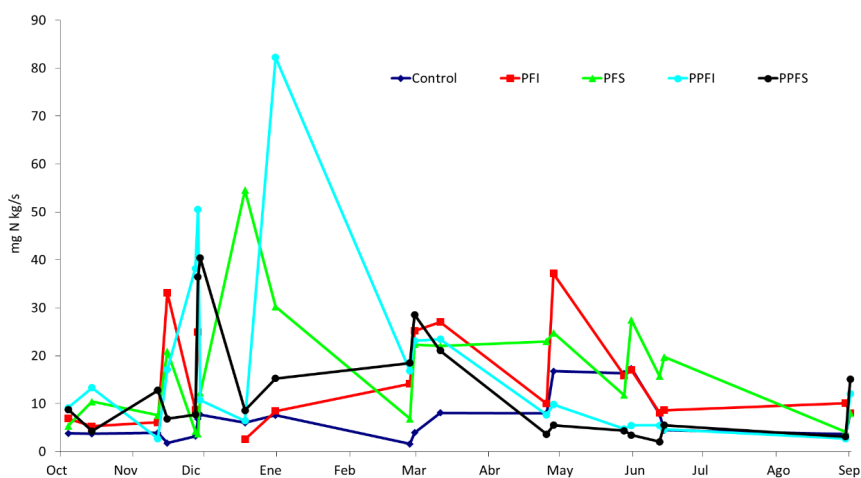


Figura 7.4. Fluctuación de la concentración de N-NH_4^+ en el suelo durante la temporada de pastoreo. Estación Experimental Maquehue, Universidad de La Frontera. Temuco, Chile.

Control: control sin pastoreo; PFI: frecuente intenso; PFS: frecuente suave; PPFI: poco frecuente intenso; PPFS: poco frecuente suave. Medias que no comparten una letra en común en una misma columna y estación son diferentes según Prueba de Tukey ($p < 0,05$)

La concentración de NO_3^- disponible en el suelo también cambia de acuerdo con las estaciones del año y el sistema pastoril (Figura 7.5). La menor concentración de NO_3^- en el suelo se encuentra en pastizales que son sometidos a pastoreos intensivos, en especial, en el periodo de primavera donde se desarrolla el mayor crecimiento vegetal. En este periodo las plantas absorben más NO_3^- , como también se producen las mayores pérdidas por lixiviación (22,9 kg N/ha), esto explica la reducción de su disponibilidad en el suelo.

La reducción en la disponibilidad de NO_3^- en el suelo, permite una mayor pérdida por lixiviación del ion por la misma naturaleza de carga de este y efecto de repelencia de las cargas negativas presentes en la materia orgánica (MO), arcillas y coloides del suelo. Las variaciones estacionales de NO_3^- afectan los procesos de pérdidas por lixiviación y emisión de gases y con ello el balance total de N en el suelo.

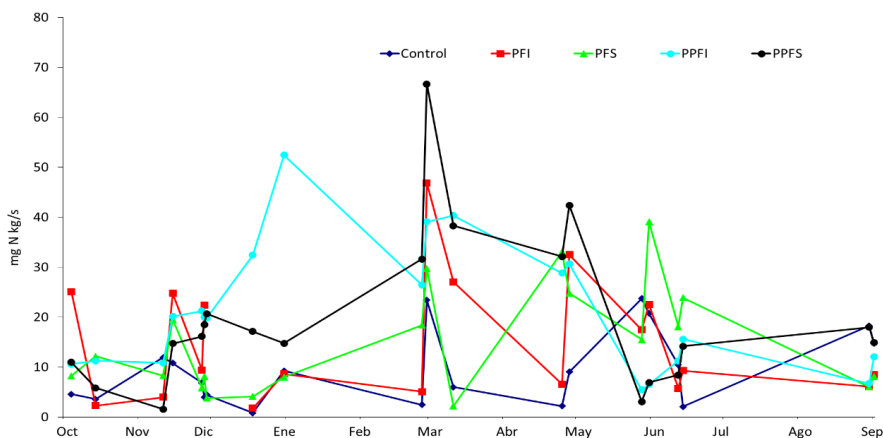


Figura 7.5. Fluctuación de la concentración de N-NO_3^- en el suelo durante la temporada de pastoreo. Estación Experimental Maquehue, Universidad de La Frontera, Temuco, Chile.

Control: control sin pastoreo; PFI: frecuente intenso; PFS: frecuente suave; PPFI: poco frecuente intenso; PPFS: poco frecuente suave

La cantidad total de N en el suelo es menor en primavera en comparación con las estaciones de verano, otoño e invierno, lo que está relacionado con la capacidad y velocidad de absorción de N de las plantas. En primavera la mayor demanda de N de las plantas generado por el rápido crecimiento reduce la disponibilidad de este elemento producto de la mayor extracción. Sin embargo, las mayores cantidades de N reciclado ocurren en primavera donde hay más tiempo de pastoreo y, por tanto, se producen cambios en el N disponible en el suelo (Murphy, 1986) y se incrementa la producción por un uso más eficiente.

El uso de los pastizales en pastoreo incrementa la cantidad de N total en el suelo. En post pastoreo hay un aumento de la cantidad de NH_4^+ y NO_3^- en el suelo producto del reciclaje que realizan los animales. Las cantidades de N presentes en el suelo cambian según la frecuencia e intensidad de pastoreo y la estación del año (Figura 7.6).

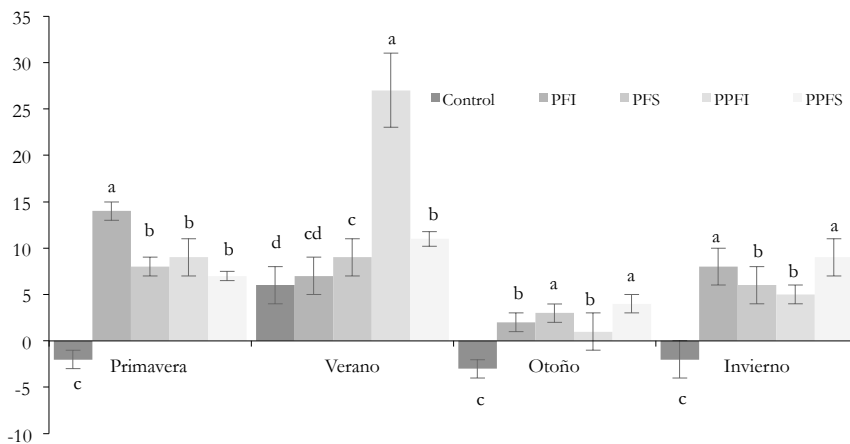


Figura 7.6. Diferencias entre el nitrógeno disponible en el suelo ($\text{N-NO}_3^- + \text{N-NH}_4^+$) en pre y post pastoreo. Estación Experimental Maquehue, Universidad de La Frontera, Temuco, Chile.

Control: control sin pastoreo; PFI: frecuente intenso; PFS: frecuente suave; PPFI: poco frecuente intenso; PPFS: poco frecuente suave
Medias que no comparten una letra en común en una misma columna y estación son diferentes según Prueba de Tukey ($p > 0,05$)

Al comparar los sistemas pastoriles y aquellos que son utilizados solo bajo corte se puede clarificar la importancia que tiene el reciclaje de nutrientes en el suelo generado por las deyecciones. En el sistema de producción de pasturas, la excreta animal compuesta por orina y fecas, es una fuente de retorno de nutrientes al suelo (Beetz, 2001; McGechan & Topp, 2004), donde el balance de NH_4^+ y NO_3^- sufre cambios en el proceso de nitrificación

según la intensidad de pastoreo y la dosis de mantención de la fertilización nitrogenada (Watson & Poland, 1999).

En praderas y pasturas la concentración de N decrece por efecto de la competencia entre la captación de N de las plantas y los microorganismos del suelo, lo cual tiene un efecto directo en el balance de N del suelo (Jarvis & Barraclough, 1991). Además, la velocidad de mineralización de N afecta la disponibilidad en el suelo. En invierno este proceso es limitado por las bajas temperaturas y en primavera es más rápido, ya que corresponde al periodo en que coincidentemente el crecimiento de las plantas es mayor lo cual genera una reducción en la cantidad de N disponible en el suelo (Powlson, 1993).

Los cambios producidos por las diferentes frecuencias e intensidades de pastoreo en la disponibilidad de N en el suelo han demostrado que bajo sistemas de uso intensivo y frecuente, la disponibilidad de N disminuye producto de los procesos de lixiviación generados en primavera y emisión de amoníaco en verano y otoño, todo lo cual tiene un efecto en el balance de N. El uso de los pastizales en forma frecuente e intensa genera balances de N negativos en los sistemas pastoriles.

Contenido total de N en el suelo: En un estudio realizado por Núñez *et al.* (2014) en un Andisol de la zona templada de Chile se obtuvo un valor de N total en el suelo cercano a 0,53 g/kilo equivalente a 0,53% (Tabla 7.6). Esta cifra es similar a la reportada por Borie *et al.*, (2002) en praderas: 0,57 - 0,87 % y Zagal & Córdova (2005) en cultivos: 0,39 - 0,47 %.

Tabla 7.6. Fluctuación del N total en el suelo en una pastura polifítica sometida a diferentes frecuencias e intensidades de pastoreo en las distintas estaciones del año. Estación Experimental Maquehue, Universidad de La Frontera. Temuco, Chile.

Sistema de uso	Nitrógeno total promedio (g/kg de suelo) por estación del año										Promedio (%)	
	Primavera		Verano		Otoño		Invierno		Anual			
Control	5,0	bB	5,5	aA	5,5	aA	5,5	aA	5,3	A	0,53	A
PFI	5,1	bB	5,1	bB	5,7	aA	5,4	abA	5,3	A	0,53	A
PFS	5,4	aA	5,5	aA	5,3	aAB	5,2	aA	5,4	A	0,54	A
PPFI	5,4	aA	5,2	abAB	5,1	bB	5,5	aA	5,3	A	0,53	A
PPFS	4,4	bC	5,7	aA	5,6	aA	5,6	aA	5,3	A	0,53	A

Control: control sin pastoreo; FI: frecuente intenso; FS: frecuente suave; PFI: poco frecuente intenso; PFS: poco frecuente suave

Diferentes letras minúsculas entre una misma fila indican diferencias significativas $P \leq 0,05$

Diferentes letras mayúsculas entre filas de una misma columna indican diferencias significativas $P \leq 0,05$.

Se ha demostrado que el pastoreo tiene efecto en la cantidad de N disponible en el suelo, sin embargo, este no se refleja en el contenido de N total anual (Tabla 7.6). Estos resultados demuestran la estabilidad de la materia orgánica de los Andisoles y coinciden con los contenidos reportados por Clegg (2006) en el Reino Unido: 0,63 - 0,71% de N total en un suelo ácido en una pastura templada, manejada con fertilizante y pastoreo. La frecuencia e intensidad de pastoreo no tiene influencia en el contenido de N total en el suelo y tampoco en el balance de este nutriente, pero si la estación del año donde en primavera y verano presentan menores valores de N total.

Nitrógeno en fecas y orina: El N excretado por la orina y fecas está relacionado con el tipo de alimentación, proporción de pradera en la dieta, cantidad de N presente en el forraje consumido y eficiencia de conversión (Jarvis, 1993; Rotz, 2004; Hoekstra *et al.*, 2007). Además, influyen en el reciclaje de N el tipo y capacidad productiva de los animales (Decau *et al.*, 2003), estacionalidad de la producción (Cabrera *et al.*, 2006), manejo de pastoreo, tiempo de pastoreo, suplementación del ganado, número de deyección y las condiciones ambientales.

El reciclaje de N a través del año cambia según la estación (Figura 7.7). Es habitual que las plantas que se encuentran en estado vegetativo presenten una alta relación hoja – tallo, baja proporción de material senescente y alta concentración de N foliar. El consumo de forraje con alto contenido de N foliar produce una mayor cantidad de N potencial para ser excretado a los pastizales a través de fecas y orina (Steinshamn *et al.*, 2006).

En la zona templada en los sistemas pastoriles la concentración de N en fecas y orinas son superiores durante el periodo de otoño (32 a 55 kg N/ha) y primavera (10 a 19 kg N/ha) a las que se presentan en verano (7 a 15 kg N/ha) e invierno (2 a 6 kg N/ha) lo cual está relacionado con la mayor disponibilidad y calidad del forraje en cada una de las estaciones del año (Tabla 7.7).

La frecuencia e intensidad de uso de los pastizales también influye en el reciclaje de N (Reyes *et al.*, 2000). El

incremento en la intensidad aumenta el retorno de N a la pradera producto de un aumento en el tiempo de pastoreo, incremento en la frecuencia de excreciones y área cubierta por los parches de orina y fecas (Reyes *et al.*, 2003).



Figura 7.7. Vacas secas Holsteins Friesian en pastoreo: A. Pastura polifítica pre y post pastoreo; B. Animales en rumia y en pastoreo con abundancia de forraje; C. En las temporadas de primavera y otoño la producción de pasto aumenta en volumen y calidad; D. Incremento del reciclaje de N por aportes de fecas y orina en el proceso de pastoreo.

Tabla 7.7. Aporte de N por fecas y orina en un sistema pastoril manejado bajo diferentes intensidades y frecuencias de pastoreo. Estación Experimental Maquehue, Universidad de La Frontera. Temuco, Chile.

Sistema pastoreo	NT fecas	ND fecas (NO ₃ ⁻ + NH ₄ ⁺)	NT orina	ND orina (NO ₃ ⁻ + NH ₄ ⁺)	ND depositado (NO ₃ ⁻ + NH ₄ ⁺)		NT depositado	
	g/kg	g/kg	g/L	g/L	kg/ha		kg/ha	
					Fecas	Orina	Fecas	Orina
Primavera								
PFI	29,7±0,6	0,17±0,004	7,86±0,42	0,94±0,05	0,076	4,19	13,25	34,92
PFS	26,4±0,3	0,15±0,002	6,81±0,38	0,82±0,04	0,072	3,90	12,62	32,51
PPFI	25,2±0,5	0,15±0,003	7,45±0,12	0,75±0,01	0,082	4,07	13,82	40,67
PPFS	25,0±0,3	0,15±0,003	6,01±0,36	0,54±0,03	0,057	2,05	9,49	22,77
Verano								
PFI	18,4±0,7	0,11±0,004	5,80±0,40	0,58±0,04	0,027	1,12	4,50	11,22
PFS	18,0±0,5	0,10±0,003	4,68±0,90	0,47±0,09	0,017	0,64	3,09	6,37
PPFI	16,3±1,4	0,09±0,008	4,27±0,13	0,32±0,05	0,013	0,36	2,30	4,77
PPFS	18,6±1,5	0,11±0,009	6,69±1,12	0,67±0,11	0,013	0,61	2,13	6,07
Otoño								
PFI	25,2±0,5	0,15±0,003	10,33±0,32	1,65±0,05	0,020	1,80	3,40	11,24
PFS	35,5±0,6	0,20±0,003	7,49±0,16	0,97±0,02	0,023	0,88	4,00	6,79
PPFI	31,0±1,4	0,18±0,008	7,71±0,64	1,02±0,08	0,036	1,66	6,28	12,58
PPFS	29,6±0,4	0,17±0,002	8,22±1,28	1,27±0,20	0,016	0,96	2,78	6,21
Invierno								
PFI	26,6±0,2	0,15±0,001	4,29±0,64	0,32±0,05	0,010	0,33	1,79	2,46
PFS	24,1±0,8	0,14±0,004	6,88±0,14	0,62±0,01	0,004	0,13	0,77	1,87
PPFI	27,1±0,2	1,16±0,001	5,07±0,07	0,38±0,01	0,012	0,21	2,12	3,37
PPFS	26,1±0,2	0,15±0,001	5,99±0,10	0,54±0,01	0,011	0,40	1,85	3,62

PFI: frecuente intenso; PFS: frecuente suave; PPFI: poco frecuente intenso; PPFS: poco frecuente suave.

NT: Nitrogeno total, ND: Nitrogeno disponible

*ND en fecas representó entre el 0,57-0,58 % (0,58 % promedio anual) del NT depositado en la pastura vía fecas

** El ND en la orina representó entre el 10-13 % (11 % promedio anual) del NT depositado en la pastura por esta vía

†Basado en el contenido de MS

†† NT depositado en la pradera vía orina fue de un 71 % y un 29 % vía fecas.

Fuente: Nuñez *et al.*, 2014

En los sistemas pastoriles la contribución anual de N reciclado por fecas y orina son mayores en los pastoreos que se realizan en forma intensa (83 a 86 kg N/ha), lo que está relacionado con el tiempo de pastoreo y no al efecto de la estrategia de pastoreo (Tabla 7.8). Es así como existen diferencias entre las concentraciones de N en fecas y orina, tanto en el N total como en el disponible. Los resultados obtenidos en la zona templada de Chile demuestran que el N disponible en las fecas representa el 0,58% del N total y el de la orina entre el 10 y 13%, valores similares a los que reportaron Haynes & Williams (1993) para Nueva Zelanda.

Tabla 7.8. Reciclaje anual de N vía fecas y orina de animales bovinos en pastoreo. Estación Experimental Maquehue, Universidad de La Frontera. Temuco, Chile.

Sistema pastoreo	Nitrógeno reciclado (kg N/ha/año)		
	Fecas	Orina	Total
PFI	22,9±0,70 a	59,8±1,16 a	82,8±1,61 a
PFS	20,5±0,60 b	47,5±1,21 b	68,8±1,73 b
PPFI	24,5±0,70 a	61,4±1,09 a	85,9±1,52 a
PPFS	16,3±0,83 c	38,7±1,97 c	54,9±2,80 c

PFI: frecuente intenso; PFS: frecuente suave; PPFI: poco frecuente intenso; PPFS: poco frecuente suave.
Medias que no comparten una letra en común son diferentes según Prueba de Tukey ($p > 0,05$)

En la Tabla 7.8 se puede observar que el retorno de N vía orina es entre un 69 y 72 % donde la mayor contribución se alcanza en los pastoreos intensos. Estos antecedentes son similares a los reportados por Jarvis *et al.* (1995) que obtuvo un retorno de entre 71 y 77 % en orina y entre 29 y 27 % en fecas.

Fertilización nitrogenada en pasturas: El aporte de N que se hace a través de los fertilizantes, reciclaje de plantas, fijación biológica de N (FBN) y depositación húmeda en sistemas pastoriles representa entre el 80 y 85% (Tabla 7.9). Estos aportes son importantes como proceso de compensación de los procesos de pérdidas, ya sea en forma de extracción por las plantas o por lixiviación y emisión de gases nitrogenados.

Tabla 7.9. Aporte de N al sistema: reciclaje de plantas, fertilización, FBN y depositación húmeda. Estación Experimental Maquehue, Universidad de La Frontera. Temuco, Chile.

Sistema pastoreo	Aportes de nitrógeno al sistema (kg/ha/año)					
	Reciclae plantas	Fertilización	FBN	Depositación húmeda*	Total aportes	Porcentaje**
Control	44,0 ± 1,30 b	203 ± 0,00 a	9,5 ± 1,07 d	4,6 ± 0,73 a	288,1 ± 3,46 b	100,0
PFI	75,9 ± 4,03 a	230 ± 0,00 a	33,9 ± 0,78 a	4,9 ± 0,67 a	344,6 ± 3,46 a	80,6
PFS	48,5 ± 1,30 b	230 ± 0,00 a	19,9 ± 0,73 b	4,7 ± 0,73 a	303,1 ± 3,83 b	81,7
PPFI	71,0 ± 1,70 a	230 ± 0,00 a	36,4 ± 0,63 a	5,0 ± 0,63 a	342,4 ± 2,69 a	79,9
PPFS	55,6 ± 1,60 b	230 ± 0,00 a	13,5 ± 0,43 c	4,7 ± 0,73 a	303,9 ± 4,18 b	84,7

Control: control sin pastoreo; PFI: frecuente intenso; PFS: frecuente suave; PPFI: poco frecuente intenso; PPFS: poco frecuente suave

* (N-NH₄⁺ + N-NO₃⁻)

** (Total N/Total entradas N)*100

FBN = fijación biológica de nitrógeno

Diferentes letras entre filas de una misma columna indican diferencias significativas $P \leq 0,05$.

En los sistemas pastoriles la intensidad de uso de los pastizales tiene relación directa con el aporte que hace el N a través del reciclaje. Esto se atribuye al volumen de residuos que este genera y la concentración de N que ellos poseen. En la evaluación realizada en Temuco los valores fluctuaron entre 48,5 y 75,9 kg N/ha/año cifras inferiores a las reportadas por Haynes & Williams (1993) y Whitehead (2000).

En la Tabla 7.9 se muestran los resultados de un estudio donde se aplicaron 230 kg N/ha como urea, donde su aporte al total de los ingresos al sistema fue variable según las formas de utilización desde un 66 a 100%. El aporte de la FBN fue desde 13,5 a 33,9 kg N/ha/año, alcanzado las mayores contribuciones en los sistemas de uso intenso lo que está relacionado con la baja cobertura que facilita la opción del desarrollo de especies de hábito rastrero como es el trébol blanco. Esto coincide con los resultados de Urzúa (2005), que señala que la FBN de pasturas permanentes de la zona templada aportan con 30 kg N/ha/año donde la variación existente en el área se relaciona con la proporción de trébol blanco presente en las pasturas. Este mismo autor menciona que en praderas naturales y naturalizadas el aporte de la FBN es inferior a 15 kg N/ha/año.

Respecto a la depositación, estudios realizados en Chile en áreas forestales y ganaderas han reportado tasas de depositación de N que varían entre 0,53 y 0,57 kg NO₃⁻/ha y entre 6,4 y 2,8 kg NH₄⁺/ha para los sitios

ganaderos de Osorno y Parque Nacional Puyehue. En la zona centro sur de Chile estos valores fluctúan entre 0,8 kg NO_3^- /ha y 1,0 kg NH_4^+ /ha (Godoy *et al.*, 2001; Godoy *et al.*, 2003; Oyarzún *et al.*, 2002, Oyarzun & Huber, 2003).

En los bosques siempre verde de *Nothofagus pumilio* (Poepp. & Endl.) Krasser en el sur de Chile la depositación de $\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$ es de 3,3 kg/ha/año (Godoy *et al.*, 2001), sin embargo, Boeckx *et al.* (2004) indican que en la foresta del sur de Chile la depositación de N es menor y la estimaron entre 0,2 y 3,5 kg/ha/año. Por otra parte, en praderas de la Región de los Lagos (Osorno), Alfaro *et al.* (2005a) señalan un valor de depositación de 3 kg/ha/año y Oyarzún *et al.* (2002) mencionan que en promedio esta depositación de N en el sur es de 5 kg N/ha/año. En la localidad de Temuco (Tabla 7.9), los valores de depositación no superaron el 2% del total de ingreso a un sistema pastoril, equivalentes a entre 4,5 a 5,0 kg N/ha/año, donde no se observaron diferencias entre los sistemas de utilización de los pastizales.

Pérdidas de nitrógeno en pasturas

Lixiviación de N: Las prácticas agrícolas producen contaminación de los cuerpos de agua con NO_3^- y para evitar los efectos adversos del NO_3^- sobre la salud humana, la concentración de este ha sido limitada en aguas de bebida. Los países poseen diferentes límites de aceptación de este parámetro en el agua de bebida para los seres humanos. En USA este valor es de 45 mg N como NO_3^- /L (USEPA, 1986; USEPA 1989), en Europa 55 mg NO_3^- /L (Glass & Silverstein, 1999; EC, 1980; Böhlke, 2002) y en Argentina es de 45 mg NO_3^- /L (CAA, 1999). En Nueva Zelanda el estándar de NO_3^- en agua de bebida es de 11,3 mg/L (Cameron & Di, 2004; Houlbrooke *et al.*, 2004) que corresponde al recomendado por la Organización Mundial de la Salud.

En Chile la concentración de NT Kjeldahl es de 50 mg/L y 15 mg/L ($\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$) de acuerdo con el DS N° 90 (2000), con máximos de NT en descargas de residuos líquidos a cuerpos de agua fluviales de 50 mg/L, con límites máximos permitidos en base a la capacidad de dilución del receptor de 75 mg/L. Los valores máximos permitidos a cuerpos de agua lacustre son de 10 mg NT/L y 50 mg NT/L en la zona litoral. Además, en el DS 46 (2002), se establecen los límites de N en aguas subterráneas, con valores de 50 mg/L de NT Kjeldahl y 15 mg L ($\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$), con límites máximos de vulnerabilidad media y baja de 10 y 15 mg/L ($\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$), respectivamente. En estos niveles límites de N en agua en Chile, se considera un volumen de consumo de 200 L/habitante/día.

La ganadería produce impactos positivos en la economía de los países, pero, por otro lado, causa efectos negativos al medio ambiente, a la salud humana, a la calidad de agua y a la productividad de los ecosistemas, mediante la transferencia de altas concentraciones de NO_3^- al agua. Wachendorf *et al.* (2005), demostraron que la lixiviación de NO_3^- en sistemas pastoriles es el principal contribuyente en las pérdidas de N lixiviado en los pastizales. El NH_4^+ se lixivia, en menores concentraciones, debido a la naturaleza de carga y su capacidad de fijación en el suelo, sin embargo, en condiciones de pastoreo intensa y frecuente este valor puede aumentar debido al incremento de los parches de orina depositados en el suelo que aumenta las posibilidades de que el NH_4^+ sea lixiviado (Whitehead, 2000).

Las concentraciones del NH_4^+ y NO_3^- lixiviado se relacionan con la cantidad y calidad de la MO del suelo, dosis de aplicación de fertilizantes nitrogenados, volumen y concentración de las precipitaciones, intensidad de pastoreo, uso de riego, entre otros. Alfaro *et al.* (2005b) en pastizales templados en condiciones de seco y contenido de MO de 18% reportó valores de lixiviado de entre 0,02 y 0,04 mg/L de NH_4^+ y entre 1,7 y 1,2 mg/L de NO_3^- . Estos valores son inferiores a los reportados por Barlow *et al.* (2007) en pastizales en condiciones de riego manejados en pastoreo en Australia donde alcanza un lixiviado superior a 142 mg NT/L.

La lixiviación de NO_3^- y NH_4^+ están relacionadas con la carga de ambos iones. La naturaleza química de estos explica las diferencias, ya que el NO_3^- está cargado negativamente, por lo que no puede ser adsorbido por las arcillas y coloides orgánicos del suelo, y por tanto, es susceptible a ser lixiviado a las capas más profundas del suelo. Por el contrario, el NH_4^+ está cargado positivamente, lo que le permite ser fijado en el suelo, reduciendo las posibilidades de lixiviación (Mora *et al.*, 2007). También es importante la distancia de los iones de las raíces de las plantas, favoreciendo con esto su mayor absorción y movilidad.

El tipo de suelo tiene relación directa con el lixiviado de N en los pastizales. Este proceso es afectado en forma general por la textura, permeabilidad y profundidad del suelo, tamaño de poros y su distribución, drenaje, cantidad de fertilizantes aplicados, temperatura, precipitación anual y humedad del suelo (van Es & Delgado,

2004; Wachendorf *et al.*, 2005).

En los sistemas pastoriles existe una baja pérdida de NH_4^+ en comparación con el NO_3^- . Las mayores pérdidas se registran en los sistemas de uso intensivo donde los animales dejan baja cobertura post pastoreo y permiten la exposición por más tiempo el volumen de orina excretado. Esto favorece el aporte de N orgánico, la hidrólisis de la urea y posterior oxidación por nitrificación a NO_3^- . La menor cobertura de estos sistemas y el bajo residuo post pastoreo asociado a la ocurrencia de precipitaciones favorecen la lixiviación del N presente en la solución, el cual también captura y arrastra bases como el Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+ (Asner *et al.*, 2001).

Estudios realizados utilizando diversas frecuencias e intensidades de pastoreo han demostrado que las concentraciones de NH_4^+ lixiviado son más bajas que las concentraciones de NO_3^- a través del año, independiente de la frecuencia e intensidad con que se utilice las pasturas (Figura 7.8).

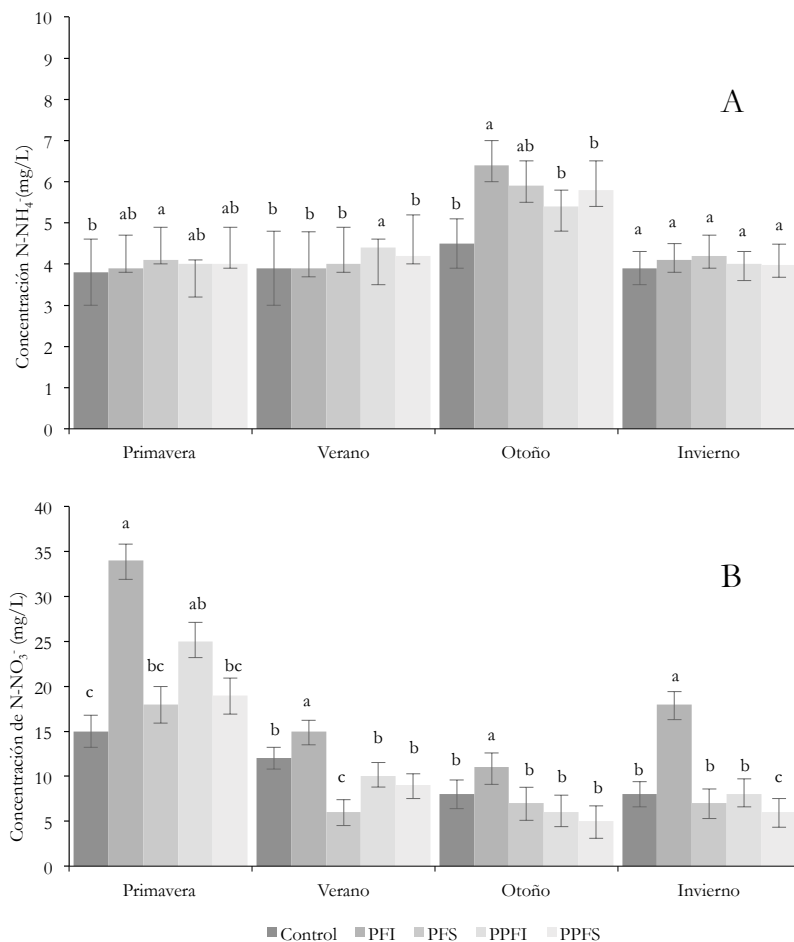


Figura 7.8. Concentración de N lixiviado (N-NO_3^- y N-NH_4^+) desde la pradera por estación. Estación Experimental Maquehue, Universidad de La Frontera. Temuco, Chile.

A. Amonio (mg/L) y B. Nitrato (mg/L).

Control: control sin pastoreo; PFI: frecuente intenso; PFS: frecuente suave; PPFI: poco frecuente intenso; PPFS: poco frecuente suave

Medias que no comparten una letra en común entre barras del mismo color por estación son diferentes según Prueba de Tukey ($p > 0,05$)

Como se observa en la Figura 7.8 la concentración de NH_4^+ presenta un rango de lixiviado de entre 3,56 a 6,97 mg/L con un promedio de 4,5 mg/L. El valor máximo de este parámetro se registra en los meses de invierno, específicamente en el mes de junio con un valor de 8 mg/L (Figura 7.9).

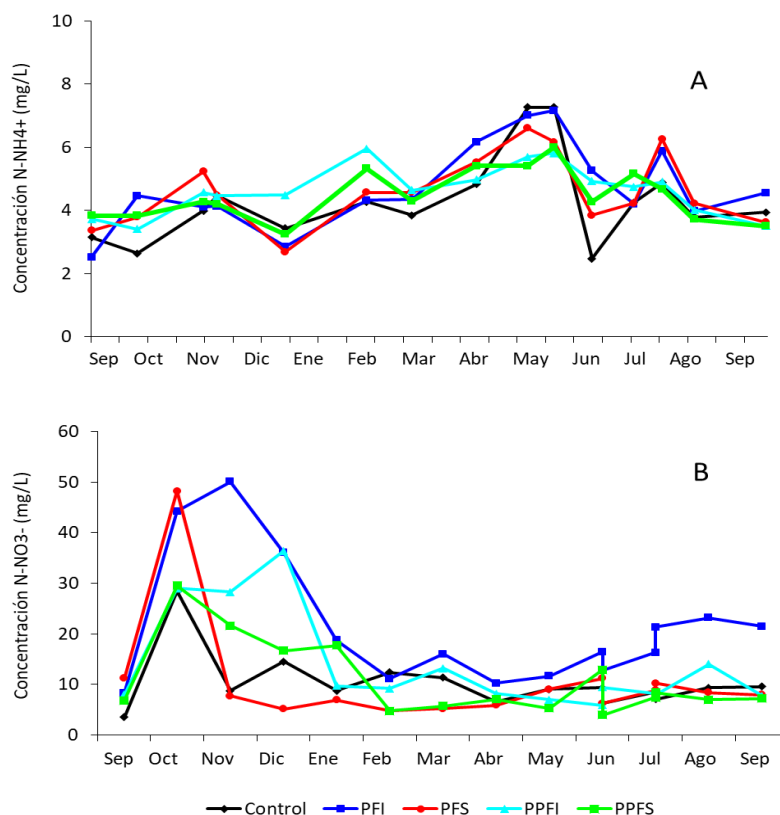


Figura 7.9. Concentración promedio mensual de N lixiviado ($N-NO_3^-$ y $N-NH_4^+$) desde la pradera por estación. Estación Experimental Maquehue, Universidad de La Frontera. Temuco, Chile.

A. Amonio (mg/L) y B. Nitrato (mg/L).

Control: control sin pastoreo; PFI: frecuente intenso; PFS: frecuente suave; PPFI: poco frecuente intenso; PPFS: poco frecuente suave

Medias que no comparten una letra en común entre barras del mismo color por estación son diferentes según Prueba de Tukey ($p > 0,05$)

Los lixiviados de $N-NH_4^+$ el $N-NO_3^-$ presentan a través del año una alta variación donde los mayores valores se registran en la estación de primavera (octubre) y bajo una condición de manejo frecuente e intenso. Esto se relaciona con el mayor flujo de N proveniente del reciclaje vía fecas y orina, por efecto de un mayor tiempo de pastoreo en esta estación del año y sistema de manejo que reduce la cobertura y expone al suelo a un mayor impacto de la lluvia.

La acumulación de pérdidas de N por lixiviados en los pastizales sometidos a diferentes frecuencias e intensidades de pastoreo fluctúan en la zona templada entre 26 y 59 kg N/ha/año (Tabla 7.10). La época de mayor lixiviación es el periodo de primavera y el uso pastoril frecuente intenso es el que generan las mayores pérdidas a través del año. Lo anterior es favorecido por condiciones ambientales favorables para la lixiviación como es la concentración de altas cargas de agua en periodos cortos de ocurrencia. El flujo de N y las pérdidas se asocian a factores edáficos e historial local del sitio (Ledgard *et al.*, 1998), intensidad de las precipitaciones (Mora *et al.*, 2004a), dosis y frecuencia de aplicación de fertilizantes nitrogenados (Mora *et al.*, 2007) y carga animal (Ledgard *et al.*, 1999).

Tabla 7.10. Nitrógeno lixiviado (kg/ha) en sistema pastoril manejado con diferentes frecuencias e intensidades de pastoreo. Estación Experimental Maquehue, Universidad de La Frontera. Temuco, Chile.

Estación	Control	PFI	PFS	PPFI	PPFS
Primavera	11,5±0,57 bc	22,9±2,68 a	5,80±0,80 c	14,60±0,49 b	13,20±1,25 b
Verano	6,0±0,15 bc	8,2±0,17 a	3,90±0,27 d	4,60±0,52 cd	5,30±0,14 bc
Otoño	7,2±0,30 c	9,8±0,60 a	7,50±0,49 c	8,30±0,21 b	5,40±0,06 b
Invierno	8,5±0,38 c	17,9±0,39 a	8,60±0,79 c	10,10±0,06 b	8,20±1,26 c
Total	33,2±0,95 c	58,7±2,45 a	25,80±0,59 d	37,60±0,45 b	32,10±1,59 c

Control: control sin pastoreo; PFI: frecuente intenso; PFS: frecuente suave; PPFI: poco frecuente intenso; PPFS: poco frecuente suave

Diferentes letras entre filas de una misma columna indican diferencias significativas $P \leq 0,05$.

El N lixiviado que se presenta en la zona de transición de mediterránea a templada (Temuco) es mayor al exhibido por Alfaro *et al.* (2005b) en la zona templada, pero similares a los valores reportados por los mismos autores bajo condiciones de carga animal y fertilización con 3 a 70 kg N/ha (Alfaro *et al.*, 2007).

Al comparar la lixiviación en pastoreo respecto a la ocurrida en sistemas bajo corte Mora *et al.* (2007) en condiciones de corte permanente, riego y aplicación de 300 kg N/ha/año alcanzó valores de lixiviación anual superiores a 90 kg N/ha/año, esto es 50% superior al logrado en pastoreo, sin embargo, bajo el mismo sistema al reducir la aplicación de N la lixiviación se redujo a tan sólo 35 kg N/ha/año.

La lixiviación de N en sistemas pastoriles es variable, ya que depende de las condiciones ambientales y del manejo particular de cada suelo. Jarvis (1993) indica que entre 43 y 48 kg N/ha son lixiviados en praderas de Inglaterra, Goss *et al.* (1998) reportan entre 40 y 50 kg N/ha y Anderson *et al.* (1998) entre 17 y 28 kg N/ha, mostrando esto que las pérdidas de N por lixiviación varían con la ubicación geográfica, fertilización, frecuencia e intensidad de utilización, lo cual determina que las pasturas jóvenes y con baja cobertura están sujetas a mayor lixiviación.

En Andisoles de la zona templada de Chile el N lixiviado en sistemas pastoriles representa entre el 7 y 14% del ingreso de N total al sistema y el N lixiviado en función del aplicado a través de la fertilización representa entre el 11 y 26% (Tabla 7.11).

Tabla 7.11. Porcentajes de N lixiviado durante la temporada de pastoreo. Estación Experimental Maquehue, Universidad de La Frontera. Temuco, Chile.

Pérdidas de Nitrógeno	Control	PFI	PFS	PPFI	PPFS
Entradas totales de N ($\text{kg N ha}^{-1} \text{a}^{-1}$)	288 $\pm$ 3,46	427 $\pm$ 3,46	371 $\pm$ 3,83	428 $\pm$ 2,69	359 $\pm$ 4,18
% de pérdidas (N lixiviado/Entradas totales N al sistema)					
% N lixiviado ($\text{N-NH}_4 \pm \text{N-NO}_3$)	11,5 $\pm$ 0,33	13,7 $\pm$ 0,57	6,9 $\pm$ 0,16	8,8 $\pm$ 0,11	9,0 $\pm$ 0,45
N fertilizante aplicado (kg N/ha/año)	230	230	230	230	230
% de pérdidas (N lixiviado/N fertilizante aplicado)					
Porcentaje (%) N lixiviado ($\text{N-NH}_4 \pm \text{N-NO}_3$)	14,4 $\pm$ 0,41	25,5 $\pm$ 1,03	11,2 $\pm$ 0,26	16,3 $\pm$ 0,20	14,0 $\pm$ 0,69

Control: control sin pastoreo; PFI: frecuente intenso; PFS: frecuente suave; PPFI: poco frecuente intenso; PPFS: poco frecuente suave

Emisiones de amoniaco: La volatilización de N a través del NH_3 depende de las condiciones ambientales donde se ubican los pastizales, tipo y propiedades de los suelos, tipo y cantidad de fertilizantes aplicados y criterios de pastoreo y carga animal considerada en el manejo de los pastizales (Figura 7.10). Jarvis (1993) en Inglaterra menciona que en los pastizales se pierden 46 kg N/ha/año como NH_3 , Ledgard *et al.* (1998) en Nueva Zelanda ha reportado pérdidas de 41 kg/ha/año cuando se utilizan 200 kg N/ha como fertilización inorgánica y De Klein & Legard (2001) bajo pastoreo han medido volatilizaciones entre 11 y 70 kg N/ha.



Figura 7.10. Mediciones de campo A. Cámaras estática de PVC hermética, jeringa y cronometro para el muestreo de gases en campo; B. Distribución de cámaras y lisímetros en campo para medir pérdidas de N; C. Vacas Holstein Friesian en pastoreo; D. Animal de 400 kg pastando en una pradera polifítica del sur de Chile junto a cámaras de PVC y lisímetros.

En la región templada de Chile las pérdidas anuales de NH_3 en pasturas polifíticas fluctúan entre 36 y 41 kg/ha/año donde los pastoreos frecuentes presentan niveles un 10% superiores en este parámetro respecto a los pastoreos infrecuentes (Tabla 7.12). Estos niveles son similares a los exhibidos por Ledgard *et al.* (1998,1999), Brown *et al.* (2005), Bussink (1992), Eckard *et al.* (2003), Dueri *et al.* (2007), Barbieri y Echeverría (2003), pero inferiores a los reportados por Oenema (2006) y Sommer *et al.* (2001), que mencionan niveles de volatilización como NH_3 de 80 kg/ha/año. Martha *et al.* (2004) y Lampe *et al.* (2004), reportan emisiones más bajas a las registradas en la zona templada (<14 kg NH_3 /ha/año).

Tabla 7.12. Emisión de NH_3 (kg/ha) desde el suelo en pastura polifítica pastoreada con distintas frecuencias e intensidades de pastoreo. Estación Experimental Maquehue, Universidad de La Frontera. Temuco, Chile del sur de Chile junto a cámaras de PVC y lisímetros.

Estación	Control	PFI	PFS	PPFI	PPFS
Primavera	7,5±0,12 c	10,0±0,29 a	10,2±0,08 a	8,4±0,38 b	9,5±0,10 ab
Verano	8,8±0,22 b	10,4±0,37 a	11,2±0,32 a	10,1±0,15 a	10,6±0,22 a
Otoño	9,7±0,42 c	12,1±0,46 a	12,7±0,32 a	11,4±0,09 b	11,4±0,58 b
Invierno	5,2±0,43 b	7,3±0,38 a	7,3±0,12 a	6,1±0,51 a	6,4±0,06 a
Total	31,2±0,71 d	39,9±0,38 ab	41,4±0,15 a	36,1±0,81 c	37,9±0,42 bc

Control: control sin pastoreo; PFI: frecuente intenso; PFS: frecuente suave; PPFI: poco frecuente intenso; PPFS: poco frecuente suave
Diferentes letras entre filas de una misma columna indican diferencias significativas $P \leq 0,05$.

En los sistemas pastoriles de la zona templada que utilizan pasturas permanentes polifíticas el NH_3 volatilizado representa entre el 8 y 11 % del N que ingresa al sistema durante el año y es la frecuencia de pastoreo uno de los factores que influye en este valor (Tabla 7.13). Por otra parte, el NH_3 que se produce en estos sistemas representa entre el 13 y 18 % del N que se aplica como fertilización inorgánica (urea). Estos valores son coincidentes con los resultados de Sommer & Jensen (1994), donde los fertilizantes aportan un 20 % del NH_3 emitido desde el suelo. Otras evaluaciones realizadas en Chile por Salazar *et al.* (2007) en una pradera permanente demostraron que las emisiones de NH_3 son del orden del 10 % cuando se aplican 100 kg N/ha/año como urea.

Tabla 7.13. Porcentajes de N gaseoso (NH_3 y N_2O) volatilizado durante la temporada de pastoreo. Estación Experimental Maquehue, Universidad de La Frontera. Temuco, Chile.

Pérdidas de Nitrógeno	Control	PFI	PFS	PPFI	PPFS
Entradas totales de N (kg N ha ⁻¹ a ⁻¹)	288±3,5	427±3,4	371±33,8	428±2,7	359±4,2
Pérdidas N gaseoso/ entradas totales N al sistema (%)					
Volatilización NH_3	10,8±0,25	9,3±0,09	11,2±0,04	8,4±0,19	10,6±0,12
Emisión N_2O	1,0±0,0002	0,8±0,0002	0,9±0,0002	0,8±0,0002	0,9±0,0002
Total	11,8±0,25	10,1±0,09	12±0,04	9,2±0,19	11,5±0,12
N fertilizante aplicado (kg N/ha/año)	230	230	230	230	230
Pérdidas N gaseoso/ N fertilizante aplicado (%)					
Volatilización NH_3	13,6±0,31	17,4±0,17	18,0±0,07	15,7±0,35	16,5±0,18
Emisión N_2O	1,3±0,00004	1,4±0,00004	1,4±0,00004	1,4±0,00004	1,4±0,00004
Total	14,9±0,31	18,8±0,17	19,4±0,07	17,1±0,35	17,9±0,18

Control: control sin pastoreo; PFI: frecuente intenso; PFS: frecuente suave; PPFI: poco frecuente intenso; PPFS: poco frecuente suave

Los resultados de las investigaciones realizadas en la zona templada de Chile demostraron que las pérdidas de NH_3 representan entre el 13 y 18 % del N fertilizante aplicado como urea que es coincidente con la información que menciona que las pérdidas de NH_3 a partir de urea se ubican entre un 18-30 % del N aplicado bajo condiciones de suficiente humedad para la hidrólisis de la urea (Reynolds & Wold, 1987). Existe información más actualizada que menciona valores similares a los logrados en la zona templada donde los niveles de pérdida son de un 8 a 9% (Bouwman *et al.*, 2005), 10 % (Dämmgen & Grünhage, 2002) y 12 % (Klein & Ledgard, 2001).

Respecto a las emisiones diarias de NH_3 , existe en cada estación del año un patrón similar de comportamiento en las pasturas que no se correlaciona significativamente con el sistema pastoril (Figura 7.11).

Los resultados logrados en las investigaciones de campo en la zona templada de Chile han demostrado que la mayor frecuencia de pastoreo y no necesariamente una mayor intensidad, produce mayores emisiones de NH_3 desde el suelo, lo que es coincidente con la información reportada por Schils *et al.* (2005) y Misselbrook

et al. (2004), ratificando que la aplicación de fertilizantes y residuos orgánicos en la agricultura son una fuente de emisión de NH_3 a la atmósfera (Krupa & Moncrief, 2002; Krupa, 2003a; Krupa, 2003b; Krupa *et al.*, 2003; Misselbrook *et al.*, 2005).

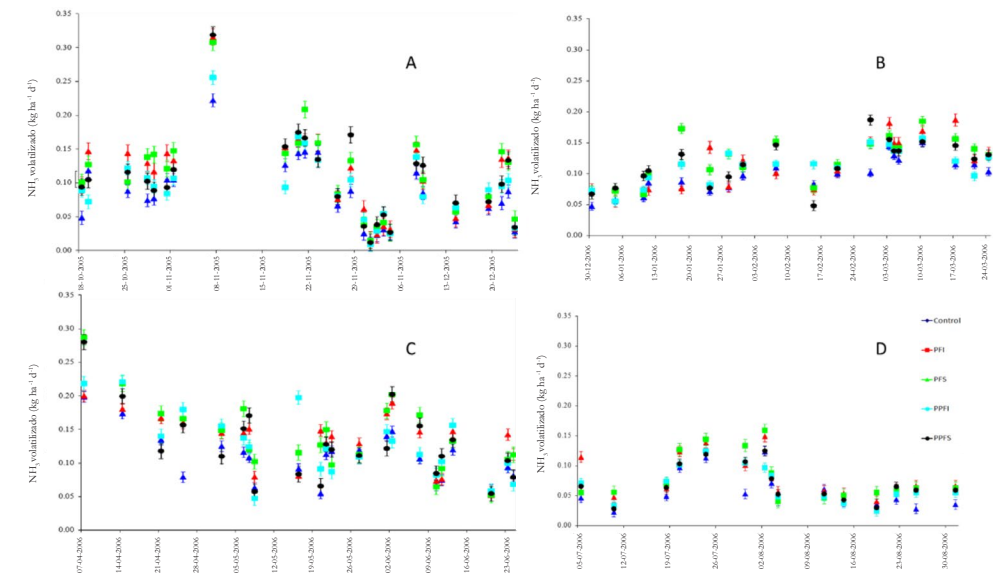


Figura 7.11. Emisión de NH_3 (kg/ha/día) en un sistema pastoril manejado con diferentes frecuencias e intensidades de pastoreo A: Primavera; B: Verano; C: Otoño; D: Invierno Control: control sin pastoreo; PFI: frecuente intenso; PFS: frecuente suave; PPFI: poco frecuente intenso; PPFS: poco frecuente suave

Emisiones de N_2O : Según Oenema y Sapek (2000) y Saggar *et al.* (2007) son los factores ambientales y de manejo de la pradera los que controlan las emisiones de N_2O en los sistemas pastoriles. En ámbito ambiental la precipitación y las temperaturas extremas contribuyen a la volatilización de N y en el área del manejo de las pasturas los factores más influyentes en este proceso son el tipo de pradera y pastura, sistema de manejo de pastoreo, manejo del agua (riego y drenaje), tipo, cantidad y método de aplicación del fertilizante nitrogenado y compactación del suelo.

Mediciones realizadas por Phillips *et al.* (2007) reportaron valores de emisión para los fertilizantes de 2,81 kg/ha/año a una dosis de 225 kg N/ha, con niveles de emisión para orina de entre 1,9 y 2,4 kg N_2O /ha/año y en fecas de entre 0,5 y 0,6 kg N_2O /ha/año. Estos resultados son similares a los determinados en la zona templada donde con pastoreos intensos se alcanzaron niveles de 3,24 kg N_2O ha/ha/año (Tabla 7.14). Las variaciones que se encuentra en los sistemas pastoriles se pueden atribuir a la localización de la pastura, nivel de compactación del suelo por pisoteo de los animales, y cantidad de fecas y orina depositadas (van Groenigen *et al.*, 2005).

Tabla 7.14. Estimación anual de N_2O (kg/ha/año) desde fertilizantes, fecas y orina depositados en sistemas de pastoreo. Estación Experimental Maquehue, Universidad de La Frontera. Temuco, Chile.

Sistema de utilización	Urea	Orina	Fecas	Total
Control	2,88 a	-	-	2,88±0,000 b
PFI	2,88 a	0,23±0,0001 a	0,12±0,0001 a	3,23±0,001 a
PFS	2,88 a	0,19±0,0015 a	0,10±0,0002 a	3,17±0,002 a
PPFI	2,88 a	0,24±0,0010 a	0,12±0,0003 a	3,24±0,001 a
PPFS	2,88 a	0,15±0,0007 a	0,08±0,0001 a	3,11±0,001 a

Control: control sin pastoreo; PFI: frecuente intenso; PFS: frecuente suave; PPFI: poco frecuente intenso; PPFS: poco frecuente suave
Diferentes letras entre filas de una misma columna indican diferencias significativas $P \leq 0,05$.

En sistemas pastoriles el N_2O volatilizado puede representar entre el 0,8 y 1,0% del N que ingresa a la pastura durante el año y entre el 1,3 y 1,4% del N aplicado como fertilizante.

Recuperación de N: El N es absorbido por las plantas a la forma de NO_3^- o NH_4^- (McLaren & Cameron, 1996), pero en general tienen preferencia por NO_3^- (Marschner, 2003). En ese sentido, la cantidad de N no recuperado por el cultivo es proporcional con la cantidad de N fertilizante aplicado (Matus *et al.*, 2005a) y dependiendo de la eficiencia de recuperación (ER) de N de las plantas será su productividad.

La absorción de N de las plantas está relacionada con la estación del año y el sistema de pastoreo. La mayor absorción de N se logra en las estaciones de primavera y otoño en sistemas pastoriles de uso intenso, producto de una mayor acumulación de materia seca y por tanto una mayor demanda de N (Tabla 7.15).

Tabla 7.15. Absorción de N (kg/ha) por plantas según estación y sistema de pastoreo. Estación Experimental Maquehue, Universidad de La Frontera. Temuco, Chile.

Estación	Control	PFI	PFS	PPFI	PPFS
Primavera	70,3±2,32 c	132,5±5,35 a	96,2±1,99 b	132,7±5,61 a	99,1±1,74 b
Verano	22,6±0,75 b	37,7±1,52 a	14,8±0,31 c	40,6±1,72 a	22,8±0,40 b
Otoño	46,3±1,53 c	79,8±3,2 a	49,6±1,03 c	72,8±3,08 b	48,0±0,84 c
Invierno	36,7±1,21 b	53,7±2,17 a	33,4±0,70 c	37,8±1,60 b	52,5±0,92 a
Total	175,8±5,80 d	303,7±12,25 a	194,0±4,01 c	283,9±12,01 a	222,4±3,89 b

Control: control sin pastoreo; PFI: frecuente intenso; PFS: frecuente suave; PPFI: poco frecuente intenso; PPFS: poco frecuente suave
Diferentes letras entre filas de una misma columna indican diferencias significativas $P \leq 0,05$.

Los animales rumiantes son en general, ineficientes en convertir el N ingerido en leche y carne (Bussink, 1992; Jarvis, 1993). El N ingerido por los animales cambia según la estación del año y el sistema de pastoreo. En un año los animales pueden ingerir cantidades superiores a 228 kg N/ha con uso intenso del pastizal e inferior a 165 kg N/ha en utilización suaves y poco frecuentes (Tabla 7.16). Para Jarvis (1993) y Van Vuuren & Meijs (1987), los animales bovinos presentan una alta variabilidad en la eficiencia de uso del N donde los valores de eficientes son cercanos a 43 % en la utilización del N ingerido.

Tabla 7.16. Estimación del N (kg N/ha) ingerido por los animales en pastoreo por estaciones y sistema de pastoreo. Estación Experimental Maquehue, Universidad de La Frontera. Temuco, Chile.

Estación	PFI	PFS	PPFI	PPFS
Primavera	99,4±4,01 a	72,2±1,49 b	99,5±4,20 a	74,3±1,31 b
Verano	28,3±1,14 a	11,1±0,23 b	30,4±1,29 a	17,1±0,30 b
Otoño	59,8±2,42 a	37,2±0,77 b	54,6±2,31 a	36,0±0,63 b
Invierno	40,3±1,63 a	25,01±0,53 b	28,4±1,20 b	39,4±0,69 a
Total	227,8±9,18 a	145,5±3,00 d	212,9±9,00 b	166,8±2,91 c

Control: control sin pastoreo; PFI: frecuente intenso; PFS: frecuente suave; PPFI: poco frecuente intenso; PPFS: poco frecuente suave
Diferentes letras entre filas de una misma columna indican diferencias significativas $P \leq 0,05$.

En relación con la cantidad de N asimilado por los animales bovinos en la producción de carne y leche; y en el mantenimiento de sus funciones metabólicas, estudios realizados en la zona templada han determinado que la mayor asimilación de N se logra en los animales que pastan más intensamente los pastizales (Tabla 7.17).

Tabla 7.17. Estimación del N asimilado por los animales por estación y sistema de pastoreo (kg/ha). Estación Experimental Maquehue, Universidad de La Frontera. Temuco, Chile.

Estación	PFI	PFS	PPFI	PPFS
Primavera	42,7±1,72 a	31,0±0,64 b	42,8±1,81 a	31,9±0,56 b
Verano	12,2±0,49 a	4,8±0,10 d	13,1±0,55 a	7,4±0,13 c
Otoño	25,7±1,04 a	16,0±0,33 b	23,5±0,99 a	15,5±0,27 b
Invierno	17,3±0,70 a	10,7±0,23 b	12,2±0,52 b	16,9±0,30 a
Total	97,9±3,95 a	62,5±1,29 d	91,6±3,87 b	71,7±1,25 c

PFI: frecuente intenso; PFS: frecuente suave; PPFI: poco frecuente intenso; PPFS: poco frecuente suave
Diferentes letras entre filas de una misma columna indican diferencias significativas $P \leq 0,05$.

Balance de N en sistemas pastoriles de la zona templada

El balance de N varía según el tipo de pastizal. En ese sentido, las pasturas con elevados contenidos de especies leguminosas tienen una mayor entrada de N por fijación biológica, y por lo tanto, las pérdidas anuales de N y los resultados del balance anual en pastoreo son distintos (Ledgard, 2001). Estudios realizados por Ledgard *et al.* (1998; 1999) en praderas pastoreadas de Nueva Zelanda demostraron que el balance anual de N varía con

la carga animal y la dosis de fertilización, siendo positivo o negativo dependiendo tanto de las entradas de N como de las salidas (Jarvis, 1993).

En un trabajo de campo realizado por Alfaro *et al.* (2005a) en una pastura permanente del sur de Chile, reportaron resultados de balances de N negativos. El experimento utilizó una carga animal de 3,5 terneros/ha (Frisón Negro con un peso vivo inicial de 212 kg) una baja fertilización nitrogenada de 67,5 kg N/ha y no incluyó en el balance de N el reciclaje de las plantas. Para estos autores el déficit de N estuvo asociado a la falta de consideración del aporte de la mineralización de la MO y a una baja fertilización.

En el estudio desarrollado en la zona templada con distintos sistemas de pastoreo el balance anual de N fue positivo, demostrando que el manejo de residuos altos genera el balance más bajo (Tabla 7.18). El balance de N anual por estaciones varía con la fertilidad del suelo, la cantidad de N suplido y con la eficiencia de utilización del nutriente en el sistema (Owens *et al.*, 2003).

Tabla 7.18. Balance anual de N (kg/ha) de una pastura polifítica manejada bajo distintos sistemas de pastoreo. Estación Experimental Maquehue, Universidad de La Frontera. Temuco, Chile.

Balance de N	Control	PFI	PFS	PPFI	PPFS
Entradas N					
Precipitación*	4,6±0,73 a	4,9±0,67 a	4,7±0,73 a	5,0±0,63 a	4,7±0,73 a
Fertilización (urea)	230±0,00 a	230±0,00 a	230±0,00 a	230±0,00 a	230±0,00 a
FBN	9,5±1,07 d	33,9±0,78 a	19,9b (0,83) b	36,4±1,64 a	13,5±0,43 c
Reciclaje animal	0	82,8±1,61 a	68,0b (1,73) b	85,9±1,52 a	54,9±2,80 b
Reciclaje plantas	44,0±1,30 b	75,9±4,03 a	48,5b (1,30) b	71,0±1,70 a	55,6±1,60 b
Total entradas N	288,1±3,46	427,4±3,46 a	371,1b (3,83) b	428,3±2,69 a	358±4,18 b
Salidas N					
Lixiviación*	33,2±0,95 c	58,7±2,45 a	25,8±0,59 d	37,6±0,45 b	32,1±1,59 c
Volatilización (N-NH ₃) (N-NH ₃)	31,2±0,71 d	39,9±0,38 ab	41,4±0,15 a	36,1±0,81 c	37,9±0,42 bc
Emisión N-N ₂ O	1,9±0,0001 b	3,2±0,0001 a	3,2±0,002 a	3,2±0,001 a	3,1±0,001 a
Extracción de plantas	175,8±5,8 d	303,7±12,25 a	194,0±4,01 c	283,8±12,01 a	222,4±3,89 b
Total salidas N	243,0±6,16 e	405,6±9,85 a	264,3±1,90 d	360,7±8,75 b	295,6±2,13 c
Balance	45,1±1,87	21,9±7,10	106,7±0,70	67,6±4,49	63,2±5,83
ER (%)	61,0±5,46 b	71,1±5,33 a	52,3±3,96 c	66,3±2,18 b	62,0±7,35 b

Control: control sin pastoreo; PFI: frecuente intenso; PFS: frecuente suave; PPFI: poco frecuente intenso; PPFS: poco frecuente suave

Precipitación de N y Lixiviación (N-NH₃ + N-NO₃)

FBN: Fijación biológica de N

Diferentes letras en una misma fila indican diferencias significativas P≤0,05.

El porcentaje de eficiencia de uso del N en las formas de pastoreo intenso fue mayor al 65% valor que es considerado óptimo para el sistema de pastizales (Schellberg *et al.*, 2006), demostrando que este parámetro depende del uso de los pastizales y de las formas particulares de manejo de éstos. Un balance positivo al final de la temporada de pastoreo sugiere que el N es más retenido en el suelo y que la eficiencia de recuperación de N también es alta (Matus *et al.* 2005a), por lo tanto, las entradas de N son mayores que las salidas de N del sistema.

En la Tabla 7.18 se puede observar que en el balance de N de pastizales pastoreados bajo diferentes formas de utilización se tiene una alta correlación entre las entradas y salidas de N al sistema de pastoreo, así como entre el reciclaje de N y las entradas totales de N al sistema. Las pérdidas de N, lixiviación y emisión de NH₃ y N₂O, están correlacionadas con las entradas de N al sistema, así como la producción de MS de la pastura y las entradas de N al sistema y su capacidad de recuperación de N. Lo anterior indica que los procesos de pérdidas de N en los pastizales son afectados por la cantidad de N que entra al sistema (Matus *et al.*, 2005b), sin embargo, la producción de la pastura es afectada por las entradas totales de N.

Eficiencia de recuperación de N (ER)

La ER de N por las plantas a partir del N aplicado como fertilizante en sistemas pastoriles manejados con bajo residuo post utilización (intenso) es mayor al que se logra en sistemas donde se deja un residuo alto, estos es un manejo laxo (Tabla 7.19). La razón de la eficiencia es una mayor cantidad de N absorbido por la pastura y menor lixiviación de NO₃⁻ (Simmelsgaard, 1998).

Tabla 7.19. Eficiencia de recuperación (ER) y eficiencia de uso agronómico (EUA) de N de un pastizal manejado con diferentes intensidades y frecuencias de utilización. Estación Experimental Maquehue, Universidad de La Frontera. Temuco, Chile.

Tipo de eficiencia	Control	PFI	PFS	PPFI	PPFS
% ER N fertilizante	76,4+10,06 b	132+8,54 a	84,3+5,84 b	123,4+1,62 a	96,7+12,97 b
% ER N entradas totales	61,0+5,46 b	71,1+5,33 a	52,3+3,96 c	66,3+2,18 b	62,0+7,35 b
EUA N fertilizante (kg MS/kg N aplicado)	30,9+4,14 b	45,1+5,47 a	31,6+5,53 b	43,0+7,14 a	35,5+6,41 b
EUA N entrada total (kg MS/kg entradas N)	24,7+3,35 a	24,3+1,93 a	19,6+1,92 b	23,1+1,35 ab	22,8+3,62 b

Control: control sin pastoreo; PFI: frecuente intenso; PFS: frecuente suave; PPFI: poco frecuente intenso; PPFS: poco frecuente suave
Diferentes letras entre filas de una misma columna indican diferencias significativas $P \leq 0,05$.

En la ER de N respecto a las entradas totales de N al sistema pastoril se ha observado que la frecuencia e intensidad de uso no están directamente relacionadas. Así en el estudio desarrollado en Temuco se pudo determinar que la mayoría de las formas de utilización de los pastizales polifíticos presentan una ER superior a 60% valor que es considerado adecuado en términos de recuperación de N para las plantas (Marschner, 2003).

Hay diversos antecedentes relacionados con la ER de N, es así como Baligar *et al.* (2001) ha reportado un rango de entre 33 y 50 % y Delgado (2002), entre 30 y 70 % dependiendo del cultivo y dosis de fertilización nitrogenada. El promedio global de ER de N es de alrededor de 50% (Baligar *et al.*, 2001; van Es & Delgado, 2004) valor alto si es comparado con mediciones realizadas durante siete años en sistemas de pastoreo del Reino Unido, que presentaron entre 41 y 56% de ER del N (Leach *et al.*, 2004). En dicho estudio las pérdidas de N fueron del orden de 96 a 120 kg N/ha, con una aplicación de fertilizante en un rango de entre 142 y 199 kg N/ha/año y entradas totales de N al sistema entre 209 y 267 kg N/ha.

Por otra parte, investigaciones realizadas en diversos países muestran distintos registros de eficiencia (N de producto/N entradas de N). En Nueva Zelanda 30% (Ledgard *et al.* 1999), Inglaterra 20% (Jarvis, 1993), Suiza 23% y Holanda 14% (Ledgard *et al.*, 1998). La eficiencia agronómica de la pradera depende de la cantidad de N suministrada a las plantas desde el suelo y de las condiciones ambientales. Este factor no está influido por la estación de pastoreo, pero si por la intensidad de utilización de las pasturas. En sistemas de uso intenso la eficiencia de uso agronómico es significativamente mayor respecto al uso laxo de las pasturas, alcanzando valores superiores a 40% (Tabla 7.19).

Según Whitehead (2000), la eficiencia de uso agronómico del fertilizante aplicado se encuentran en el rango de entre 20 y 30 kg MS/ha/año a una dosis de 250-400 kg N ha/ha/año. Mora *et al.* (2007) en una pradera bajo corte y con dosis de fertilizante entre 150 y 300 kg N/ha midieron una ER entre 10 y 13 kg MS ha/ha valores inferiores a los logrados en las pasturas en pastoreo.

La mayor eficiencia en la recuperación de N por las plantas se obtiene en la estación de mayor tasa de crecimiento que en las zonas templadas corresponde a primavera (Hoekstra *et al.* 2007). La producción de MS tiene una alta correlación con la cantidad de N incorporado demostrando que un incremento en la cantidad de N que entra al sistema tiene como efecto una mayor producción y por tanto una mayor eficiencia en la recuperación de N por las plantas (Figura 7.12).

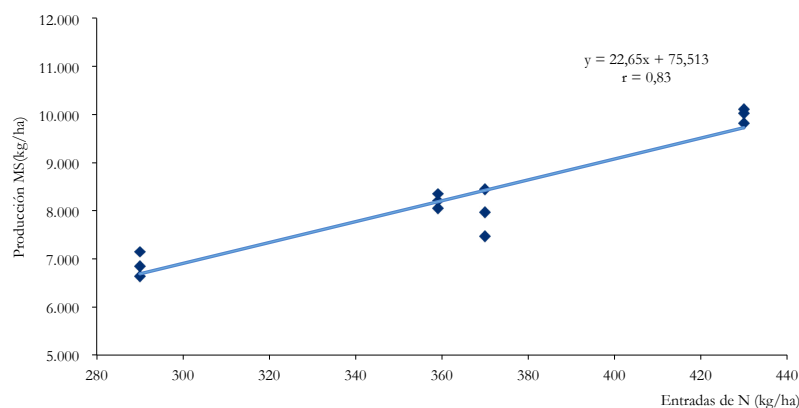


Figura 7.12. Correlación entre las entradas totales de N y la producción de materia seca de una pastura polifítica. Experimental Maquehue, Universidad de La Frontera. Temuco, Chile.

Biomasa microbiana y actividad de la ureasa

Carbono biomásico (CB): El CB es una fracción muy pequeña en el suelo, sin embargo, esta fracción es importante, ya que se refiere a la fracción de C inmovilizada en los microorganismos que es fácilmente mineralizable (Jones, 1998). El pastoreo incrementa la biomasa microbiana en el suelo (Wang *et al.*, 2006), además de incorporar MO al suelo generando entradas de MO lábil a través de la orina y fecas que usualmente estimula el crecimiento de nueva biomasa radical, resultando en una alta relación raíz/parte aérea como de hojas, tallos y gran exudación de C lábil desde las raíces (Milchunas & Lauenroth, 1993; Bardgett *et al.*, 1998; Bardgett & Wardle, 2003; Sakaran & Augustine 2004). Esta condición favorece el crecimiento de los microorganismos y aumenta la exudación de C por las raíces, que es rápidamente asimilado por la población microbiana en la rizósfera (Hamilton & Frank, 2001).

La cantidad de CB del suelo está relacionada con el nivel de residuo que se mantiene en los pastizales de pastoreo, la estación del año y la profundidad del suelo (Alvear *et al.* 2005). El tipo de cobertura vegetal influye en la cantidad de CB, es así como en ecosistemas forestales la mayor cantidad de CB se encuentra en la superficie del suelo a profundidad de 5 a 10 cm (Muñoz, 2006). La presencia de CB en los suelos también está relacionada con la humedad y los carbohidratos presentes en los residuos (Nishiyama *et al.* 2001). Otros factores que afectan el contenido de CB son el manejo del predio, el sistema de labranza al momento del establecimiento y la edad de la pastura (Haynes, 2000).

En la zona templada la medición de CB en sistemas pastoriles ha demostrado que su cantidad se relaciona con la intensidad de uso y la cantidad de residuo presente en la pastura antes y después del pastoreo (Tabla 7.20), presentando una alta variabilidad a través del año. Los mayores niveles de CB se presentan en primavera periodo en que se registran las mayores tasas de crecimiento y por lo tanto la mayor producción de biomasa y con ello el mayor número de pastoreos lo que se traduce en mayor presencia de residuos de las plantas y de deyecciones animales las cuales incrementan el aporte de MO al suelo (Figuras 7.13 y 7.14). También favorecen la mayor presencia de CB en primavera, las condiciones climáticas que permiten una rápida descomposición de los residuos.

Tabla 7.20. Carbono biomásico en el suelo (mg C/kg/s). Promedio anual en pre y post pastoreo. Estación Experimental Maquehue, Universidad de La Frontera. Temuco, Chile.

Sistema de pastoreo	Pre pastoreo	Post pastoreo	Rango
Control	198±28,6 aB	202±10,7 aB	68 - 440
PFI	232±22,0 bA	297±52,5 aA	40 - 697
PFS	215±25,2 bB	275±40,9 aA	31 - 659
PPFI	192±36,0 bB	236±45,8 aB	46 - 681
PPFS	266±50,7 aA	291±50,9 aA	28 - 546

Control: control sin pastoreo; PFI: frecuente intenso; PFS: frecuente suave; PPFI: poco frecuente intenso; PPFS: poco frecuente suave
Diferentes letras minúsculas entre una misma fila indican diferencias significativas $P \leq 0,05$. Diferentes letras mayúsculas entre filas de una misma columna indican diferencias significativas $P \leq 0,05$.
Fuente: Núñez *et al.*, 2012.

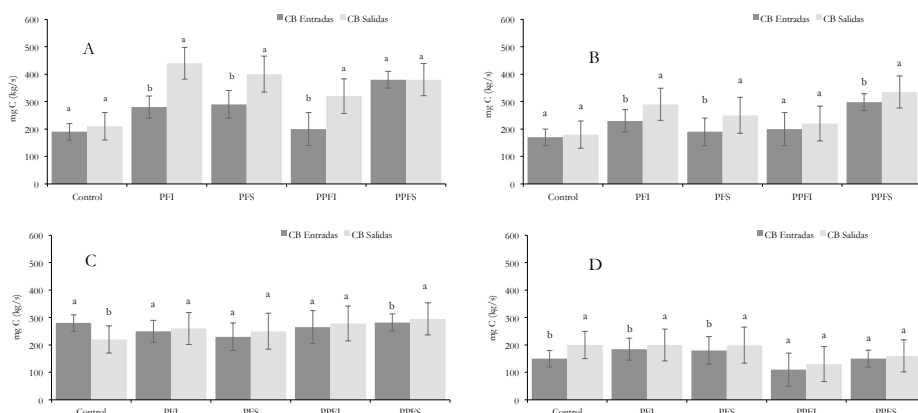


Figura 7.13. Concentración promedio de CB en pre y post pastoreo en las estaciones de primavera (A); verano (B); otoño (C); invierno (D). Estación Experimental Maquehue, Universidad de La Frontera. Temuco, Chile.

Control: control sin pastoreo; PFI: frecuente intenso; PFS: frecuente suave; PPFI: poco frecuente intenso; PPFS: poco frecuente suave
Diferentes letras entre barras de un mismo tratamiento indican diferencias significativas $P \leq 0,05$.

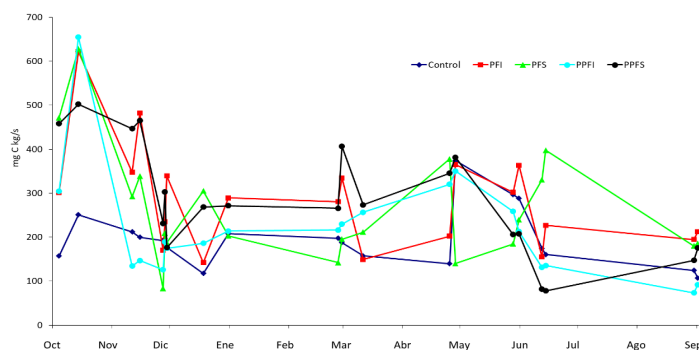


Figura 7.14. Fluctuación de la concentración de CB en el suelo durante la temporada de pastoreo. Estación Experimental Maquehue, Universidad de La Frontera. Temuco, Chile.

Control: control sin pastoreo; PFI: frecuente intenso; PFS: frecuente suave; PPFI: poco frecuente intenso; PPFS: poco frecuente suave
Fuente: Núñez *et al.*, 2012

La mayor actividad microbiana en el suelo es asociada a la mayor humedad del suelo, condición que favorece el desarrollo y proliferación de la biomasa microbiana (Jones, 1998), y aumenta la tasa de descomposición, liberación, movilización y reciclaje de nutrientes, razón por la cual en los sistemas pastoriles en primavera se alcanzan los mayores valores de CB.

Nitrógeno biomásico (NB): Es reconocido el rol que posee la microflora del suelo en el reciclaje de nutrientes y su relación con los principales parámetros que definen la fertilidad. Las fluctuaciones de la biomasa microbiana son un índice de los cambios en la MO de los suelos y por consiguiente de su calidad.

La forma de utilización de los pastizales tiene una relación directa con el NB. Con pastoreos intensivos (bajo residuo) se originan mayores niveles de NB debido a que en estos sistemas se produce un flujo de N al suelo vía reciclaje animal y de plantas y consecuentemente una mayor mineralización e inmovilización de N por los microorganismos (Tabla 7.21). Los valores de NB en post pastoreo están correlacionados con el contenido de N disponible en el suelo lo que indica que estas concentraciones dependen directamente de las entradas de N al sistema, la cantidad de la MO, el N disponible y las condiciones de humedad y temperatura del suelo. Por otra parte, el flujo de N a través de las estaciones del año (Figura 7.15 y 7.16) cambian alcanzando los mayores valores en las épocas de otoño y primavera con un rango entre 39 y 70 $\mu\text{g N/g s}$. Los valores inferiores se registran en las estaciones de otoño e invierno con un rango entre 3-10 $\mu\text{g N/g s}$ (Tabla 7.21).

Estudios realizados por Iyyemperuma *et al.* (2007), han demostrado que la biomasa microbiana relativa al C y N en el suelo en sistemas pastoriles es independiente de la intensidad de los depósitos de excreta animal, indicando además que estos depósitos no alteran las comunidades microbianas del suelo pero si hay un incremento en las concentraciones de NB y CB, lo que estaría indicando una mayor actividad microbiana en el suelo, por efecto del mayor flujo de MO como fotosintatos emitidos por el sistema radical de la planta en respuesta al estrés físico provocado por los animales en pastoreo. En ese sentido, Wang *et al.* (2006) reportaron un incremento en los niveles de NB en praderas naturalizadas de hasta un 174-202 % y en una pastura sembrada de un 215 %.

Tabla 7.21. Nitrógeno biomásico ($\mu\text{g N/g s}$) y relación CB/NB en el suelo. Promedio anual en pre y post pastoreo en distintos sistemas de uso en pastoreo de una pastura polifítica. Estación Experimental Maquehue, Universidad de La Frontera. Temuco, Chile.

Sistema de utilización	Nitrógeno biomásico			Relación CB/NB	
	pre pastoreo	post pastoreo	Rango	pre pastoreo	post pastoreo
Control	15,7 $\pm$ 0,80 aC	16,4 $\pm$ 0,61 aB	8 - 33	12,6 $\pm$ 2,10 aB	12,0 $\pm$ 0,93 aB
PFI	18,0 $\pm$ 0,90 bA	21,6 $\pm$ 1,22 aA	3 - 39	12,9 $\pm$ 1,02 aB	14,0 $\pm$ 1,72 aA
PFS	17,4 $\pm$ 0,82 AB	19,6 $\pm$ 1,42 aA	10 - 33	12,4 $\pm$ 1,40 aB	14,0 $\pm$ 1,32 aA
PPFI	18,2 $\pm$ 1,90 aA	20,7 $\pm$ 3,11 aA	7 - 34	10,5 $\pm$ 1,82 aC	11,0 $\pm$ 1,62 aB
PPFS	16,4 $\pm$ 0,81 bB	20,4 $\pm$ 2,92 aA	8 - 70	16,2 $\pm$ 2,61 aA	14,0 $\pm$ 1,82 aA

Control: control sin pastoreo; PFI: frecuente intenso; PFS: frecuente suave; PPFI: poco frecuente intenso; PPFS: poco frecuente suave

Diferentes letras minúsculas entre una misma fila indican diferencias significativas $P \leq 0,05$. Diferentes letras mayúsculas entre filas de una misma columna indican diferencias significativas $P \leq 0,05$.

Fuente: Núñez *et al.*, 2012.

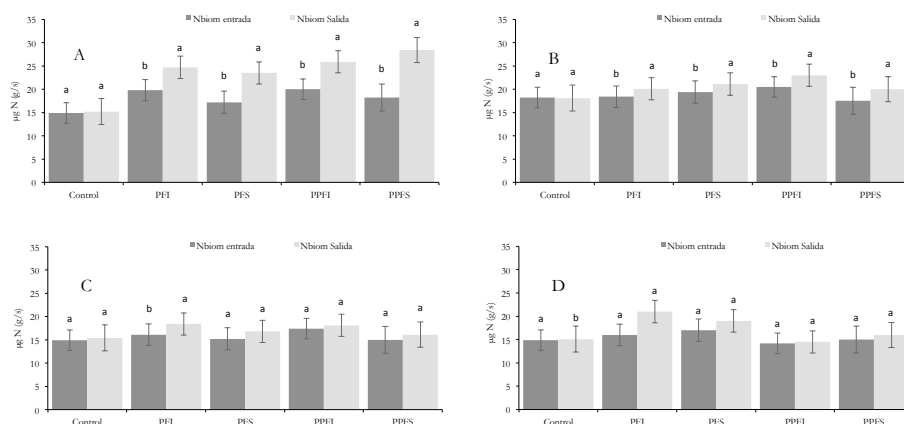


Figura 7.15. Concentración promedio de NB en pre y post pastoreo de una pastura polifítica en las estaciones de primavera (A); verano (B); otoño (C); invierno (D). Estación Experimental Maquehue, Universidad de La Frontera. Temuco, Chile. Control: control sin pastoreo; PFI: frecuente intenso; PFS: frecuente suave; PPFI: poco frecuente intenso; PPFS: poco frecuente suave. Diferentes letras entre barras de un mismo tratamiento indican diferencias significativas $P \leq 0,05$. Fuente: Núñez *et al.*, 2012.

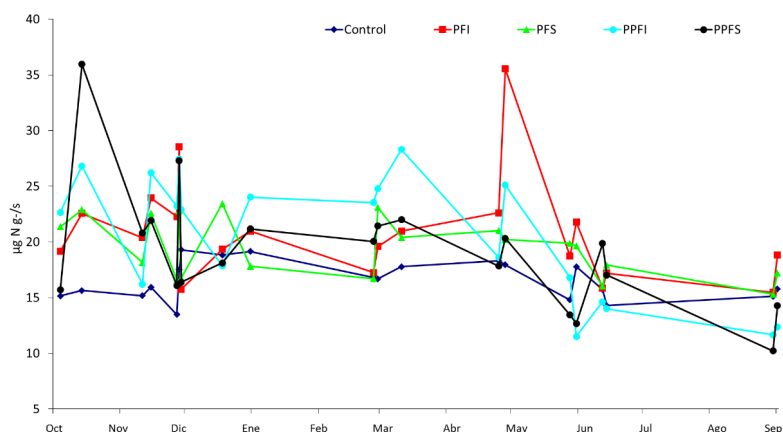


Figura 7.16. Fluctuación de la concentración de NB en el suelo durante la temporada de pastoreo de un pastizal polifítica. Estación Experimental Maquehue, Universidad de La Frontera. Temuco, Chile. Control: control sin pastoreo; PFI: frecuente intenso; PFS: frecuente suave; PPFI: poco frecuente intenso; PPFS: poco frecuente suave

Actividad ureasa (AU): La ureasa es una enzima que participa en el proceso de hidrólisis de la urea adicionada al suelo. Es un factor importante en la regulación del nitrógeno en los ecosistemas pastoriles, debido a que existe una correlación significativa entre el N de la biomasa microbiana con el N mineralizable y la actividad ureasa. La principal función de esta enzima es actuar sobre enlaces C-N, en enlaces no peptídicos y en amidas lineales, rompiendo dicho enlace en secuencias de dos, donde el carbamato es el compuesto intermedio en la reacción, de manera que éste es el sustrato obligado para el segundo paso de la reacción hidrolítica total (Tabatabai, 1994; Zantua *et al.*, 1997; Pascual *et al.*, 2002; Hassett & Zak, 2005).

El incremento de AU es atribuido a un efecto de la fertilización con N. Hwa Han *et al.* (2004) y Mahata & Antil (2004), han mencionado que el contenido de MO en el suelo tiene efecto positivo sobre la AU (Roscoe *et al.*, 2000) y por tanto en sistemas pastoriles donde existe una alta concentración de desechos orgánicos presentan una mayor actividad que aquellos donde los animales no participan del consumo de forraje directo del pastizal.

Al incrementar el contenido de C en un suelo con adecuadas condiciones de humedad para el desarrollo de microorganismos se produce una rápida hidrólisis de la urea. Es así como la actividad de la enzima está relacionada con la cantidad de N disponible en el suelo, con la dosis de N aplicado, condiciones de humedad y temperatura del suelo además de las condiciones climáticas del ambiente. Ejemplo de ello es lo que sucede en

verano y otoño donde existe una alta actividad de la enzima producto del incremento de temperatura y aumento de las emisiones de NH_3 . En ese sentido Yadav *et al.* (1987), concluyen que la temperatura y la humedad del suelo tienen un efecto en la hidrólisis de la urea y en la actividad de la enzima extracelular ureasa.

Alvear *et al.* (2007) sugieren que una mayor AU en el suelo está asociada a un mayor contenido de biomasa microbiana, coincidiendo con Nannipieri *et al.* (1979), quienes sugirieron que la AU se incrementa con la biomasa microbiana, ya que la ureasa es un constituyente intracelular. Sin embargo, Antil *et al.* (1992), plantearon que una mayor actividad de la ureasa está asociada a un mayor contenido de MO en el suelo más que a un incremento en la biomasa microbiana.

En relación con los sitios de mayor AU en el suelo se ha postulado que generalmente en los horizontes superiores es donde hay un mayor contenido de MO y, por tanto, donde se produce una mayor actividad ureasa, situación que fue ratificada por Baligar *et al.* (1991), que encontró en los horizontes subsuperficiales una menor AU en comparación con los horizontes superficiales.

En mediciones realizadas en sistemas pastoriles de la zona templada de Chile se observó que hubo una mayor actividad de la enzima ureasa después del pastoreo de los animales resultado que demuestra que el pastoreo y el reciclaje produce un incremento en la actividad de la enzima (Tabla 7.22).

Tabla 7.22. Actividad ureasa (AU) en el suelo $\mu\text{g N-NH}_4^+ \text{g}^{-1} \text{s}^{-1}$. Promedio anual en pre y post pastoreo según sistema de utilización de una pastura polifítica. Estación Experimental Maquehue, Universidad de La Frontera. Temuco, Chile.

Sistema de utilización	pre pastoreo	post pastoreo	Rango
Control	268±38,4 aB	283±45,3 aB	116 - 922
PFI	286±29,9 bA	329±27,0 aA	84 - 696
PFS	296±53,1 aA	319±74,1 aA	99 - 1.137
PPFI	235±49,8 bC	339±63,1 aA	104 - 860
PPFS	241±32,4 bC	331±56,6 aA	85 - 862

Control: control sin pastoreo; PFI: frecuente intenso; PFS: frecuente suave; PPFI: poco frecuente intenso; PPFS: poco frecuente suave
Diferentes letras minúsculas entre una misma fila indican diferencias significativas $P \leq 0,05$. Diferentes letras mayúsculas entre filas de una misma columna indican diferencias significativas $P \leq 0,05$.
Fuente: Núñez *et al.*, 2012.

En el estudio antes aludido se pudo demostrar que la actividad de la enzima ureasa es mayor en periodos de alta temperatura del aire y suelo (verano – otoño) donde además existe una mayor volatilización de NH_3 . En las estaciones de invierno y primavera se genera una reducción de la actividad enzimática debido a que la temperatura de suelo y aire son menores (Figura 7.17 y 7.18). A través del año se presentan variaciones en la actividad enzimática y la AU la cual fluctúa entre 234 y 339 $\mu\text{g N-NH}_4^+ \text{g}^{-1} \text{s}^{-1}$ valores que se ubican en el rango reportado por Cárcamo *et al.* (2004) en Andisoles: 337-553 $\mu\text{g N-NH}_4^+ \text{g}^{-1} \text{s}^{-1}$.

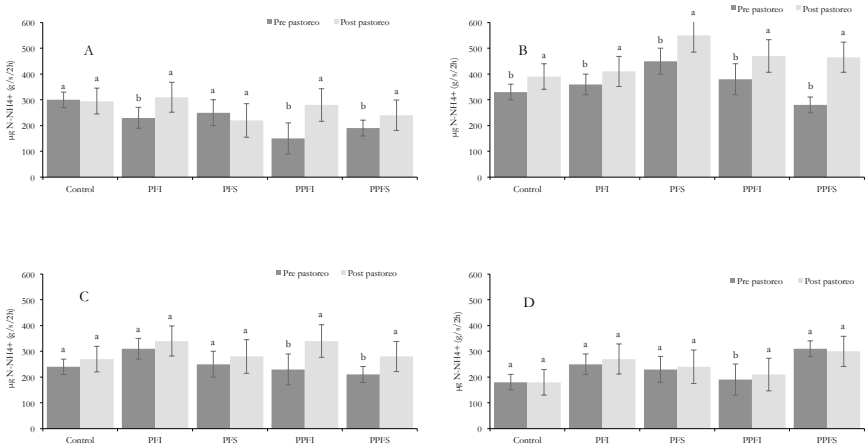


Figura 7.17. Actividad ureasa del suelo en pre y post pastoreo de una pastura polifítica en las estaciones de primavera (A); verano (B); otoño (C); invierno (D). Estación Experimental Maquehue, Universidad de La Frontera. Temuco, Chile.
Control: control sin pastoreo; PFI: frecuente intenso; PFS: frecuente suave; PPFI: poco frecuente intenso; PPFS: poco frecuente suave
Diferentes letras entre barras de un mismo tratamiento indican diferencias significativas $P \leq 0,05$.

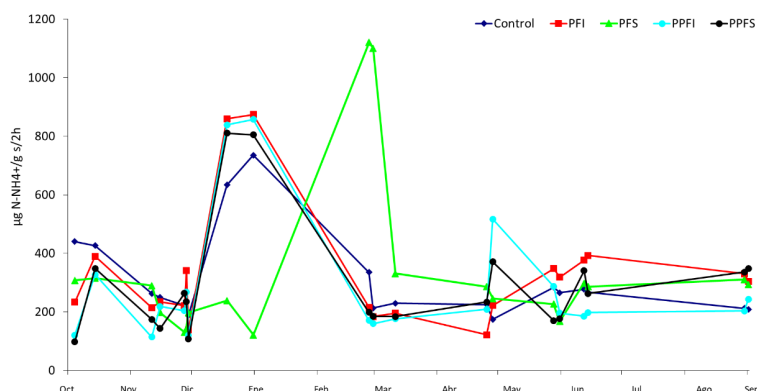


Figura 7.18. Fluctuación de la AU en el suelo durante la temporada de pastoreo de un pastizal polifítica. Estación Experimental Maquehue, Universidad de La Frontera. Temuco, Chile.

Control: control sin pastoreo; PFI: frecuente intenso; PFS: frecuente suave; PPFI: poco frecuente intenso; PPFS: poco frecuente suave

Fuente: Núñez *et al.*, 2012

Consideraciones generales

En los sistemas pastoriles las pérdidas de N dependen de la intensidad y frecuencia de utilización. La frecuencia de pastoreo regula las pérdidas de N por emisión de NH_3 y la intensidad de pastoreo regula las pérdidas por lixiviación (amonio + nitrato). El pastoreo frecuente respecto al pastoreo infrecuente produce entre un 10 y 30% de mayor pérdida de NH_3 . Por su parte, en el uso de los pastizales en forma intensa las pérdidas por lixiviación son un 40% mayor que en los pastoreos suaves o laxos. Las pérdidas de N lixiviado fluctúan entre un 7 y 14% y las pérdidas de NH_3 oscilan entre un 8 y 11% del total de N que ingresa al sistema. Esto genera un balance positivo de N en los sistemas pastoriles de la zona templada y una eficiente recuperación de N que puede alcanzar hasta un 71% en sistemas donde la frecuencia de uso es intensa.

El óxido nitroso (N_2O) volatilizado en los sistemas pastoriles no se relaciona con la frecuencia e intensidad de pastoreo y representa entre el 0,8 y 1,0% del N que ingresa al sistema praterense durante un año y entre el 1,3 y 1,4% del N aplicado como fertilizante.

En relación con la actividad biológica (AB) del suelo pastoreado, se evidencia que la actividad microbiana y los parámetros bioquímicos del suelo en los sistemas pastoriles está regulada por la frecuencia e intensidad de uso de las pasturas. En condiciones de uso frecuente e intenso se encuentra la mayor cantidad de C biomásico y N biomásico que puede alcanzar valores de 297 mg C kg^{-1} y $21,6 \text{ µg N g}^{-1}$, respectivamente. Además, los sistemas pastoriles promueven la actividad de la ureasa en el suelo ($319\text{-}339 \text{ µg N-NH}_4^+ \text{ g}^{-1} \text{ 2h}^{-1}$), donde la frecuencia e intensidad de uso no tienen un efecto claro sobre este parámetro.

Bibliografía

- Alfaro, M. & Salazar, F. 2005. Ganadería y contaminación difusa, implicancias para el sur de Chile. *Agricultura Técnica*, 65(3), 330-340.
- Alfaro, M. V., Salazar, F. S., Endress, D. B., Dumont J. C. L. & Valdebenito, A. B. 2006a. Nitrogen leaching losses on a volcanic ash soils affected by the source of fertiliser. *Journal Soil Science Plant Nutrition* 6, 54-63.
- Alfaro, M., Salazar, F. & Teuber, N. 2006b. Potassium surface runoff and leaching losses in a beef cattle grazing system on volcanic soil. *Better Crops* 90, 20-22.
- Alfaro, M. V., Salazar, F. S., Iraira, S., Teuber, N., Villaroel, D. & Ramírez, L., 2007. Nutrient losses in beef production systems of southern Chile. In: Pinochet, T.D. (Ed.), *Nutrición y Alimentación de Bovinos. Efecto de la Intensificación de Sistemas Ganaderos Pastoriles. Aspectos Técnicos, Ambientales y Sanitarios*. SOCHIPA, Chile, Serie Simposio y Compendio 12-13, 83-92. Valdivia, Chile.
- Alvear, M.; A Rosas; J.L. Rouanet & F Borie. 2005. Effects of three soil tillage systems on some biological activities in an Ultisol from southern Chile. *Soil and Tillage Research*. 82: 195-202.
- Anderson, G. C., Fillery, I. R. P., Dunin, F. X. & Aseng, S. 1998. Nitrogen and water flows under pasture-wheat and lupin-wheat rotations in deep sands in Western Australia. 2. Drainage and nitrate leaching. *Australian Journal of Agricultural Research* 49, 345-361.
- Antil, RS; RP Narwal & AP Gupta. 1992. Urease activity and urea hydrolysis in soils treated with sewage. *Ecological engineering*. 1: 229-237.
- Asner, G. P., Townsend, A. R., Riley, W. J., Matson, P. A. Neff, J. C. & Cleveland, C.C. 2001. Physical and biochemical controls over terrestrial ecosystem responses to nitrogen deposition. *Biogeochemistry*, 54, 1-39.
- Aulakh, M. S., Doran, J. W. & Mosier, A. R., 1992. Soil denitrification-significance, measurement, and effect of management. *Advances in Soil Science* 18, 1-57.

- Baligar, V.C., T. E., Staley & R. J. Wright. 1991. Enzyme activities in Appalachian soils: Urease. *Comm. Soil Science and Plant Analysis*. 22: 315-322.
- Baligar, V. C., Fageria, N. K. & He, Z. L. 2001. Nutrient use efficiency in plants. *Communication in Soils Science and Plant Analysis* 32, 921-950.
- Barbieri, P. A. & Echeverria, H. E. 2003. Evolution of ammonia volatilization losses from urea applied in autumn and spring to tall wheat grass (*Tinophyrum ponticum*). Pasture, Argentina. *RIA* 32, 17-29.
- Bardgett, R. D., DA Wardle & G. W., Yeates. 1998. Linking above-ground and below-ground interactions: how plant responses to foliar herbivore influence soil organisms. *Soil Biology & Biochemistry*. 30: 1867-1678.
- Bardgett, R. D. & D. A., Wardle. 2003. Herbivore mediated linkages between aboveground and belowground communities. *Ecology* 84: 2258-2268.
- Barlow, K., D. Nash, M. Hannah, & F. Robertson. 2007. The effect of fertiliser and grazing on nitrogen export in surface runoff from rain-fed and irrigated pastures in south-eastern Australia. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 77:69-82.
- Beetz, A. 2001. Sustainable pasture management. Livestock Systems Guide. ATTRA. 15 p.
- Benton, J. J., Benjamin, J. W. & Mills, H. A., 1991. Plant analysis handbook: A practical sampling, preparation, analysis, and interpretation guide. 212 p.
- Bircham, J. S. & Hodgson, J. 1983. The influence of sward condition on rates of herbage growth and senescence in mixed swards under continuous stocking management. *Grass and Forage Science* 38, 323-331.
- Boeckx, P., Godoy, R., Oyarzún, C., Bot, J. & Van Cleemput, O. 2004. Resolving differences in N between more polluted and pristine forest using ¹⁵N isotope dilution. In: Controlling nitrogen flows and losses. (D. J., Hatch, D. R., Chadwick, S. C., Jarvis, J. A. Roker, eds). pp. 143-144.
- Böhlke, J. K. 2002. Groundwater recharge and agricultural contamination. *Hydrogeology Journal* 10, 153-179.
- Borie, G. Peirano, P., Zunino, H. & Aguilera, S. M. 2002. N-pool in volcanic ash-derived soils in Chile and its changes in deforested sites. *Soil Biology and Biochemistry* 34, 1201-1206.
- Bouwman, A. F.; Van Drecht, G.; Van der Hoek, K. W. 2005. Global and regional surface nitrogen balances in intensive agricultural production systems for the period 1970-2030. *Pedosphere* 15: 137-155.
- Brown, L.; Syed, B.; Jarvis, S. C.; Sneath, R. W.; Phillips, V. R.; Goulding, K. W. T.; Li, C. 2002. Development and application of a mechanistic model to estimate emission of nitrous oxide from UK agriculture. *Atmospheric Environment* 36: 917-928.
- Bussink, D.W. 1992. Ammonia volatilization from grassland receiving nitrogen fertilizer and rotationally grazed by dairy cattle. *Fertiliser research* 33:257-265.
- CAA. 1999. Código Alimentario Argentino (CAA), de la Canal y Asociados, Argentina (Ley 18284/69). Capítulo: 12, pp. 331-335.
- Cabrera, V. E., de Vries, A. y Hildebrand, P. E. 2006. Prediction of nitrogen excretion in dairy farms located in North Florida: A comparison of three models. *Journal Dairy Science* 89, 1830-1841.
- Cameron, K. C. & H. J., Di. 2004. Nitrogen leaching losses from different forms and rates of farm effluent applied to a Templeton soil in Canterbury, New Zealand. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 47:429-437.
- Canseco, C., Abarzúa, A., Parga, J., Teuber, N., Balocchi, O., Lopetegui, J., Anwandter, V. & Demanet, R. 2007. Calidad nutritiva de las praderas. In: Manejo del pastoreo. (N., Teuber, O. Balocchi y J. Parga, eds). Proyecto FIA, Chile. pp. 51-67.
- Clegg, C. D. 2006. Impact of cattle grazing and inorganic fertilizer addition to managed grassland on the microbial community composition of soil. *Applied Soil Ecology* 31, 73-82.
- Dämmgen, U. & Grunhage, L. 2002. Trace gas emissions from German agriculture as obtained from the application of simpler or default methodologies. *Environmental Pollution* 117, 23-34.
- Decau, M. L., Simon, J. C. & Jacquet, A. 2003. Fate of urine nitrogen in three soils throughout a grazing season. *Journal of Environmental Quality* 32, 1405-1413.
- Demanet, F. R., Canales, C. C. & García, J. C. D. 2021. Manual de cultivos suplementarios. Plan Lechero Watt's – Universidad de La Frontera. Imprenta América, Valdivia, Chile. 180p.
- Demanet, R. 2019. Manual de especies forrajeras. Plan Lechero Watt's, Universidad de La Frontera. CRP Impresores. Concepción, Chile. 266p.
- Di, H. J. & Cameron, K. C. 2004. Treating grazed pasture soil with a nitrification inhibitor, eco-nTM, to decrease nitrate leaching in a deep sandy soil under spray irrigation - a lysimeter study. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 47, 351-361.
- Dueri, S., P. L. Calanca, & J. Fuhrer. 2007. Climate change affects farm nitrogen loss – A Swiss case Study with a dynamic farm model. *Agricultural Systems* 93:191-214.
- EC 1980. Directive relating to the quality of water intended for human consumption. EC (European Community), Official Journal of the European Community. L229, 80/778/EEC. Department of the Environment Circular 20/82. [available in , HMSO, 1982], London.
- Eckard, R. J.; Chen, D.; White, R. E.; Chapman, D. F. 2003. Gaseous nitrogen loss from temperate perennial grass and clover dairy pastures in south-eastern Australia. *Australian Journal of Agricultural Research* 54: 561-570.
- Formoso, F. 2005. Eficiencia de la producción y utilización de forraje en otoño e invierno. *Jornada Producción Animal Intensiva*. Uruguay. INIA. Serie Act. Difus. 406, 59-66.
- Fulkerson, W. J. y Snack. 1994. Leaf number as a criteria for determining defoliation time for Lolium perenne: Effect of water soluble carbohydrates and senescence. *Grass and Forage Science* 49, 373-377.
- García, F., Carrère, P., Soussana, J. F. & Baumont, R. 2003. How do severity and frequency of grazing affect sward characteristics and the choices of sheep during the grazing season? *Grass and Forage Science* 58, 138-150.
- Glass, C. & Silverstein, J. 1999. Denitrification of high-nitrate, high-salinity Wastewater. *Water Research* 33, 223-229.

- Godoy, R., Oyarzún, C. & Gerding V. 2001. Precipitation chemistry in deciduous and evergreen Nothofagus forests of southern Chile under a low-deposition climate. *Basic and Applied Ecology* 2, 65-72.
- Godoy, R., Paulino, L., Oyarzún, C. & Boeckx, P. 2003. Atmospheric N deposition in central and southern Chile. An overview. *Gayana Botany* 60, 47-53.
- Goss, M. J., Howse, K. R., Christian, D. G., Catt, J. A. & Pepper, T. J. 1999. Nitrate leaching: Modifying the loss from mineralized organic matter. *European Journal of Soil Science* 49,649-659.
- Guevara, J. C., Stasi, C. R. & Estevez, O. R. 1996. Effect of cattle on range perennial grasses in the Mendoza plain, Argentina. *Journal of Arid Environments* 34(2), 205-213.
- Güsewell, S., Pohl, M., Gander, A. & Strehler, C. 2007. Temporal changes in grazing intensity and herbage quality within a Swiss fen meadow. *Botanica Helvetica* 117(1), 57-73.
- Hamilton, E. W. & Frank, D. A. 2001. Can plants stimulate soil microbes and their own nutrient supply? Evidence from a grazing tolerant grass. *Ecology* 82, 2397-2402.
- Hassett, J. E. & Zak D.R. 2005. Aspen Harvest Intensity Decreases Microbial Biomass, Extracellular Enzyme Activity, and Soil Nitrogen Cycling. *Soil Science Society of America Journal*. 69:227-235.
- Hawkins, J. & D. Scholefield, 2000. Leaching of dissolved organic N from grass-white clover pasture in SW England. p. 378-380. In Soegaard, K., C. Ohlsson, J. Shested, N.J. Hutchings and T. Kristensen, T. (eds.). Grassland farming, balancing environmental and economic demands. Proc. 18th General Meeting of the European Grassland Federation (EGF), Aalborg, Denmark. 22-25 May. EGF, Aalborg, Denmark.
- Haynes, R. J., & P. H. Williams. 1993. Nutrient cycling and soil fertility in the grazed pasture ecosystem. *Advance in Agronomy*. 49:119-199.
- Haynes, R. J. 2000. Labile organic matter as an indicator of organic matter quality in arable and pastoral soils in New Zealand. *Soil Biology & Biochemistry*. 32: 211-219.
- Hoekstra, N. J., R. P. O. Schulte, P. C. Struik, and E. A. Lantinga. 2007. Pathways to improving the N efficiency of grazing bovines. *European Journal of Agronomy* 26:363-374.
- Hofman, G. & Cleemput, O. V. 2004. Soil and plant nitrogen. International Fertilizer Industry Association. pp. 1-48. IFA Graphics: Hélène Ginet, IFA. Printed in France Layout: Claudine Aholou - Pütz. 48., Paris.
- Houlbrooke, D. J., Horne, D. J., Hedley, M. J. & Hanly, J. A. 2004. A review of literature on the land treatment of farm-dairy effluent in New Zealand and its impact on water quality. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 47, 499-511.
- Hwa Han, K.; J Choi; G Hyun-Han; S In Yun; S Yoo & H Myong Ro. 2004. Urea- nitrogen transformation and compost-nitrogen mineralization in three different soils as affect by the interaction between both nitrogen inputs. *Biology and Fertility of Soils*. 39: 193-199.
- Iyyemperuma, K; DW Israel & W Shi. 2007. Soil microbial biomass, activity and potential nitrogen mineralization in a pasture: Impact of stock camping activity. *Soil Biology & Biochemistry*. 39: 149-157.
- Jarvis, S. C. & Barraclough, D. 1991. Variation in mineral nitrogen under grassland swards. *Plant and soil* 138, 177-188.
- Jarvis, S.C. 1993. Nitrogen cycling and losses from dairy farms. *Soil Use Management*. 9:99-105.
- Jarvis, S. C., Scholefield, D. & Pain, B. 1995. Nitrogen cycling in grazing systems. In: Nitrogen fertilization in the environment. (P. E Bacon, ed), Marcel Dekker, New York, pp. 381-419.
- Jarvis, S. C. 2002. Environmental impacts of cattle housing and grazing. p. 10-23. In Kaske, M. H. Scholz and M. Holtershinken (eds). Recent developments and perspectives in bovine medicine. Keynotes lectures of the 22nd world Buiatrics Cong (WBC), Hannover, Germany. 18-23. august, WBC, Hannover, Germany.
- Jones, D. 1998. Organics acids in the rhizosphere a critical review. *Plant and Soil*. 205: 25-44.
- De Klein, C. A. M. & Ledgard, S. F. 2001. An analysis of environmental and economic implications of nil and restricted grazing systems designed to reduce nitrate leaching from New Zealand dairy farms. I. Nitrogen losses. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 44, 201-215.
- Korte, C. J. 1986. Tillering in "Grasslands Nui" perennial ryegrass swards. 2. Seasonal pattern of tillering and age of flowering tillers with two mowing frequencies. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 29, 629-638.
- Kristensen, E. S. 1988. Influence of defoliation regime on herbage production and characteristics of intake by dairy cows as affected by grazing severity. *Grass and Forage Science* 43, 239-251.
- Krupa, S. 2003a. Atmosphere y agriculture in the new millennium. *Environmental Pollution* 126, 293-300.
- Krupa, S. V. 2003b. Effects of atmospheric ammonia (NH₃) on terrestrial vegetation: A review. *Environmental Pollution* 124, 179-221.
- Krupa, S. V. & Moncrief, J. F. 2002. An integrative analysis of the role of atmospheric deposition and land management practices on nitrogen in the US agricultural sector. *Environmental Pollution* 118, 273-283.
- Lampe, C., Taube, F., Wachendorf, M., Sattelmacher, B. & Dittert, K. 2004. Fluxes of N₂O from permanent grassland with different levels of nitrogen supply. In: Controlling nitrogen flows and losses. (D. J., Hatch, D. R. C., Chadwick, S. C. Jarvis, J. A. Roker, eds), IGER, U.K. pp. 336-337.
- Leach, K. A., Goulding, K. W. T., Hatch, D. J., Conway, J. S. & Allingham, K. D. 2004. Nitrogen balances over seven years on a mixed farm in the cotswolds. In: Controlling nitrogen flows and losses. (D. J., Hatch, D. R. Chadwick, S. C., Jarvis, J. A. Roker, eds), Institute of Grassland and Environmental Research, UK. pp.39-46.
- Ledgard, S. F.; Crush, J. R. & Penno, J. W. 1998. Environmental impacts of the different nitrogen inputs on dairy farms and implications for the resource management. *Act of New Zealand. Environmental Pollution* 102:515-519.
- Ledgard, S. F.; Penno, J. W. & Sprosen, M. S. 1999. Nitrogen inputs and losses from clover/grass pastures grazed by dairy cows, as affected by nitrogen fertilizer application. *Journal of Agricultural Science* 132: 215-225.
- Ledgard, S. 2001. Nitrogen cycling in low input legume-based agriculture, with emphasis on legume/grass pastures. *Plant and Soil* 228, 43-59.

- Mahata, M. K. & Antil, R. S. 2004. Effect of organic matter and level of organic carbon on urease activity of selected surface soil contaminated with lead. *Journal of Ecology and Environment*. 22: 314-314.
- Marschner, H. 2003. Mineral nutrition of higher plants. Second edition/Ed. Elsevier Science Ltd. Great Britain, 889 p.
- Martha, G. B., Corsi, M., Trivelin, P. C. O. y Alves, M. C. 2004. Nitrogen recovery and loss in a fertilized elephant grass pasture. *Grass and Forage Science* 59, 80-90.
- Matus, F., Rodríguez, J. & Pinochet, D. 2005a. Soil Fertility; A rational method of interpretation. In: 9th International Symposium of soil and plant analysis, enero 30 a febrero 4, 2005, Cancún, México. Soil and Plant Analysis Council, Inc. Workshop, pp. 1-89.
- Matus, F., Mellado, J. P. & Rodrigo, C. S. 2005b. Nitrogen fertilizer recommendations: Comparison between nitrogen balance of French and Stanford method on a barley crop under zero tillage in Chilean volcanic soils. X Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. 16-18 de noviembre 2005. (Casanova, M. P., Ed), Chile. Sociedad Chilena de las Ciencias del Suelo, Universidad de Chile. Boletín 21, 137 p.
- McGechan, M. B. & Topp, C. F. E. 2004. Modelling environmental impacts of deposition of excreted nitrogen by grazing dairy cows. *Agriculture Ecosystems and Environment* 103,149-164.
- McKenzie, F. R., Jacobs, J. L. & Kearney, G. 2006a. Effects of spring grazing on dryland perennial ryegrass/white clover dairy pastures. 1. Pasture accumulation rates, dry matter consumed yield, and nutritive characteristics. *Australian Journal of Agricultural Research* 57:543- 554.
- McKenzie, F. R., J. L. Jacobs, & G. Kearney. 2006b. Effects of spring grazing on dryland perennial ryegrass/white clover dairy pastures. 2. Botanical composition, tiller, and plant densities. *Australian Journal of Agricultural Research* 57:555-563.
- McLaren, R. G. & Cameron, K. C. 1996. Soil Science: Sustainable production and Environmental protection. New Edition / Ed. Oxford University. Melbourne Oxford, New York. 304 p.
- Menner, J., Ledgard, S., McLay, C. & Silvester W. 2005. The effects of treading by dairy cows during wet soil conditions on white clover productivity, growth and morphology in a white clover-perennial ryegrass pasture. *Grass and Forage Science*. 60:46-58.
- Milchunas, D. G. & W. K. Lauenroth. 1993. A quantitative assessment of the effects of grazing on vegetation and soils over a global range of environments. *Ecology Monograph* 63: 327-366.
- Mislevy, P. & Brown, W. F. 1991. Management and utilization of complementary forages: Stargrass. 40th Florida Beef Cattle Short Course. University of Florida, Gainesville, FL. 1-3, Mayo 1991, Gainesville, p. 100-112.
- Misselbrook, T. H., Sutton, M. A. & Scholefield, D. 2004. A simple process-based model for estimating ammonia emissions from agricultural land after fertilizer applications. *Soil Use and Management* 20, 365-372.
- Misselbrook, T. H., Nicholson, F. A. & Chambers, B. J. 2005. Predicting ammonia losses following the application of livestock manure to land. *Bioresource Technology*. 96:159-168.
- Mora, M. L., Alfaro, M., Jarvis, S. C., Demanet, R. & Cartes, P. 2006. Soil aluminium availability in Andisol of southern Chile and its effect on forage production and animal metabolism. *Soil Use and Management* 22, 95-101.
- Mora, M. L., Alfaro, M., Willian, P., Stehr, W. & Demanet, R. 2004b. Effect of fertiliser input on soil acidification in relation to growth and chemical composition of a pasture, and animal production. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 4, 29-40.
- Mora, M. L., Cartes, P., Núñez, P., Salazar, M. & Demanet, R. 2007. Movement of NO_3^- -N and NH_4^+ -N in an Andisol and its influence on ryegrass production in a short term study. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 7, 46-63.
- Mora, M. L., Ordoñez, C., Cartes, P., Vistoso, E., Pino, J., Jara, A. & Demanet, R. 2004a. Reciclaje de nitrógeno proveniente de purines en una pastura de *Lolium perenne* L. Simposio: Residuos orgánicos y su uso en sistemas agroforestales. Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo. Temuco, Chile. Universidad de La Frontera 20, 243-256.
- Mosier, A. & Galloway, J. N. 2005. Setting the scene the international nitrogen initiative. IFA International Workshop on Enhanced - Efficiency Fertilizers Frankfurt, Germany, 28-30 June 2005, pp.1-10.
- Muñoz, V. M. C. 2006. Dinámica del carbono orgánico del suelo en ecosistemas de la zona Mediterránea de Chile. Universidad de La Frontera, Temuco, Chile. 123 p.
- Murphy, W. E. 1986. Nutrient cycling under grazing. In: Grazing. (J. Frame, ed). Occasional Symposium BGS 19, 15-17.
- Nannipieri, P.; Pechozzini, PG Arcada & C Pionarelli. 1979. Changes in amino acids, enzyme activities and biomass during soil microbial growth. *Soil and Science*. 127: 26-34.
- Nishiyama, M.; Y Sumikawa; G Guan & T Maremoto. 2001. Relationship between microbial biomass and extractable organic carbon content in volcanic and non-volcanic ash soil. *Applied Soil Ecology* 17: 183-187.
- Núñez, R. P. A., Medina, M. R., García, L. G., Caridad, del R. J. & Asencio, V. J. 2019. Emisiones de óxido nítrico (N_2O) desde un suelo pastoreado con bovinos en pasto Tanner (*Brachiaria radicans* Napper) de República Dominicana. *Reunión anual Sociedad Caribeña de Cultivos Alimenticios, Proceedings of the Caribbean Food Crops Society* 55,19-28.
- Núñez-Ramos, P. A., García-Lagombara, G., Caridad del Rosario, J. & Asencio-Cuello, V. J. 2021. Mediciones de óxido nítrico (N_2O) en suelo manejado bajo pastoreo con bovinos de leche. *Terra Latinoamericana* 39, 1-12. e813. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.813>.
- Núñez, P., Demanet, R., Matus, F. & Mora, M. L. 2007. Grazing management, ammonia and nitrous oxide emissions: a general view. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 7 (3), 61-99.
- Núñez, P., Demanet, R., Alfaro, M. & Mora, M. L. 2010b. Nitrogen soil budgets in contrasting dairy grazing systems of Southern Chile, a short term study. *Journal Soil Science and Plant Nutrition* 10 (2), 170-183.
- Núñez, P., Demanet, R., Misselbrook, T. H., Alfaro, M. & Mora, M. L. 2010a. Nitrogen losses under different cattle grazing frequencies and intensities in a volcanic soil of southern Chile. *Chilean Journal of Agricultural Research* 70 (2), 237-250.
- Núñez, P. A., Demanet, R. & Mora, M. L. 2014. Estrategias de pastoreo y su efecto sobre la calidad y cantidad de forraje producido en el sur de Chile. *Anuario de Investigaciones Científicas*, 3(1): 54-68.
- Núñez, P. A., Jara, A., Sandoval, Y., Demanet, R. & Mora, M. L. 2012a. Biomasa Microbiana del suelo y actividad ureasa en una pradera

permanente pastoreada de Chile. *Revista Argentina de la Ciencia del Suelo* 30 (2): 187-199.

Núñez, P.A., Demanet, R., Jara, A. & Mora, M.L. 2012b. Amoníaco y óxido nítrico en diferentes sistemas de pastoreo en el sur de Chile. *Revista agropecuaria y Forestal, APF* 1 (1): 21-28.

Núñez, P.A., Jara, A., Sandoval, Y., Demanet, R. & Mora, M.L. 2012c. Cuantificación de la biomasa microbiana y la actividad ureasa del suelo en una pradera permanente. XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar de Plata, Argentina, del 16 al 20 de abril de 2012. Documento extenso en CD. 1-5 p.

Oenema, O. 2006. Nitrogen budgets and losses in livestock systems. *International Congress Series* 1293: 262-271.

Oenema, O. & Sapek, A. 2000. Controlling nitrogen oxide emissions from grassland farming systems; the COGANOG project. In: O. Oenema, and A. Sapek (eds). Effects of liming and nitrogen fertilizer application on soil acidity and gaseous nitrogen oxide emissions in grassland systems. Poland, PO, Falenty, IMUZ publisher. pp: 7-13.

Ordóñez, G. C. I., 2003. Lixiviación de nitrógeno proveniente de purines en una pastura de *Lolium perenne* de la IX región y su relación con las curvas de producción, estudio en lisímetros. Tesis de grado Ingeniero Agrónomo, Universidad de La Frontera, Temuco, Chile. 54 p.

Ortega-S. J. A., Avila-C. J. M., Gonzalez-V. E. A. & González-P. M. A. 2007. Grazing intensity and nitrogen fertilization to manage invasive kleberg bluestem on pangolagrass pastures in Northern Mexico. *Texas Journal of Agriculture and Natural Resources* 20, 109-115.

Ortiz, C., Balocchi, O., Anwandler V. & López, I. 2006. Efecto de la cantidad de fitomasa de pre y post pastoreo sobre la producción y calidad estacional de una pradera permanente. XXXI Reunión Anual de la Sociedad Chilena de Producción Animal, Chillan, Chile, del 18-20 octubre 2006. *SOCHIPA* 31, 15-16.

Owens, L. B., Van Keuren, R. W. & Edwards, W. M. 2003. Non-nitrogen nutrients inputs and outputs for fertilized pastures in silt loam soils in four small Ohio watersheds. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 97, 117-130.

Oyarzún, C. E., Godoy, R. & Leiva, S. 2002. Atmospheric deposition of nitrogen in a transect from the central valley to Cordillera de Los Andes, south-central Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 75, 233-243.

Oyarzún, C. E. & Huber, A. 2003. Nitrogen export from forested and agricultural watersheds of southern Chile. *Gayana Botany* 60, 63-68.

Paramasivam, S. y Alva, A. K. 1997. Nitrogen recovery from controlled release fertilizers under intermittent leaching and dry cycles. *Soil Science American of Society Journal* 162, 447-453.

Pascual, J. A.; Moreno J. L.; Hernández T. & García, C. 2002. Persistence of immobilized and total urease and phosphatase activities in a soil amended with organic wastes. *Bioresource and Technology* 82: 73-78.

Phillips, F. A.; Leuning, R.; Baigenta, R.; Kelly, K. B. & Denmead, O. T. 2007. Nitrous oxide flux measurements from an intensively managed irrigated pasture using micrometeorological techniques. *Agricultural and Forest Meteorology* 143: 92-105.

Powlson, D. S. 1993. Understanding the soil nitrogen cycle. *Soil Use and Management* 9, 86-94.

Reyes, J., I. Vidal, M. Gonzáles, & D. Fonte. 2000. Three grazing intensities on nitrogen soil recycling. *Cuban Journal of Agricultural Science* 34:201-206.

Reyes, J., I. Vidal, M. R. Gónzales, R.M. Gónzales, & D. Fonte. 2003. Effect of two different grazing intensities on the rotational methods with dairy cattle. Nutrients recycling in the soil from the dairy cattle dung. *Cuban Journal of Agricultural Science*. 37:161-166.

Reyes, A., Demanet, R. & Canseco, R. 2005. XXX Reunión Anual de la Sociedad Chilena de Producción Animal 30, 125-126.

Reynolds, C. M. & Wold, D. C. 1987. Influenced of urease activity and soil properties on ammonia volatilization from urea. *Soil Science* 143, 418-425.

Roscoe, R. M., C. A., Vasconcellos; A. E., Furtini Neto, G. A. A., Guedes & L. A. Fernández. 2000. Urease activity and its relation to soil organic matter, microbial biomass nitrogen and urea-nitrogen assimilation by maize in a Brazilian Oxisol under no-tillage and tillage systems. *Biology and Fertility of Soils*. 32: 52-59.

Rotz, C. A. 2004. Management to reduce nitrogen losses in animal production. *American Society of Animal Science*. 82: E119-E137.

Ru, Y. J. & Fortune, J. A. 1996. Hard grazing during spring growth improve nutritive value of subterranean clover. *Proceedings of Australian Society of Animal Production* 21, 423.

Ru, Y. & Fortune, J. A. 1999. Effect of grazing intensity and cultivar on morphology, phenology, and nutritive value of subterranean clover. 1. Morphology and phenology of subterranean clover during the growing season. *Australian Journal Agricultural Research* 50, 1191-1201.

Ru, Y. J. & Fortune, J. A. 2000. Effect of grazing intensity and cultivar on morphology, phenology, and nutritive value of subterranean clover II. Nutritive value during the growing season. *Australian Journal of Agricultural Research* 51, 1047-1055.

Saggar, S.; Giltrap, D. L.; Li, C. & Tate, K. R. 2007. Modelling nitrous oxide emission from grazed grassland in New Zealand. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 119: 205-216.

Sakaran, M & DJ Augustine. 2004. Large herbivores suppress decomposer abundance in a semiarid grazing ecosystem. *Ecology* 85: 1052-1061.

Salazar, F.; Alfaro, M.; Lagos, J.; Williams, J.; Ramírez, L. & Valencia. E. 2007. Volatilización de amoníaco por la aplicación de urea en una pradera permanente de Osorno. In: H., González, and H.S. Iraira, (eds), XXXII Congreso Anual de la Sociedad Chilena de Producción Animal. 14, 15 y 16 de noviembre 2007. INIASOCHIPA, Frutillar, CH, pp. 53-54.

Schellberg, J., Lellmann, A. & Kühbauch, W. 2006. Nutrient flows in suckler farm systems under two levels of intensity. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 74, 41-57.

Schils, R. L. M., A. Verhagen, H. F. M. Aarts, & L. B. J. Sebek. 2005. A farm level approach to define successful mitigation strategies for GHG emissions from ruminant livestock systems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 71:163-175.

Scimone, M., Rook, A. J., Garel J. P. & Sahin, N. 2007. Effects of livestock breed and grazing intensity on grazing systems: 3. Effects on diversity of vegetation. *Grass and Forage Science* 62, 172-184.

Simmelsgaard, S. E. 1998. The effect of crop, N-level, soil type and drainage on nitrate leaching from Danish soil. *Soil Use and Management* 14,

- Sommer, S. G. & Jensen, C. 1994. Ammonia volatilization from urea and ammoniacal fertilizers surface-applied to winter-wheat and grassland. *Fertilizer Research* 37: 85-92.
- Sommer, S. G., Sogaard, H. T., Moller, H. B. & Morsing, S. 2001. Ammonia volatilization from sows on grassland. *Atmospheric Environment* 35, 2023-2032.
- Steinshamn, H., Höglind, M., Garmo, T. H., Thuen, E. & Brenoe, U. T. 2006. Feed nitrogen conversion in lactating dairy cows on pasture as affected by concentrate supplementation. *Animal Feed Science Technology* 131, 25-41.
- Steubing, L., Godoy, R. & Alberdi, M., 2002. Métodos de Ecología Vegetal. Universidad Austral de Chile. Primera impresión/Ed. GTZ/CONAF, Valdivia, Chile. 345 p.
- Strebel, O., Duynisveld, W. H. M. & Bottcher, J. 1989. Nitrate pollution of ground water in western Europe. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 26, 189-214.
- Sutton, M. A., Pitcairn, C. E. R. & Fowler, D. 1993. The exchange of ammonia between the atmosphere and plant communities. *Advances in Ecological Research* 24, 301-393.
- Tabatabai, M., 1994. Soil Enzymes. In: R.W. Weavre; J.S. Angle & P.S. Bottomley. 1994. Methods of Soil Analysis. Part 2 Microbiological and Biochemical Properties. Soil Science of America. U.S.A.
- Urzúa, H. 2005. Beneficios de la fijación simbiótica de nitrógeno en Chile. *Ciencia e Investigación Agrícola* 32, 133-150.
- USEPA (United States Environmental Protection Agency). 1986. Maximum contaminant levels (subpart B of part 141, National primary drinking water regulations), Washington, D. C. US Code of Federal Regulations, Rep. No. Title 40, parts 100-149.
- USEPA (United States Environmental Protection Agency). 1989. Federal Register: Washinton, D.C. 22. 54 FR 22062.
- Van Beeck, C. L., Brouwer, L. & Oenema, O. 2003. The use of farm gate balances and soil surface balances as estimator for nitrogen leaching to surface water. *Nutrient Cycling Agroecosystems* 67, 233-244.
- Van der Hoek, K.W. 1998. Nitrogen efficiency in global animal production. *Environment Pollution* 102, 127-132.
- Van Es, H. M. & Delgado, J. A. 2004. Nitrate Leaching Index. In: Encyclopedia of Soil Science. (M. Dekker, ed), New York, pp. 1-3.
- Van Groenigen, J. W., P. J. Kuikman, W. J. M. de Groot, & G. L. Velthof. 2005. Nitrous oxide emission from urine-treated soil as influenced by urine composition and soil physical conditions. *Soil Biology and Biochemistry* 37: 463-473.
- Van Vuuren, A. M. & Meijs, J. A. C. 1987. Effects of herbage composition and supplement feeding on the excretion of nitrogen in dung and urine by grazing dairy cows. In: Animal manure on grassland and fodder crops. (H. G. van der Meer, R. J. Unwin, T. A. Van dijk and G. C. Enmink, eds.), pp. 17-25. Martinus Nijhoff, Dordrecht.
- Vesk, A.P. & Westoby, M. 2001. Predicting plant species' responses to grazing. *Journal of Applied Ecology* 38, 897-909.
- Wachendorf, C., F. Taube, & M. Wachendorf. 2005. Nitrogen leaching from 15N labeled cow urine and dung applied to grassland on a sandy soil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 73:89-100.
- Wang, K. H., McSorley, R., Bohlen, P. & Gathumbi, S. M. 2006. Cattle grazing increases microbial biomass and alters soil nematode communities in subtropical pastures. *Soil Biology and Biochemistry* 38, 1956-1965.
- Watson, C.J., & P. Poland. 1999. Change in the balance of ammonium-N and nitrate-N content in soil under grazed grass swards over 7 years. *Grass and Forage Science* 54:248-254.
- Wen Yu, Y., Nan, Z.B. & Matthew, C. 2008. Population relationships of perennial ryegrass and white clover mixtures under differing grazing intensities. *Agriculture, ecosystems & environment* 124, 40-50.
- Whitehead, D. C. 2000. Nutrient elements in grassland: Soil-plant-animal relationships. 1/Ed. Cab International publishing. AMA Graphics Ltd, Preston, Tucson, UK. 368 p.
- Yadav, D. S., V., Kumar; M., Singh & P. S., Relan. 1987. Effect of temperatura and moisture on kinetics of urea hydrolysis and nitrification. *Australian Journal of Soil Research*. 25: 185-191.
- Zagal, E. & C. Córdova. 2005. Indicadores de calidad de la materia orgánica del suelo en un Andisol cultivado. *Agricultura Técnica* 65: 186-197.
- Zantua, M. I., Dumenil L. C. & Bremner, J.M. 1997. Relationships between soil urease activity and other soil properties. *Soil Science Society of America Journal*. 41:350-352.

Capítulo VIII

Nutrición biológica de las plantas en praderas y pasturas

José Miguel Barea Navarro
Concepción Azcón-Aguilar
Rosario Azcón
Fernando Borie Borie

Contenido

Introducción	358
Tipos de microorganismos del suelo y sus interacciones con la planta	359
Microorganismos que impulsan procesos relacionados con la captación y eficiencia en el uso de nutrientes por las plantas	360
Impacto de las micorrizas arbusculares (MA) en la nutrición y salud de las plantas	362
Interacciones entre hongos MA y otros microorganismos en la micorrizosfera	366
Hongos MA, rizobios y PGPR como bioestimulantes de las plantas	369
Otros bioestimulantes de las plantas	370
Aplicación de la biotecnología microbiana en el desarrollo sustentable de pastizales	371
Bibliografía	372

Introducción

Es un hecho universalmente reconocido que actualmente existe una creciente demanda global de alimentos, fibra y bio-energía, situación que se hace más perentoria de cara al futuro dado el evidente y constante incremento de la población del Planeta. La Sociedad es cada vez más consciente de que hay que aumentar la producción de alimentos, con base en la agricultura, para atender el consumo humano y de animales, al mismo tiempo que se debe considerar prioritario la calidad sanitaria de esos alimentos, siguiendo siempre estrategias productivas que preserven la biosfera. A primera vista parecería que el problema podría solucionarse mediante una producción agrícola intensiva; sin embargo, ello implicaría el consumo masivo de recursos naturales no-renovables, tales como combustibles fósiles y otras fuentes de energía, agua, suelo agrícola, reservas de fosfato de roca, entre otros. Además, la producción y aplicación de fertilizantes químicos y otros productos agroquímicos, ocasionaría un vertido de nutrientes solubles y xenobióticos a los acuíferos, lo que constituye una fuente inequívoca de contaminación ambiental (Browne *et al.*, 2013).

Colateralmente, la agricultura intensiva se sabe que aumenta la producción de gases de efecto invernadero, lo que ocasionaría un incremento de la temperatura de la Tierra y afectaría a la estabilidad de la biosfera (Duarte *et al.*, 2006). Indudablemente, la agricultura intensiva genera diversos tipos de factores y condiciones que producen estrés a las plantas e impactan en la funcionalidad/productividad tanto de los sistemas agrícolas como de los ecosistemas naturales. Entre estos factores están la salinidad, sequía, déficit de nutrientes, contaminación, erosión del suelo, enfermedades, plagas, malas hierbas, entre otros. La aplicación de agroquímicos para controlar los agentes patógenos e insectos herbívoros causantes de enfermedades y plagas, así como los que tratan de subsanar las deficiencias en nutrientes en suelos agrícolas, provocan contaminación ambiental que puede amenazar la salud humana y de los animales, es decir, afectarían la seguridad alimentaria (Vitousek *et al.*, 1997).

Para garantizar los niveles productivos de los sistemas agrícolas, naturales o naturalizados, se hace perentorio que el desarrollo y productividad de dichos sistemas estén basados en criterios de sustentabilidad, concepto/acción que implica lograr un crecimiento optimizado de las plantas y obtener los máximos beneficios con un aprovechamiento racional de los recursos naturales (Altieri, 2004). Evidentemente, se trata de un tema fundamental para la vida humana y para la sustentabilidad global de los agroecosistemas. La clave es conservar por largo tiempo la fertilidad y calidad del suelo, con el mínimo gasto en energía y recursos no renovables, lo que finalmente conlleva a preservar la biosfera. Para lograr desarrollos sustentables se deben modificar las estrategias de manejo clásicas, de forma que se reduzca el uso de fertilizantes y fitofármacos. Un desarrollo sustentable debe considerar unos factores primarios característicos como son el medio ambiente, la sociedad y la economía, que, a su vez, interactúan entre ellos. Así, de la intersección economía-medio ambiente surge la agroecología; mientras que de la intersección medio ambiente-sociedad se crea una concienciación ambiental, y de la interacción sociedad-economía resulta lo que se conoce como calidad de vida. Aunar agroecología (la ciencia de la sustentabilidad), concienciación ambiental y calidad de vida es fundamental ya que son los atributos

que conducen a un desarrollo sustentable.

Actualmente, el reto de la investigación en cuanto a desarrollos sustentables de los sistemas suelo-planta es coordinar aspectos medioambientales y económicos para reducir el uso de recursos no renovables, sin comprometer las cosechas. En la búsqueda de estrategias eficientes y sustentables, se propuso que una explotación racional de los servicios agrosistémicos de las comunidades de microorganismos que viven asociados a las plantas, especialmente a sus raíces, podría ser una aproximación de investigación efectiva y prometedora en la búsqueda de desarrollos sustentables en agricultura (Barea, 2015). En efecto, las plantas viven en interacción con diversas y complejas comunidades de organismos, lo que se conoce con el nombre de *fitobioma*, que incluye bacterias, hongos, nematodos, invertebrados, plantas parásitas, entre otro (López-Raéz *et al.*, 2017). Entre los organismos que componen el fitobioma cabe destacar a los microorganismos, a cuyo conjunto se conoce como *fitomicrobioma* y que desarrollan actividades de vital importancia para la planta (Zacarini *et al.*, 2013). Entre éstas, podríamos destacar la capacidad de promover la germinación de las semillas y el enraizamiento, de propulsar el ciclado de nutrientes, su captación por las plantas y el uso eficiente de los mismos, controlar enfermedades y plagas, aliviar los impactos negativos de factores abióticos que causan estrés a la planta, y mejorar la calidad del suelo. Es decir, pueden actuar como biofertilizantes, bioprotectores y bioestimulantes (Barea, 2015; du Jardin, 2015). Tales actividades conllevan a favorecer una producción agrícola sustentable y garantizar la seguridad alimentaria. Colateralmente, mejoran la estructura del suelo, lo que incide en la calidad de este recurso no renovable responsable de muchas y diversas funciones medioambientales y sociales, que permiten la vida en la Tierra.

Un objetivo prioritario de la sustentabilidad es promover las interacciones entre los factores químicos, físicos y biológicos, conocidos como macro-componentes de la fertilidad del suelo, en forma tal que permita mejorar la productividad y salud de las plantas y la calidad del suelo. Como se ha referido anteriormente, un conjunto significativo de los componentes biológicos de la fertilidad del suelo está constituido por grupos de microorganismos, genética y funcionalmente diversos, capaces de participar en muchos procesos responsables de una gran cantidad de servicios agrosistémicos que conllevan a la 'nutrición biológica' de la planta (Barea *et al.*, 2013a, Lugtenberg, 2015). Este potencial biológico puede ser explotado mediante un manejo apropiado de los microorganismos y sus funciones, lo que se considera esencial para lograr metas económica y ecológicamente sustentables (Zolla *et al.*, 2013).

En el presente Capítulo se van a analizar las razones y posibilidades para la utilización de la microbiota del suelo como componente de las estrategias a seguir para alcanzar una productividad sustentable en agrosistemas, con particular referencia a las praderas y pasturas. En primer lugar, se ofrece una visión panorámica de los tipos de microorganismos del suelo y de sus principales actividades en interacción con las raíces de las plantas.

Tipos de microorganismos del suelo y sus interacciones con la planta

Como se ha indicado anteriormente, dos de las principales funciones de los microorganismos del suelo son propulsar el ciclado biogeoquímico de los nutrientes y promover la salud de las plantas (Barea *et al.*, 2013a, Lugtenberg, 2015). Dichas actividades son más relevantes en las interfaces suelo-raíz, donde los microorganismos encuentran microhábitats para crecer, estimulados por la presencia de sustratos con C disponible que proporcionan los llamados rizodepósitos de la planta (Hirsch *et al.*, 2013b). De esta forma, los microorganismos se establecen en torno a las raíces y se genera un entorno altamente reactivo, conocido como la rizosfera, un escenario dinámico donde ocurren las interacciones microbio-planta. La formación, desarrollo, significado, funcionamiento y posibilidades de manejo de la rizosfera es un tema de intensa investigación en los últimos años (Zhang *et al.*, 2010; Barea *et al.*, 2013a). Algunos de los microorganismos que viven en la rizosfera pueden crecer en los medios de cultivo habituales en el laboratorio (microorganismos cultivables), por lo que pueden ser aislados y multiplicados con relativa facilidad (Hirsch *et al.*, 2013a). Las actividades de los microorganismos cultivables se pueden evidenciar fácilmente en el laboratorio y, en su caso, estos microorganismos se pueden aplicar con facilidad como inoculantes en agricultura. Sin embargo, una gran mayoría (más de un 90%) de los microorganismos del suelo entran en la categoría de no cultivables, lo que dificulta su manejo. Su estudio se aborda desde hace relativamente poco tiempo utilizando aproximaciones experimentales basadas en técnicas de biología molecular (Barret *et al.*, 2013). Estudios recientes están demostrando que los microorganismos no cultivables llevan a cabo, de forma natural, actividades tales como promoción del crecimiento de la planta, captación de los nutrientes y potenciación de la resistencia de la planta frente a factores causantes de estrés,

entre otras (Zolla *et al.*, 2013).

Considerando el factor tamaño, que define a los microorganismos, estos están integrados por bacterias y componentes microscópicos de algas, protozoos y hongos, aunque la inmensa mayoría de los estudios de microbiología del suelo se centran en bacterias y hongos. Estos microorganismos establecen con las plantas relaciones saprófitas o simbióticas, tanto beneficiosas como perjudiciales. La mayoría permanecen en el suelo rizosférico o en la rizoplanea (la superficie de la raíz), pero una pequeña sub-población de ellos, denominados endófitos, son capaces de penetrar y vivir en los tejidos de la planta (Porras-Alfaro & Bayman, 2011; Hardoim & van Elsas, 2013; Malfanova *et al.*, 2013; Brader *et al.*, 2014; Mercado-Blanco, 2015). Por mecanismos aun no bien conocidos, los endófitos escapan a la respuesta inmune de la planta, y colonizan los tejidos sin causarle síntomas de enfermedad. Algunos endófitos incrementan el crecimiento de la planta y mejoran su respuesta a patógenos, herbívoros o cambios ambientales adversos. También pueden producir metabolitos secundarios importantes en la actividad de la planta. La mayoría de los endófitos son no cultivables.

En cuanto a los microorganismos beneficiosos de la rizosfera, responsables en gran medida de la fertilidad biológica del suelo, hay que considerar en primer lugar a los *saprophytes* que mejoran el rendimiento de la planta. Estos actúan mediante distintos mecanismos, entre los que se incluyen (1) la descomposición de los detritus orgánicos del suelo; (2) la promoción del crecimiento de la planta, bien propulsando el ciclo de los nutrientes, induciendo resistencia sistémica de la planta frente a agentes causantes de enfermedades y plagas (ISR, por su acrónimo en inglés *induced systemic resistance*), o actuando directamente frente a patógenos o como bioestimulantes y (3) la biorremediación de suelos contaminados (Lugtenberg, 2015). Los microorganismos capaces de estimular el desarrollo de las plantas se conocen genéricamente como PGPM (por su acrónimo en inglés “Plant Growth Promoting Microorganisms”), y estos, a su vez, suelen subdividirse en PGPR (“Plant Growth Promoting Rhizobacteria”, como por ejemplo muchas especies de *Pseudomonas*) y PGPF (“Plant Growth Promoting Fungi”, como *Trichoderma*). Para ser eficaces como fertilizantes biológicos, las PGPR deben tener la capacidad de sobrevivir y multiplicarse en la rizosfera de las plantas en competencia con el microbiota nativo y expresar sus actividades promotoras del crecimiento de las plantas *in vivo* (Mártinez-Viveros *et al.*, 2010). Entre las actividades de las PGPR implicadas en procesos relacionados con el ciclado de nutrientes, son fundamentales la fijación de nitrógeno, la movilización de fosfatos, la liberación de otros nutrientes a la solución del suelo (Richardson *et al.*, 2009; Barea & Richardson, 2015) y la producción de fitohormonas que favorecen la proliferación de raíces y pelos radicales (Vacheron *et al.*, 2013).

Entre los microorganismos *simbiontes mutualistas* se incluyen fundamentalmente las bacterias fijadoras de N₂ y los hongos formadores de micorrizas arbusculares (MA). Las primeras se refieren a bacterias pertenecientes a diversos géneros, conocidos colectivamente como rizobios, que fijan N₂ en simbiosis con leguminosas (Olivares *et al.*, 2013; de Bruijn, 2015). Los hongos formadores de MA (en adelante, hongos MA), establecen la simbiosis micorrízica con las raíces de la mayoría de las especies de plantas. Las micorrizas son entidades biológicas responsables de diversos servicios ecosistémicos, con especial referencia a la mejora de la captación de nutrientes asimilables por parte de la planta, particularmente fosfato, y la mejora de la estructura del suelo (Smith & Read, 2008; van der Heijden *et al.*, 2015). Pertenecen al subphylum Glomeromycotina, dentro de Mucoromycota (Spatafora *et al.*, 2016).

Microorganismos que impulsan procesos relacionados con la captación y eficiencia en el uso de nutrientes por las plantas

El presente análisis de las investigaciones sobre microorganismos relacionados con el aporte de nutrientes a las plantas se va a centrar fundamentalmente en (1) bacterias fijadoras de N₂, tanto las de vida libre, como las que establecen simbiosis asociativas o mutualistas con las plantas; (2) microorganismos movilizadores de P, y (3) hongos MA. Dado que la actividad de los hongos MA va ligada al establecimiento de la simbiosis micorrízica con la planta, este apartado va seguido de un análisis más extenso (en un apartado específico) de la formación y significado de las MA en nutrición y salud de las plantas. Las actividades de estos grupos de microorganismos son fundamentales en la nutrición y persistencia de las principales especies forrajeras, sean estas gramíneas o leguminosas, no así para las especies forrajeras suplementarias (Demanet, 2014). En el caso de gramíneas, como ballicas, festuca, pasto ovillo y bromo, es de gran importancia la colonización de sus raíces por hongos MA. Por su parte, en el caso de leguminosas como alfalfa, trébol blanco y trébol rosado, es de crucial importancia la efectividad de los rizobios, así como también la simbiosis micorrízica, puesto que, como se verá más adelante, la

fijación simbiótica de N_2 es muy dependiente del aporte de P, el cual es facilitado por los hongos MA. Distinto es la situación de forrajeras suplementarias, como el nabo, la col, la rutabaga y el raps forrajero, todas ellas especies de la familia *Brassicaceae*, que no fijan nitrógeno atmosférico, ni son dependientes de las micorrizas. El aporte de nutrientes a estas especies proviene de la fertilización convencional, aunque la liberación de exudados por sus raíces y la actividad de las PGPR son mecanismos que probablemente contribuyen a hacerlos más disponibles (Hunter *et al.*, 2014).

Bacterias fijadoras de N_2

A pesar de que el nitrógeno molecular (N_2) es un recurso ilimitado, ya que representa el 78% de los gases de la atmósfera (Elser, 2011), la productividad agrícola está normalmente condicionada por la disponibilidad de N, ya que las plantas no pueden usar de forma directa el N_2 . Por ello, esta fuente de N tiene que ser transformada química o biológicamente para dar lugar a formas accesibles para la planta (amonio o nitrato). La capacidad de los seres vivos para fijar (reducir) el N_2 de la atmósfera a amonio está restringida a algunos grupos de bacterias, los únicos organismos que poseen el enzima nitrogenasa, responsable exclusivo de esta actividad (Olivares *et al.*, 2013; de Bruijn, 2015). El proceso de fijación de N_2 es el primer paso en el ciclo del N desde la atmósfera a la biosfera, un proceso clave en el aporte de N para garantizar la productividad en agricultura (Arrese-Igor, *et al.*, 2010). Entre las bacterias fijadoras de N_2 hay que diferenciar a las que actúan en vida libre, de aquellas que establecen simbiosis asociativas o mutualistas (Olivares *et al.*, 2013). Las bacterias de vida libre pertenecen a diversos géneros y fijan el N_2 como fuente de N para ellas mismas. La cantidad del nutriente que transfieren a la planta es muy baja, por lo que se les reconoce un significado agronómico muy limitado. Por el contrario, las bacterias que establecen simbiosis mutualistas con las plantas (nódulos en la raíz), transfieren el amonio que deriva de la fijación directamente a la planta. Este es el caso de las leguminosas que forman nódulos inducidos por bacterias colectivamente denominadas rizobios. Hay otro tipo de nódulos fijadores de N_2 , los formados por bacterias del género *Frankia* con plantas de interés forestal, que no serán consideradas en el presente capítulo. Las bacterias que establecen las llamadas simbiosis asociativas, como *Azospirillum*, colonizan las superficies de la raíz, e incluso pueden invadir tejidos de la planta, aunque no forman estructuras especializadas en la fijación de N_2 , como los nódulos (Dobbelaere & Okon, 2007; Gutiérrez-Mañero & Ramos-Solano, 2010; Bashan *et al.*, 2011; Olivares *et al.*, 2013). La inoculación con *Azospirillum* aumenta el contenido de N en la planta. Sin embargo, la bacteria actúa principalmente produciendo auxinas (fitohormonas implicadas en el enraizamiento), por lo que favorecen la captación de nutrientes del suelo por la planta, más que mediante la fijación de N_2 (Dobbelaere *et al.*, 2001). En todo caso, la simbiosis rizobio-leguminosa se considera el sistema fijador de N_2 más importante y eficiente. La amplia representación de las leguminosas en praderas y pasturas confiere un especial interés a la fijación de N_2 en dichos sistemas pastoriles.

Microorganismos movilizadores de P

Es una realidad contrastada que la disponibilidad de P es un factor limitante para la productividad agraria. La aplicación de fertilizantes fosfatados ha sido la solución en años, pero el previsible agotamiento de las reservas de fosfatos naturales, ligado a problemas de contaminación, hace perentorio el uso de soluciones alternativas. La más atractiva está basada en aprovechar la capacidad de los microorganismos del suelo para movilizar el P difícilmente disponible y contribuir así a la nutrición de las plantas (Barea & Richardson, 2015). En este sentido, se analizan los mecanismos mediante los cuales las actividades de los microorganismos conllevan a incrementar la liberación de P asimilable a partir de formas de P difícilmente disponible, ya sea inorgánico (solubilización), como orgánico (mineralización) (Tao, 2008).

Tanto bacterias como hongos del suelo han demostrado su capacidad de solubilizar *in vitro* compuestos de fosfato inorgánico insolubles, que lo son por estar en forma de sales de calcio, aluminio o hierro (Marschner, 2008; Morales *et al.*, 2011). En el caso del fosfato tricálcico, el mecanismo de solubilización por microorganismos está basado en la producción de protones y la acidificación del medio, aunque también se han descrito procesos de quelación del Ca. La solubilización de fosfatos de hierro y aluminio, aún más insolubles que los de calcio, está basada en la producción de ácidos orgánicos con capacidad quelante que secuestran Fe y Al, con la consiguiente liberación de P a la solución del suelo. Entre los ácidos orgánicos quelantes, procedentes del metabolismo del C, se han descrito citrato, oxalato, lactato, succinato, gluconato y 2-cetogluconato, siendo el primero el más efectivo. También se ha descrito la producción de sideróforos en relación con la solubilización de fosfatos de Fe (Marschner, 2008; Richardson *et al.*, 2009; Barea & Richardson, 2015). Con respecto a los fosfatos orgánicos

también se ha demostrado que bacterias y hongos del suelo son capaces de hidrolizar compuestos de P orgánico, un proceso llamado mineralización de P orgánico, que da lugar a que se liberen iones ortofosfato a la solución del suelo (Richardson *et al.*, 2009). La mineralización de P orgánico consiste en un proceso de solubilización/hidrólisis llevado a cabo por la actividad de enzimas de tipo fosfatasa (Rubio *et al.*, 1990). Los microorganismos mineralizadores producen diversos tipos de fosfatasa, tanto inespecíficas, como las fosfatasa ácidas o alcalinas, o específicas, como las fitasa, que liberan ortofosfato a partir del fitato y de otras formas de inositol fosfato (Borie *et al.*, 1983; Jorquera *et al.*, 2008).

Aunque está demostrado que los microorganismos de vida libre son capaces de movilizar el P en el suelo, evidenciar que en condiciones agronómicas las actividades de estos microorganismos realmente benefician la nutrición de las plantas sigue siendo objetivo de investigación (Richardson *et al.*, 2009; Antoun, 2012). En efecto, generalizar la efectividad de estos microorganismos presenta dificultades de distinta índole. En primer lugar, una limitación de C en microhábitats no-rizosférico puede dificultar que los microorganismos liberen ortofosfato a partir de fuentes no disponibles (Whitelaw, 2000). Sin embargo, puede haber solubilización en microhábitat concretos en los que los microorganismos dispongan de fuentes de C metabolizable, lugares que se conocen como *hot spots*. En estos casos surge otra dificultad y es la translocación de los iones ortofosfato solubilizados desde microhábitats no-rizosférico hasta la superficie de la raíz, ya que a medida que difunde, el ion es usualmente refijado por los componentes del suelo (Barea & Richardson, 2015). En el caso de las fitasa, su efectividad en algunos suelos no está demostrada ya que estas enzimas pierden actividad al ser adsorbidas por partículas de suelo. Además, los inositoles fosfato pueden ser adsorbidos o precipitados por óxidos de Al o Fe u otros constituyentes del suelo, lo que dificulta su disponibilidad a la acción de las fitasa (Marschner, 2008). Además, el ortofosfato solubilizado puede ser inmovilizado en la biomasa microbiana, lo que impediría su utilización por las plantas (Richardson, 2007). Sin embargo, y como se detalla al describir más adelante las interacciones en la micorrizosfera de las plantas, cuando el micelio externo de una micorriza alcanza microhábitats del suelo donde microorganismos movilizadores de P han liberado ortofosfato, este nutriente puede ser canalizado, transferido y utilizado por la planta (Richardson *et al.*, 2009), evitando la interacción con las partículas de suelo. Hasta la fecha no se ha evaluado la contribución de los microorganismos no-cultivables a la movilización de P y su significado en la nutrición de la planta (Barret *et al.*, 2013).

Hongos formadores de micorrizas arbusculares

Diversos hongos del suelo desarrollan actividades que benefician la nutrición y salud de las plantas, tanto en ecosistemas naturales como en agro sistemas. Un grupo destacado de tales hongos beneficiosos son los que establecen asociaciones simbióticas con las plantas, conocidas como micorrizas (del griego *mikos*, hongo, y *rhiza*, raíz). Los hongos formadores de micorrizas incluyen unas 50.000 especies que establecen dichas asociaciones simbióticas con la inmensa mayoría de las 250.000 especies de plantas que existen en el Planeta. Estos hongos juegan un papel fundamental en los ecosistemas terrestres ya que actúan como propulsores de los ciclos de los nutrientes y el C. Se acepta que hasta un 80% del N y el P de la planta lo proporcionan los hongos micorrícicos (van der Heijden *et al.*, 2015). Entre estos hongos los hay macroscópicos (hongos superiores), setas y trufas, que forman micorrizas con plantas de interés forestal fundamentalmente (ectomicorrizas) y otros microscópicos, como los llamados hongos MA, pertenecientes todos ellos al subphylum Glomeromycotina (Spatafora *et al.*, 2016). Los hongos MA establecen este tipo de micorrizas (micorrizas arbusculares), que es el más ampliamente distribuido en la naturaleza: aproximadamente el 80% de las especies de plantas terrestres, entre ellas la gran mayoría de las de interés agronómico o industrial. Los hongos MA cooperan a la nutrición de la planta una vez establecida la simbiosis, absorbiendo y traslocando nutrientes minerales desde zonas del suelo más allá de la zona de agotamiento en nutrientes característica de la rizósfera.

Impacto de las micorrizas arbusculares (MA) en la nutrición y salud de las plantas

Formación y funcionamiento de las MA

Los hongos se mantienen en el suelo en forma de esporas, redes de micelio, o en fragmentos de raíces micorrizadas, siendo estas las tres formas de propágulos capaces de iniciar la formación de una nueva micorriza, ya sea de forma natural o dirigida mediante inoculación. El hongo, en cualquiera de dichas formas de propágulos se activa y desarrolla hifas que, cuando contactan con la raíz, inician un proceso de colonización. El hongo penetra en las raíces y se desarrolla fundamentalmente en la corteza de las mismas, tanto inter- como intracelularmente.

La planta acepta la colonización micorrícica, proceso que no le causa daño alguno. La principal característica morfológica de las MA son los *arbusculos*, estructuras típicas de la colonización que el hongo desarrolla en el interior de las células de la corteza de la raíz por ramificación repetida de sus hifas. Estas estructuras le dan el nombre de “arbusculares” a este tipo de micorrizas (MA). En paralelo a la colonización intrarradical, el hongo desarrolla una red de hifas externas que se extienden y ramifican en el suelo y que amplían la capacidad del sistema radical para la búsqueda de nutrientes y agua. En este capítulo nos vamos a centrar solo en las MA, por ser las que forman las plantas de interés agronómico, pero por motivos de simplificar la redacción y evitar el acrónimo MA, de aquí en adelante nos referiremos a ellas como ‘micorrizas’.

Como se detalla a continuación, las micorrizas mejoran la capacidad de la planta para propulsar el ciclado y absorción de nutrientes del suelo, así como incrementan la tolerancia a factores ambientales, tanto bióticos (ataque de patógenos) como abióticos (salinidad, sequía, contaminación con metales pesados o compuestos orgánicos), que causan estrés a la planta (Jeffries *et al.*, 2003; Borie *et al.*, 2010; Jeffries & Barea, 2012; Meier *et al.*, 2012; Seguel *et al.*, 2013). En resumen, las micorrizas desempeñan un papel importante ayudando a las plantas a desarrollarse bajo condiciones adversas.

Efectos de las micorrizas en la nutrición de las plantas

El efecto de las micorrizas que primero se describió, y que hasta los años 80 fue el principal objeto de estudio de esta simbiosis microbio-planta, es su influencia en la absorción de nutrientes. La clave de esta actividad, como se esbozó anteriormente, radica en que, una vez iniciada la colonización de la raíz, las hifas del hongo crecen también en el suelo, constituyendo lo que se denomina el micelio externo. Concretamente, se sabe que cada cm de raíz puede sustentar más de 1 m de hifas externas, que se extienden hasta más de 10 cm de la superficie de la raíz. Esto permite a las plantas micorrizadas explorar un volumen de suelo considerablemente superior al de las plantas no micorrizadas y captar nutrientes en zonas alejadas de la raíz. Este hecho tiene especial relevancia para aquellos nutrientes que se desplazan lentamente por difusión hacia la superficie de la raíz, como son el fósforo y el amonio.

El largo periodo de vida en común de los hongos micorrícicos y las plantas (más de 450 millones de años) ha condicionado una coevolución de ambos, que se manifiesta por el elevado grado de mutualismo y dependencia que los simbiosiontes muestran entre sí. Como consecuencia de tal coevolución, la mayoría de las plantas son micotróficas por naturaleza, es decir, requieren adquirir los nutrientes del suelo por medio de los hongos micorrícicos. El grado de micotrofia o dependencia a las micorrizas es una característica inherente de cada especie vegetal, siendo algunas de ellas altamente dependientes, lo que implica que precisan estar micorrizadas para captar nutrientes, particularmente P, de forma óptima. Así mismo, mediante el incremento de la superficie de absorción y del volumen de suelo explorado, las micorrizas facilitan la absorción de agua por la planta, como se indica más adelante.

Las técnicas de dilución isotópica basadas en el uso de ^{32}P han permitido corroborar y cuantificar la contribución de las micorrizas a la nutrición fosfatada de las plantas. Los hongos MA adquieren el P del mismo compartimento de iones solubles disponible a las raíces, por lo que, en este sentido, el micelio micorrícico se considera una extensión del sistema radical de la planta (Smith & Smith, 2012). Algunos estudios muestran que la actividad fosfatasa es superior en el suelo asociado a plantas micorrizadas que a las no micorrizadas, lo que sugiere la posibilidad de que el hongo MA pueda acceder a fuentes alternativas de P en el suelo, vía dicha actividad enzimática (Tarafdar & Marchner, 1995). Sin embargo, no hay una evidencia clara de que dicha actividad mediada por el hongo tenga una influencia agronómica significativa (Barea & Richardson, 2015).

Diversos estudios han mostrado también que los hongos MA contribuyen a la nutrición nitrogenada de las plantas (Cornejo *et al.*, 2007 y 2008; Veresoglou *et al.*, 2012; Azcón-Aguilar & Barea, 2015). El isótopo ^{15}N se ha utilizado para demostrar y cuantificar tal actividad. Utilizando dicha técnica, se ha evidenciado que las micorrizas incrementan la captación de amonio en todas las condiciones, y la de nitrato en condiciones de sequía (ver Azcón-Aguilar & Barea, 2015). Además de la del P y N, los hongos MA mejoran la absorción de otros nutrientes, como K, Ca, Zn, Cu o Fe (Liu *et al.*, 2000).

Impacto de las micorrizas en la tolerancia de las plantas frente a estreses abióticos.

Las micorrizas confieren a las plantas una mayor capacidad de tolerancia a situaciones de estrés, como son salinidad, sequía, contaminación por metales, entre otras. Resulta obvio que una planta mejor nutrida está

mejor preparada *per se* para defenderse ante cualquier situación de estrés. En cualquier caso, hay que tener en cuenta que, como consecuencia del establecimiento de la simbiosis, la planta acomoda su funcionamiento a su vida en común con el micro simbiote. Esto implica cambios destacados en su fisiología y metabolismo, fundamentalmente en lo que respecta al metabolismo secundario (Schliemann *et al.*, 2008). Esta reprogramación del comportamiento de la planta afecta a sus interacciones con el medio ambiente, alterando su respuesta frente a situaciones de estrés y, en general, haciéndola más tolerante y resiliente frente a estreses de distinto tipo (Plouznikoff *et al.*, 2016).

Múltiples trabajos han puesto de manifiesto que las micorrizas protegen a las plantas frente a la sequía. Esto es debido a una combinación de distintos mecanismos que pueden operar simultáneamente. Estos mecanismos van desde la absorción de agua por las hifas del hongo que, a modo de ‘tuberías’, la canalizan hasta la planta desde microhábitats nos accesibles a la propia raíz, hasta cambios fisiológicos como son una mejora del ajuste osmótico y una mejor protección frente al daño oxidativo provocado por la sequía (Ruiz-Lozano, 2003).

La respuesta de las plantas al estrés provocado por sequía y salinidad comparte muchos aspectos en común, ya que ambos son estreses osmóticos que conducen a una ‘sequía fisiológica’. En cualquier caso, a la sequía fisiológica en el caso de la salinidad, se une el efecto tóxico y desequilibrio iónico provocado por el exceso de iones Na^+ y Cl^- . También las plantas micorrizadas son más tolerantes a la salinidad y, además de los mecanismos mencionados anteriormente, habría que destacar un mejor balance iónico ya que la micorriza actúa de filtro, reduciendo la translocación del Na^+ a los tejidos de la planta y manteniendo una relación K/Na más favorable (Santander *et al.*, 2017).

Finalmente comentar que también las plantas micorrizadas suelen ser más tolerantes a la presencia de contaminantes en el suelo, especialmente de metales pesados. Aunque se sabe que en situaciones de deficiencia la micorriza favorece la absorción de Cu y Zn , y en menor medida de Fe , en situaciones de toxicidad la simbiosis protege a la planta actuando a modo de filtro que reduce el paso del metal a la misma. Esto es debido a que en situaciones de exceso el hongo favorece la retención del metal en el suelo y su acumulación en paredes y estructuras del hongo, reduciendo la concentración efectiva del metal para la planta. Esta capacidad para actuar cediendo o reteniendo metales a la planta según su concentración en el suelo, está siendo explotada en procesos de biofortificación, que permiten incrementar el valor nutritivo de los alimentos (Pellegrino & Bedini, 2014) o fitoestabilización de suelos contaminados (Ferrol *et al.*, 2016). Todos estos aspectos se comentan más detalladamente en el apartado de *Los hongos MA como bioprotectores*.

Impacto de las micorrizas en la protección de las plantas frente a enfermedades y plagas de los cultivos

Es bien conocido que las plantas sufren el ataque de hongos, bacterias, virus, nematodos, insectos, plantas parásitas, entre otras, causantes de enfermedades o plagas. Hace varias décadas que se evidenció que las plantas micorrizadas resisten mejor el ataque de los patógenos del suelo. Pronto se demostró que los hongos micorrícicos no producen compuestos antimicrobianos capaces de antagonizar de forma directa a los patógenos, por lo que se sugirió que las micorrizas podrían actuar por mecanismos indirectos. Posteriormente, se evidenció que estimulan los mecanismos defensivos de la planta y la expresión de tales efectos no solo de forma localizada, sino también de modo sistémico, tanto en raíces como en parte aérea, incluyendo la liberación de compuestos volátiles que actuarían como semioquímicos (Rapparini *et al.*, 2008; Pedome-Bondim *et al.*, 2015). Este modo de acción apuntaba a la existencia de un sistema inmune en plantas, fenómeno que se pensaba que existía solo en animales. Este sistema inmune funciona de forma muy distinta que, en animales, aunque el resultado es parecido: la planta guarda memoria de respuestas defensivas previas, aun cuando estas sean débiles e inducidas por organismos no patógenos, reaccionado de forma más rápida y contundente ante la presencia posterior de un agente agresor. En efecto, las plantas son capaces de adaptarse a condiciones hostiles en su entorno mediante mecanismos de percepción y respuesta de su sistema inmune. Como consecuencia de una estimulación previa, desencadenada por la micorrización, la respuesta del sistema basal de defensa ante el ataque de algún agente agresor es más rápida y contundente (Pozo *et al.*, 2013). En el caso concreto del ataque de patógenos o insectos, tal potenciación de las defensas naturales de las plantas por micorrizas puede tener como consecuencia una mayor tolerancia/resistencia de la planta frente a las enfermedades y plagas que dichos agresores causan. Se puede hablar, por tanto, de una Resistencia Sistémica Inducida por micorrizas, importante

para hacer frente de forma más efectiva al ataque posterior de patógenos o insectos que provocan plagas (Pozo & Azcón-Aguilar, 2007). En la Figura 8.1 se esquematizan dichos efectos sobre el estado sanitario de las plantas inducido por la inoculación de micorrizas.

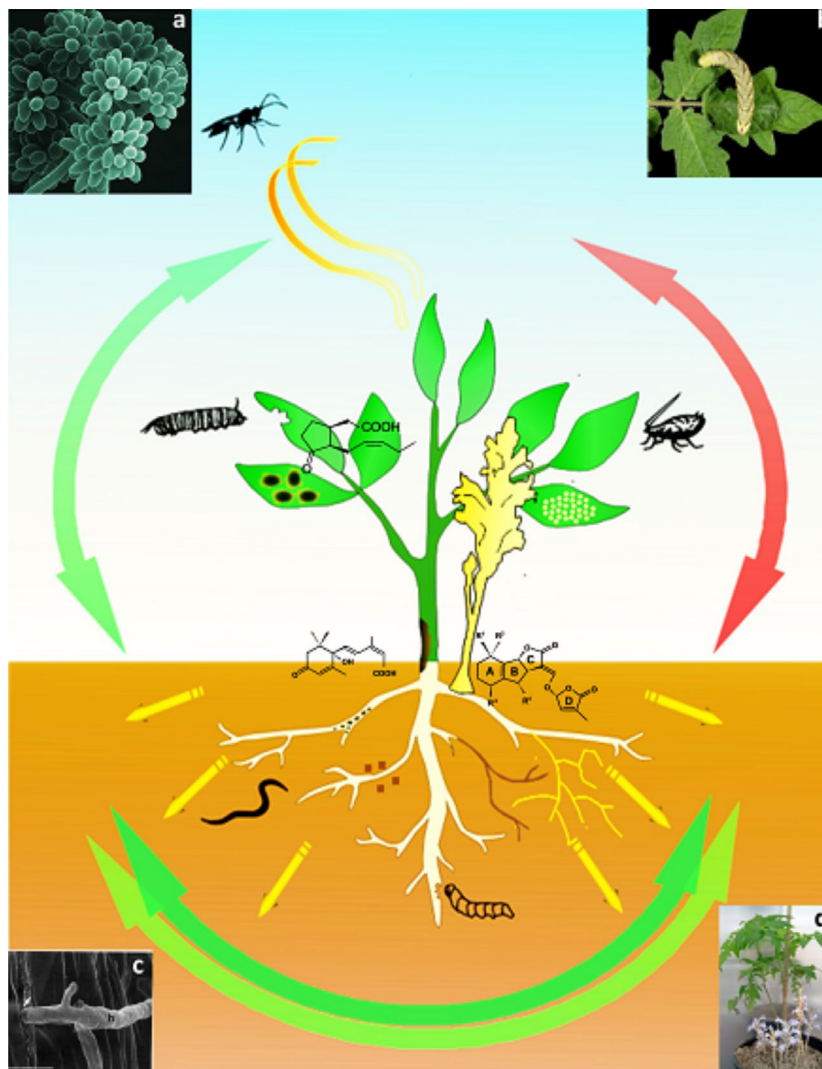


Figura 8.1.- Espectro de eficiencia de la resistencia inducida por micorrizas (MIR, de su acrónimo en inglés, *Mycorrhiza-induced Resistance*). Las micorrizas arbusculares generalmente reducen la incidencia y/o el daño provocado por patógenos del suelo, nematodos e insectos masticadores. La protección resulta de una combinación de mecanismos locales (representados por la flecha verde intenso) y sistémicos (flecha verde claro). También en plantas micorrizadas se reduce la incidencia de plantas parásitas de las raíces, ya que las micorrizas reducen la producción de estrigolactonas, que son las señales que desencadenan la germinación de sus semillas. En la parte aérea de la planta la MIR es efectiva frente a patógenos necrótrofos e insectos masticadores generalistas (flecha verde claro, parte izquierda). También las defensas indirectas mejoran en plantas micorrizadas: los compuestos volátiles que liberan atraen en mayor medida a parasitoides. Los virus y biotrofos fúngicos, así como los insectos succionadores, se desarrollan mejor en plantas micorrizadas (flecha roja, parte derecha). Las flechas verdes y rojas indican, por tanto, mayor tolerancia o susceptibilidad, respectivamente, de las plantas micorrizadas. En las fotos de las esquinas se muestran patógenos o agentes agresores para los cuales las plantas micorrizadas han mostrado un mayor grado de tolerancia: (a) el hongo necrotrófico *Botrytis cinerea*, (b) el herbívoro *Manduca sexta*, (c) el oomiceto *Phytophthora parasitica* y (d) la planta parásita *Phelipanche ramosa* (modificado de Pozo & Azcón-Aguilar, 2007).

Por todas las razones expuestas, el uso racional de hongos micorrícicos como inoculantes en agricultura puede representar una reducción sustancial de agroquímicos, como fertilizantes y productos fitosanitarios, por lo que se les reconoce un gran potencial en el contexto de la agricultura sostenible (Barea *et al.*, 2013b; Azcón-Aguilar & Barea, 2015; Barea, 2015). En resumen, desempeñan diversas e importantes actividades que benefician la aptitud de los cultivos (biorreguladores) y la calidad y cantidad de microagregados del suelo (Borie *et al.*, 2008), el aporte de nutrientes (biofertilizantes) y la salud de las plantas y su capacidad de tolerancia a los estreses abióticos (bioprotectores) (van der Heijden *et al.*, 2015; Azcón-Aguilar & Barea, 2015). Por estas funciones a los hongos y simbiosis MA se les cataloga con el atributo de bioestimulantes (Rouphael *et al.*, 2015), como posteriormente se discute.

Interacciones entre hongos MA y otros microorganismos en la micorrizosfera

El establecimiento de la simbiosis micorrícica cambia la composición química de los exudados radicales y altera las propiedades químicas y biológicas en la rizosfera. Además, el micelio extrarradical introduce también modificaciones físicas y químicas en el suelo más allá de la rizósfera. Consecuentemente, se crea un nuevo escenario para el microbioma asociado a las raíces, conocido como la micorrizosfera, donde tienen lugar múltiples interacciones que involucran a las hifas de los hongos micorrícicos y que afectan a la estructura y diversidad de las comunidades microbianas (Barea *et al.*, 2013; Borie *et al.*, 2019). Mediante co-inoculación de hongos MA, rizobios, bacterias solubilizadoras de P u otros microorganismos beneficiosos, apropiadamente seleccionados, se puede diseñar una micorrizosfera favorable para estimular el desarrollo de las plantas. De hecho, el establecimiento de una micorrizosfera apropiada se considera una herramienta biotecnológica cuyo adecuado manejo podría incrementar el rendimiento y la productividad de los cultivos, la producción de alimentos sanos y la calidad del suelo (Courty *et al.*, 2015; Azcón-Aguilar & Barea, 2015; Barea *et al.*, 2017).

Interacciones en relación con la adquisición de P por la planta

Diversos estudios han evidenciado que las interacciones en la micorrizosfera que incluyen microorganismos movilizadores de P son importantes en el ciclado de P y su absorción por la planta (Zaidi & Khan, 2007; Azcón-Aguilar & Barea, 2015; Barea & Richardson, 2015). Las bases de tales efectos radican en tres hechos fundamentales: (a) el micelio externo de los hongos MA actúa como un puente entre las raíces y los microhábitats del suelo dando acceso al P_i de la solución edáfica más allá de la zona de deficiencia en P que rodea la raíz; (b) actividades promovidas por microorganismos pueden liberar iones P_i a partir de fuentes de P difícilmente disponibles, pero esos iones están sujetos a posteriores reacciones, por ejemplo, ser re-fijados por los componentes del suelo o inmovilizados en la biomasa microbiana; y (c) si el P_i que queda disponible por la actividad de los microorganismos movilizadores de P en microhábitats determinados es capturado eficientemente por el micelio micorrícico, la interacción microbiana puede actuar sinérgicamente para mejorar el aporte de P a la planta hospedante (Figura 8.2). Estas interacciones se han contrastado mediante el uso de aproximaciones isotópicas basadas en el uso de ^{32}P .

La micorrizosfera de las leguminosas: un modelo de interacciones multitróficas

Asai (1944) fue el primer investigador que sugirió que la nodulación de las leguminosas por bacterias de tipo rizobio dependía de la colonización micorrícica. A partir de esos estudios pioneros, el elevado nivel de micotrofia de las plantas leguminosas y los efectos de los hongos MA mejorando la nodulación y la fijación de N_2 , se han descrito en múltiples y diferentes situaciones (Barea *et al.*, 2017). Realmente, rizobios, hongos MA y leguminosas interactúan tanto a nivel de colonización como de funcionalidad simbiótica: la simbiosis tripartita. En diversos estudios se han analizado las bases fisiológicas y bioquímicas de tales interacciones triples en leguminosas, estudios que han sido revisados recientemente (Barea *et al.*, 2017). La información analizada en tal artículo de revisión señala que las principales razones de los efectos beneficiosos de los hongos MA sobre la formación y funcionamiento de los nódulos es el aporte de P para satisfacer la elevada demanda en este nutriente del proceso de fijación de N_2 (Figura 8.2), lo que conduce a un incremento en los ritmos de fijación. Obviamente, la planta suministra compuestos de C procedentes de la fotosíntesis para satisfacer las necesidades de ambos simbiontes microbianos y garantizar sus actividades. Claramente, las interacciones en la micorrizosfera de las plantas leguminosas tienen un significado muy relevante en los ciclos del N, P y C en el continuo biosfera-geosfera-atmósfera. En esencia, las interacciones en esta simbiosis tripartita benefician la agricultura sustentable en la que intervienen leguminosas, y mejoran la productividad de los ecosistemas naturales en los que las leguminosas son componentes clave de las comunidades vegetales (Courty *et al.*, 2015; Barea *et al.*, 2017).

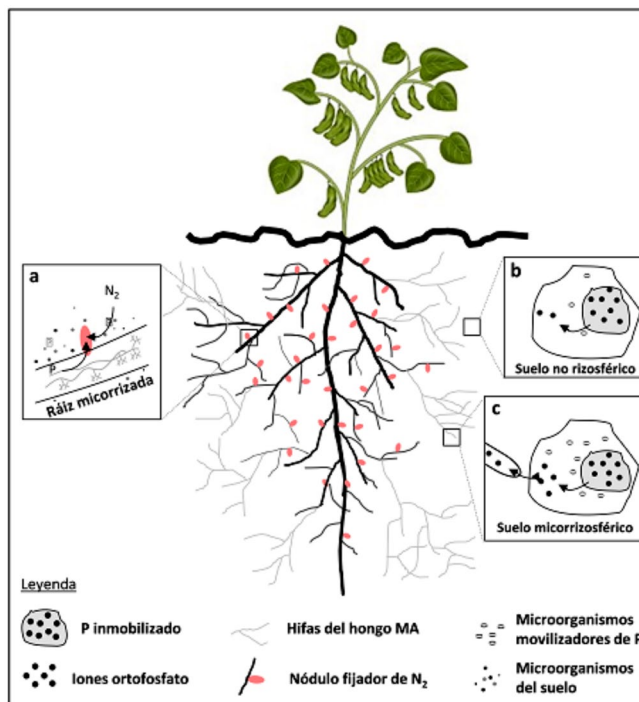


Figura 8.2.- Interacciones en la micorrizosfera de plantas leguminosas: (a) el hongo micorrízico proporciona P para la fijación de N₂ por *Rhizobium*, (b) acceso limitado al Pi liberado por los microorganismos movilizadores de P en el suelo no rizosférico y (c) las hifas de los hongos micorrízicos absorben y transportan a la planta el P solubilizado en la micorrizosfera (modificado de Azcón-Aguilar & Barea, 2015).

Interacciones en la micorrizosfera en relación con la protección de los cultivos

Además de los hongos micorrízicos, diversos organismos beneficiosos como ciertas bacterias (*Pseudomonas*, *Bacillus* entre otras) y hongos (*Trichoderma*, *Gliocladium*, entre otros) pueden estar implicados en el control biológico de patógenos y producir ISR en la planta (Pozo *et al.*, 2015). Por esta razón se han realizado diversos ensayos de co-inoculación con vistas a estudiar las interacciones entre estos distintos tipos de microorganismos y evidenciar las posibilidades de su uso conjunto en el control de enfermedades o plagas de los cultivos. Los resultados obtenidos en viveros comerciales avalan la eficacia de la doble inoculación antes aludida (Martínez-Medina *et al.*, 2009).

Hongos MA, rizobios y PGPR como bioestimulantes de las plantas

“A plant biostimulant is any substance or microorganism applied to plants with the aim to enhance nutrition efficiency, abiotic stress tolerance and/or crop quality traits, regardless of its nutrients content. By extension, plant biostimulants also designate commercial products containing mixtures of such substances and/or microorganisms”. Así define du Jardín (2015) a los bioestimulantes, reconociendo como tales a ‘determinados microorganismos’ y ‘determinadas sustancias’. Es de destacar la creciente importancia de estos productos en agricultura, sometidos actualmente a procesos de regulación por los organismos competentes en distintos países, así como en EEUU y la UE.

En este apartado se van a analizar los bioestimulantes microbianos que, de acuerdo con du Jardín (2015), incluirían a los hongos MA, los rizobios y las PGPR (o PGPM en un sentido más amplio). En este sentido cabe señalar que estos microorganismos tienen una función doble cuando son aplicados a las plantas: agentes de biocontrol y bioestimulantes. En efecto, estos microorganismos no solo actúan como biofertilizantes, sino que también desarrollan actividades como bioprotectores, fortaleciendo a la planta en situaciones de estrés biótico o abiótico, y como biorreguladores, influenciando el desarrollo de la planta mediante sus interferencias en el balance fitohormonal. Adicionalmente, pueden actuar como mejoradores del suelo ayudando a la estructuración

del mismo o sus funciones (Calvo-Polanco *et al.*, 2014; du Jardin, 2015; Rouphael *et al.* 2015).

Los hongos MA como bioprotectores

En primer lugar, se analizará aquí el impacto de las micorrizas como bioprotectores de las plantas frente a situaciones de estrés abiótico. Como es bien conocido, la sequía y la salinidad son factores que producen estrés a los cultivos agrícolas, pues causan una disminución en el potencial de agua del suelo, ya sea porque incrementan la concentración de solutos (salinidad) o porque disminuyen la disponibilidad de agua (sequía). Como consecuencia ocurre una alteración de la fisiología de la planta (estrés) marcada por la deshidratación de los tejidos, debido a la descompensación entre el agua que capta la raíz y la que es transpirada por las hojas. Para enfrentarse a estos factores que le causan estrés, la planta reacciona para tratar de evitar las pérdidas de agua y así progresar en su desarrollo y productividad. Una de las estrategias que sigue la planta para adaptarse y resistir estas situaciones adversas está basada en su capacidad para formar micorrizas. En efecto, como se ha mencionado anteriormente, a las micorrizas se les reconoce un papel fundamental para proteger a la planta frente a salinidad y sequía, habilidad que ha sido ampliamente estudiada por ser un mecanismo que puede mejorar la producción agrícola en las zonas afectadas por dichos factores de estrés (Ruiz-Lozano *et al.*, 2016). Concretamente, se ha evidenciado que las micorrizas cooperan con la regulación de la capacidad de captar agua y del ritmo de transpiración, así como en la activación de la maquinaria antioxidante, para enfrentarse a la sobreproducción de especies reactivas de oxígeno causadas por la incidencia de estos factores de estrés. Se ha calculado que alrededor del 20% del agua que toma una raíz se debe a la actividad del micelio externo de la micorriza captando agua del suelo. En este contexto se ha evidenciado también que la simbiosis micorrizica mejora el ajuste osmótico de la planta, acumulando compuestos conocidos como osmorreguladores. Uno de ellos es la prolina, que permite que la planta afronte situaciones de bajos potenciales de agua en suelos secos y que mantenga un gradiente de potencial de agua que favorezca su flujo hacia la raíz. También se conoce que las micorrizas regulan el funcionamiento de las acuaporinas, proteínas de membrana que facilitan y regulan el transporte de moléculas de agua a favor del gradiente de potencial hídrico (Figura 8.3). En resumen, las micorrizas inducen una mayor capacidad de resistencia a sequía y salinidad (Santander *et al.*, 2017), que permite a las plantas mantener tasas de transpiración y fotosíntesis superiores bajo tales condiciones adversas.



Figura 8.3. Mecanismos implicados en el efecto de las micorrizas arbusculares incrementando la tolerancia de las plantas a sequía y salinidad (modificado de Calvo-Polanco *et al.*, 2013).

Es bien conocido que la contaminación por metales pesados (MPs) es uno de los principales problemas que afectan a la salud ambiental, por lo que constituye una amenaza para la estabilidad de los agro-ecosistemas. Concretamente, metales como el Cu, Fe y Zn, que son micronutrientes esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas, cuando son escasos o están en exceso, provocan alteraciones en diferentes procesos biológicos fundamentales para su desarrollo. De ahí que las plantas hayan desarrollado una serie de estrategias destinadas a asegurar el abastecimiento de estos metales y, simultáneamente, evitar su toxicidad. Es decir, que están sometidos a una serie de redes homeostáticas que permiten mantener concentraciones adecuadas para el correcto funcionamiento celular. Desde hace tiempo se sabe que las plantas micorrizadas se desarrollan mejor que las no micorrizadas en suelos contaminados por MPs. Se ha demostrado que la presencia de MPs afecta a las poblaciones de hongos micorrícicos en los suelos. Sin embargo, los propágulos nunca desaparecen por completo y cuando se produce una colonización, aunque sea poco extensa, casi siempre hay beneficios para la planta. Se han aislado hongos MA en suelos altamente contaminados por MPs, y esos hongos autóctonos han mostrado un alto nivel de adaptación y tolerancia a los MPs (Meier *et al.*, 2012). Dichos hongos están más capacitados para ayudar a la planta a soportar la toxicidad a los MPs que aquellos que no habían sido expuestos a una larga presión selectiva. Para persistir en ambientes contaminados por MPs los hongos MA han tenido que desarrollar estrategias para adaptarse a en esos ambientes y restringir la entrada del metal en la planta y mantener la homeostasis intracelular de dichos metales (Barea *et al.*, 2013b). Cada vez se conocen mejor los mecanismos implicados en la mayor tolerancia de las plantas micorrizadas al exceso de metales, entre los que se encuentra la capacidad de los hongos micorrícicos de inmovilizar el metal en el suelo o en las estructuras del hongo (Cornejo *et al.*, 2013; Seguel *et al.*, 2013). Concretamente en su micelio externo y en las esporas (Figura 8.4).

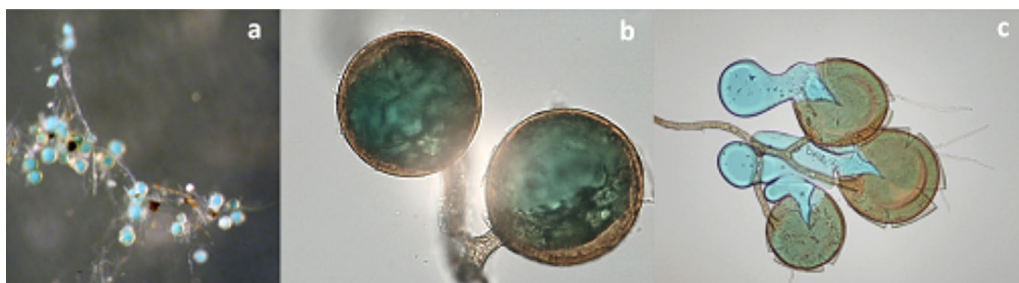


Figura 8.4. Esporas de hongos micorrícicos aisladas de suelos contaminados con Cu ($450 \text{ mg Cu kg}^{-1}$) (a) o crecidas en presencia de 500 mM de Cu (b y c). Obsérvese el contenido azul-verdoso de las esporas, tanto intactas (a y b) o rotas, para apreciarlo mejor (c). Modificado de Cornejo *et al.*, 2013.

Los hongos MA como biorreguladores

La formación de la micorriza altera los equilibrios hormonales de la planta, lo que, en principio, se manifiesta en procesos como la mejora de la germinación de las semillas, la modificación en el modelo de enraizamiento o un cambio en la relación parte aérea:raíz. Este último cambio suele favorecer a la parte autotrófica (productiva) de la planta, que es la parte aérea (Smith & Read, 2008). Todo esto es debido a que el establecimiento de la simbiosis implica un reajuste hormonal que facilite el acomodo de ambos simbiontes, lo que afecta a las distintas rutas de señalización, y condiciona la respuesta de la planta a las señales ambientales que originan las situaciones/factores de estrés (Pozo *et al.*, 2015) (Figura 8.5).

Rizobios y PGPR como bioprotectores y biorreguladores

Estos microorganismos modulan diversos procesos de la planta en respuesta a salinidad y sequía, actuando por diversos mecanismos (Dimkpa *et al.*, 2009; Aroca & Ruíz-Lozano, 2009; Armada *et al.*, 2015). En resumen, cooperan en mantener la transpiración, conductividad hidráulica de las raíces, eficacia en el uso del agua, ajuste osmótico, producción de antioxidantes para la protección del daño oxidativo o regulación de la síntesis/actividad de las aquaporinas. Todo ello contribuye a la captación de agua, el mantenimiento de las propiedades hidráulicas de la raíz y, en último extremo, al funcionamiento de la planta en estas situaciones de estrés. Al igual que se ha mencionado anteriormente, estos microorganismos alteran los equilibrios hormonales de la planta, lo cual implica cambios en el nivel de germinación de las semillas y en el modelo de enraizamiento de la planta (Olivares *et al.*, 2013).

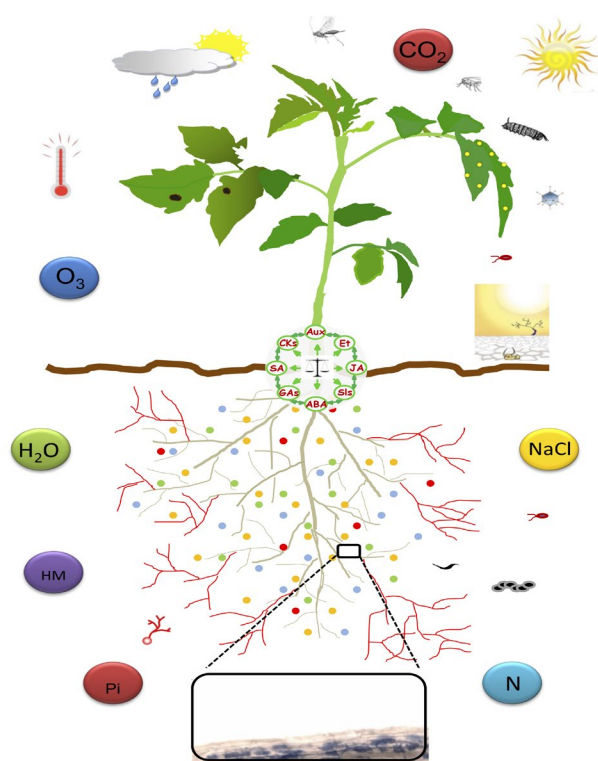


Figura 8.5. Las fitohormonas como mediadoras en la dependencia del contexto del establecimiento y la función de la micorriza. Las plantas ajustan su fenotipo de acuerdo con la disponibilidad de nutrientes, luz y otros factores bióticos y abióticos a través de una regulación de la señalización espacio-temporal precisa. Las redes de fitohormonas integran las respuestas de las plantas a las diferentes señales y a la formación y función de la micorriza. La homeostasis hormonal tiene un impacto en la simbiosis micorrízica y, a su vez, se ve afectada por ella. Por lo tanto, los nodos de señalización de fitohormonas pueden permitir a la planta regular la simbiosis de acuerdo con sus necesidades fisiológicas concretas, bajo condiciones ambientales particulares, y mediar en el ajuste fino de la respuesta de la planta inducido por las micorrizas. Se requieren enfoques holísticos para comprender la contribución de la señalización de las fitohormonas a la dependencia del contexto de las interacciones micorrízicas y los efectos de la simbiosis en la adaptación de la planta a los continuos cambios en el ambiente. ABA, ácido abscísico; Aux, auxinas; CKs, citoquininas; ET, etileno; GAs, giberelinas; JA, jasmones; SA, ácido salicílico; Sls, strigolactonas (modificado de Pozo *et al.*, 2015).

Otros bioestimulantes de las plantas

Se han propuesto diversas categorías de bioestimulantes (du Jardín, 2015). En resumen, de acuerdo con dicho autor, hay que considerar:

1. Ácidos húmicos y fúlvicos (substancias húmicas -SH- en general). Las SH se reconocen como contribuyentes esenciales de la fertilidad del suelo, ya que mejoran sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Particularmente, mejoran la captación por la raíz de nutrientes, tanto macro- como micro-, especialmente el fosfato. También ejercen su actividad bioestimulante de las plantas protegiéndolas frente a un amplio rango de estreses ambientales, mediante la producción de compuestos fenólicos relacionados con el metabolismo secundario de la planta.
2. Hidrolizados de proteínas, aminoácidos, entre otros ejercen diversas actividades bioestimulantes tales como la modulación de la captación y asimilación de N mediante la regulación de enzimas y genes estructurales, actuando sobre las rutas de señalización para adquisición de N por las raíces, o regulando enzimas del ciclo de los ácidos tricarboxílicos. También tienen efectos quelantes de MPs, y contribuyen a la movilidad y adquisición de micronutrientes. Tienen actividad antioxidante, lo que contribuye a mitigar los estreses ambientales.

3. Extractos de algas marinas, que tienen efectos biofertilizantes y pueden favorecer la germinación de semillas y el enraizamiento a través de cambios hormonales. Tienen efectos anti estrés, basados en actividades antioxidantes y en la regulación de genes relacionados con la respuesta al estrés.
4. Quitosanos y otros biopolímeros, que ejercen diversas funciones en el metabolismo celular. Promocionan la tolerancia de la planta a estreses bióticos y abióticos. Actúan tanto como bioestimulantes y como agentes de biocontrol, ya que ambas actividades comparten rutas de señalización y regulación mediante moléculas señal (hormonas).
5. Compuestos inorgánicos, particularmente Al, Co, Na, Se y Si, fortalecen las membranas celulares de las plantas. Se ha descrito que estos elementos beneficiosos promueven el crecimiento de la planta y su tolerancia a estreses abióticos. Promueven un fortalecimiento de la pared celular, favorecen la osmorregulación, reducen la transpiración, poseen actividad antioxidante, ejercen protección frente a MPs e intervienen en las rutas de señalización de las fitohormonas.

Aplicación de la biotecnología microbiana en el desarrollo sustentable de pastizales

Las actividades que llevan a cabo los microorganismos beneficiosos del suelo antes descritos son la base de lo que constituye la nutrición biológica de las plantas. Tales actividades e interacciones microbianas deben ocurrir de forma natural en los suelos base de las praderas y pasturas y son fundamentales en la productividad de las mismas. Sin embargo, los tratamientos excesivos de fertilizantes y biocidas, aspectos de manejo que han ido incrementando en el tiempo, puede hacer descender, e incluso desaparecer, la eficacia de tales actividades. La aplicación de productos inoculantes a base de microorganismos beneficiosos como biofertilizantes, biofortificantes o bioprotectores, en suma, como bioestimulantes, para favorecer el desarrollo optimizado y sustentable de los cultivos fue siempre un objetivo prioritario.

En estudios realizados en el Reino Unido se comparó la productividad, en términos de producción de materia seca y leche, de un pastizal de ballica perenne cuando se utilizaba trébol blanco como fuente de N. Este trébol, gracias a su capacidad para fijar el N₂ atmosférico en asociación con un rizobio adecuado, permitía la incorporación de N al suelo del pastizal. Se comprobó que la introducción del trébol blanco producía resultados similares a la adición de 200 kg de N inorgánico por ha y año (Andrews *et al.*, 2007). Se demostró igualmente que, si bien las pérdidas de N y P del sistema eran similares, las emisiones de gases de efecto invernadero como consecuencia de la producción de los fertilizantes nitrogenados, se evitarían con la introducción de la leguminosa, con el consiguiente beneficio para el medio ambiente.

También se ha comprobado que la infección de plantas de ballica perenne con el endófito fúngico *Epichloë festucae* var. *lolii* es importante para la producción y persistencia de pasturas lecheras en Australia, Nueva Zelanda y Chile, y esto es debido a que el endófito produce una gama de alcaloides que confieren beneficios a la planta hospedadora mediante un aumento de la resistencia y/o repelencia a insectos (Andrews *et al.*, 2011). Hay que destacar, sin embargo, que estos efectos positivos de la interacción del ballica perenne con el endófito fúngico no se han detectado en Europa, o en mucha menor medida (Andrews *et al.*, 2011), sin que se conozca bien la razón que justifica esta diferencia.

La tecnología para la producción de inóculos de rizobios y PGPR es totalmente factible (Bashan *et al.*, 2014). Se propone el uso de formulaciones a base de soportes poliméricos o encapsulado de semillas. Varias compañías distribuyen comercialmente estos productos a nivel mundial (Ravensberg, 2015; Kamilova *et al.*, 2015; Borriess, 2015).

La aplicación práctica de las micorrizas en agricultura ha estado limitada por la dificultad para la producción masiva de inoculantes del hongo micorrízico y su aplicación en condiciones agronómicas. Sin embargo, recientemente se está progresando eficientemente en el desarrollo de las técnicas apropiadas. Las tecnologías para la producción de formulados micorrízicos se desarrollan en invernadero, usando sustratos ligeros en los que se hacen crecer plantas que activen la multiplicación del hongo. La producción de inoculantes *in vitro* está últimamente recibiendo gran atención por parte de las empresas correspondientes y se están ensayando su eficacia en experimentos de agricultura extensiva principalmente en cultivos de alto valor añadido. Diversas empresas se dedican a la producción de inoculantes, actualmente disponibles comercialmente (Cano & Bago 2005; Vosátka *et al.*, 2008; Gianinazzi *et al.*, 2010; Ijdo *et al.*, 2011; Puri & Adholeya, 2013; Singh *et al.*, 2014; Roupshael *et al.*, 2015).

Bibliografía

- Altieri, M.A. 2004. Linking ecologists and traditional farmers in the search for sustainable agriculture. *Frontiers in Ecology and the Environment* 2: 35-42.
- Andrews, M., Scholefield, D., Abberton, M. T., McKenzie, B. A., Hodge, S. & Raven, J. A. 2007. Use of white clover as an alternative to nitrogen fertiliser for dairy pastures in nitrate vulnerable zones in the UK: productivity, environmental impact and economic considerations. *Annals of Applied Biology* 151: 11-23.
- Andrews, M., Edwards, G. R., Ridgway, H. J., Cameron, K. C., Di, H. J. & Raven, J. A. 2011. Positive plant microbial interactions in perennial ryegrass dairy pasture systems. *Annals of Applied Biology* 159: 79-92.
- Antoun, H. 2012. Beneficial microorganisms for the sustainable use of phosphates in agriculture. *Procedia Engineering* 46: 62-67.
- Armada, E., Azcón, R., Lopez-Castillo, O. M., Calvo-Polanco, M. & Ruiz-Lozano, J. M. 2015. Autochthonous arbuscular mycorrhizal fungi and *Bacillus thuringiensis* from a degraded Mediterranean area can be used to improve physiological traits and performance of a plant of agronomic interest under drought conditions. *Plant Physiology and Biochemistry* 90: 64-74.
- Aroca, R. & Ruiz-Lozano, J.M. 2009. Induction of plant tolerance to semi-arid environments by beneficial soil microorganisms. En: Lichtfouse, E. (ed.) *Climate Change, Intercropping, Pest Control and Beneficial Microorganisms, Sustainable Agriculture Reviews 2*. Springer. Dordrecht, The Netherlands. Pp: 121-135.
- Arrese-Igor, S., Alegria, A. & Colmenero, J. 2010. Comparison of calorimetric and dielectric single component glass transitions in PtBS-PI blends. *Macromolecules* 43: 6406-6413.
- Asai, T. 1944. Über die mykorrhizenbildung der leguminösen pflanzen. *Japanese Journal of Botany* 13: 463-485.
- Azcón-Aguilar, C. & Barea, J.M. 2015. Nutrient cycling in the mycorrhizosphere. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 15: 372-396.
- Barea, J.M. 2015. Future challenges and perspectives for applying microbial biotechnology in sustainable agriculture based on a better understanding of plant-microbiome interactions. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 15: 261-282.
- Barea, J.M., Azcón, R. & Azcón-Aguilar, C. 2017. Mycorrhizosphere interactions to improve a sustainable production of legumes. En: Zaidi, A., Khan, M.S., Musarrat, J. (eds.) *Microbes for Legume Improvement*. Springer, Cham, Suiza. Pp: 199-225.
- Barea, J.M., Pozo, M.J., Azcón, R. & Azcón-Aguilar, C. 2013a. Microbial interactions in the rhizosphere. En: de Bruijn, F.J. (ed.) *Molecular Microbial Ecology of the Rhizosphere*, vol 1. John Wiley & Sons. Hoboken, New Jersey, USA. Pp: 29-44.
- Barea, J.M., Pozo, M.J., López-Ráez, J.A., Aroca, R., Ruíz-Lozano, J.M., Ferrol, N., Azcón, R. & Azcón-Aguilar, C. 2013b. Arbuscular mycorrhizas and their significance in promoting soil-plant systems sustainability against environmental stresses En: Rodelas, B., González-López, J. (eds.) *Beneficial Plant-Microbial Interactions: Ecology and Applications*. CRC Press. Boca Raton, USA. Pp: 353-387.
- Barea, J.M. & Richardson, A.E. 2015. Phosphate mobilisation by soil microorganisms. En: Lugtenberg, B. (ed.) *Principles of Plant-Microbe Interactions. Microbes for Sustainable Agriculture*. Springer International Publishing. Heidelberg, Switzerland. Pp: 225-234.
- Barret, M., Tan, H., Egan, F., Morrissey, J.P., Reen, J. & O'Gara, F. 2013. Exploiting new systems-based strategies to elucidate plant-bacterial interactions in the rhizosphere. En: de Bruijn, F.J. (ed.) *Molecular Microbial Ecology of the Rhizosphere*, vol 1. Wiley Blackwell. Hoboken, New Jersey, USA. Pp: 57-68.
- Bashan, Y., de-Bashan, L.E., Prabhu, S.R. & Hernandez, J.-P. 2014. Advances in plant growth-promoting bacterial inoculant technology: formulations and practical perspectives (1998-2013). *Plant and Soil* 378: 1-33.
- Bashan, Y., Trejo, A. & de-Bashan, L.E. 2011. Development of two culture media for mass cultivation of *Azospirillum* spp. and for production of inoculants to enhance plant growth. *Biology and Fertility of Soils* 47: 963-969.
- Borie, B.; Aguilera, P.; Castillo, C.; Valentine, A.; Seguel, A.; Barea, J.M. & Cornejo, P.; 2019. Revisiting the nature of phosphorus pools in Chilean volcanic soils as a basis for arbuscular mycorrhizal management in plant p acquisition. *Journal of Soil Science and Plant* 19: 390-401.
- Borie, F., Rubio, R. & Morales, A. 2008. Arbuscular mycorrhizal fungi and soil aggregation. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 8: 9-18.
- Borie, F., Rubio, R., Morales, A., Curaqueo, G. & Cornejo, P. 2010. Arbuscular mycorrhizae in agricultural and forest ecosystems in Chile. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 10: 185-206.
- Borie, F. & Zunino, H. 1983. Organic matter-phosphorus associations as a sink in P-fixation processes in allophanic soils of Chile. *Soil Biology and Biochemistry* 15: 599-603.
- Borriess, R. 2015. Towards a new generation of commercial microbial disease control and plant growth promotion products. En: Lugtenberg, B. (ed.) *Principles of Plant-Microbe Interactions. Microbes for Sustainable Agriculture*. Springer International Publishing. Heidelberg, Switzerland. Pp: 329-337.
- Brader, G., Compant, S., Mitter, B., Trognitz, F. & Sessitsch, A. 2014. Metabolic potential of endophytic bacteria. *Current Opinion in Biotechnology* 27: 30-37.
- Browne, P., Barret, M., Morrissey, J.P. & O'Gara, F. 2013. Molecular-based strategies to exploit the inorganic phosphate-solubilization ability of *Pseudomonas* in Sustainable Agriculture. En: de Bruijn, F.J. (ed.) *Molecular Microbial Ecology of the Rhizosphere*, vol 2. Wiley Blackwell. Hoboken, New Jersey, USA. Pp: 615-628.
- Calvo-Polanco, M., Molina, S., Zamarreno, A.M., García-Mina, J.M. & Aroca, R. 2014. The symbiosis with the arbuscular mycorrhizal fungus *Rhizophagus irregularis* drives root water transport in flooded tomato plants. *Plant Cell Physiology* 55: 1017-1029.
- Calvo-Polanco, M., Sánchez-Romera, B. & Aroca, R. 2013. Arbuscular mycorrhizal fungi and the tolerance of plants to drought and salinity. En: Aroca, R. (ed.) *Symbiotic endophytes*. Springer, Heidelberg, Germany. Pp: 271-288.
- Cano, C. & Bago, A. 2005. Competition and substrate colonization strategies of three polyxenically grown arbuscular mycorrhizal fungi. *Mycologia* 97: 1201-1214.
- Cornejo, P., Borie, F., Rubio, R. & Azcón, R. 2007. Influence of nitrogen sources on the viability, functionality and persistence of *Glomus etunicatum* fungal propagules in an Andisol. *Applied Soil Ecology* 35: 423-431.

- Cornejo, P., Pérez-Tienda, J., Meier, S., Valderas, A., Borie, F., Azcón-Aguilar, C. & Ferrol, N. 2013. Copper compartmentalization in spores as a survival strategy of arbuscular mycorrhizal fungi in Cu-polluted environments. *Soil Biology and Biochemistry* 57: 925-928.
- Cornejo, P., Rubio, R., Castillo, C., Azcón, R. & Borie F. 2008. Mycorrhizal effectiveness on wheat nutrient acquisition in an acidic soil from Southern Chile as affected by nitrogen sources. *Journal of Plant Nutrition* 31: 1555-1569.
- Courty, P.E., Smith, P., Koegel, S., Redecker, D. & Wipf, D. 2015. Inorganic nitrogen uptake and transport in beneficial plant root-microbe interactions. *Critical Reviews in Plant Science* 34: 4-16.
- de Bruijn, F.J. 2015. Biological nitrogen fixation. En: Lugtenberg, B. (ed.) *Principles of Plant-Microbe Interactions. Microbes for Sustainable Agriculture*. Springer International Publishing, Heidelberg, Switzerland. pp: 215-225.
- Demagnet, F.R. 2014. Manual de especies forrajeras. Plan Lechero Watt's. CORFO, Universidad de La Frontera. Imprenta América, Valdivia, Chile. 163 p.
- Dimkpa, C., Weinand, T. & Asch, F. 2009. Plant-rhizobacteria interactions alleviate abiotic stress conditions. *Plant Cell and Environment* 32: 1682-1694.
- Dobbelaere, S., Croonenborghs, A., Thys, A., Ptacek, D., Vanderleyden, J., Dutto, P., Labandera-González, C., Caballero-Mellado, J., Aguirre, J.F., Kapulnik, Y., Brenner, S., Burdman, S., Kadouri, D., Sarig, S. & Okon, Y. 2001. Responses of agronomically important crops to inoculation with *Azospirillum*. *Australian Journal of Plant Physiology* 28: 871-879.
- Dobbelaere, S. & Okon, Y. 2007. The plant growth promoting effect and plant responses. En: Elmerich, C., Newton, W. (eds.) *Associative and endophytic nitrogen-fixing bacteria and cyanobacterial associations*. Kluwer Academic. The Netherlands. pp: 145-170.
- du Jardin, P. 2015. Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae* 196: 3-14.
- Duarte, C.M., Alonso, S., Benito, G., Dachs, J., Montes, C., Pardo, M., Ríos, A.d., Simó, R. & Valladares, F. 2006. Cambio global: Impacto de la actividad humana sobre el sistema Tierra. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). 166 p.
- Elser, J.J. 2011. A World Awash with Nitrogen. *Science* 334: 1504-1505.
- Ferrol, N., Tamayo, E. & Vargas, P. 2016. The heavy metal paradox in arbuscular mycorrhizas: from mechanisms to biotechnological applications. *Journal of Experimental Botany* 67: 6253-6265.
- Gianinazzi, S., Gollotte, A., Binet, M.N., van Tuinen, D., Redecker, D. & Wipf, D. 2010. Agroecology: The key role of arbuscular mycorrhizas in ecosystem services. *Mycorrhiza* 20: 519-530.
- Gutiérrez-Mañero, J. & Ramos-Solano, B. 2010. Bacteria and Agriculture. En: González-Fontes, A., Gárate, A., Bonilla, I. (eds.) *Agricultural Sciences: Topics in Modern Agriculture*. Studium Press. Houston, Texas, USA. pp: 275-289.
- Hardoim, P.R. & van Elsland, J.D. 2013. Properties of bacterial endophytes leading to maximized host fitness. En: de Bruijn, F.J. (ed.) *Molecular Microbial Ecology of the Rhizosphere*. Vol 1. Wiley Blackwell. Hoboken, New Jersey, USA. pp: 405-411.
- Hirsch, P.R., Mauchline, T.H. & Clark, I.M. 2013a. Culture-independent molecular approaches to microbial ecology in soil and the rhizosphere. En: de Bruijn, F.J. (ed.) *Molecular Microbial Ecology of the Rhizosphere*, vol 1. Wiley Blackwell. Hoboken, New Jersey, USA. Pp: 45-55.
- Hirsch, P.R., Miller, A.J. & Dennis, P.G. 2013b. Do root exudates exert more influence on rhizosphere bacterial community structure than other rhizodeposits? En: de Bruijn, F.J. (ed.) *Molecular Microbial Ecology of the Rhizosphere*, vol 1. Wiley Blackwell. Hoboken, New Jersey, USA. Pp: 229-242.
- Hunter, P. J., Grahams, R. T. & Gary, D. B. 2014. Root traits and microbial community interactions in relation to phosphorus availability and acquisition, with particular reference to Brassica. *Frontiers in Plant Science* 2014: 5-27.
- Ijdo, M., Cranenbrouck, S. & Declerck, S. 2011. Methods for large-scale production of AM fungi: past, present, and future. *Mycorrhiza* 21: 1-16.
- Jeffries, P. & Barea, J.M. 2012. Arbuscular Mycorrhiza – a key component of sustainable plant-soil ecosystems. En: Hock, B. (ed.) *The Mycota, a comprehensive treatise on fungi as experimental systems for basic and applied research*. Springer. Berlin, Heidelberg, Germany. Pp: 51-75.
- Jeffries, P., Gianinazzi, S., Perotto, S., Turnau, K. & Barea, J.M. 2003. The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility. *Biology and Fertility of Soils* 37: 1-16.
- Jorquera, M.A., Hernandez, M.T., Rengel, Z., Marschner, P. & de la Luz Mora, M. 2008. Isolation of culturable phosphobacteria with both phytate-mineralization and phosphate-solubilization activity from the rhizosphere of plants grown in a volcanic soil. *Biology and Fertility of Soils* 44: 1025-1034.
- Jorquera, M., Martínez, O., Maruyama, F., Marschner, P. & Mora, M. L. 2008. Current and future biotechnological applications of bacterial phytases and phytase-producing bacteria. *Microbes and Environments* 23: 182-191.
- Kamilova, F., Okon, Y., de Weert, S. & Hora, K. 2015. Commercialization of microbes: manufacturing, inoculation, best practice for objective field testing, and registration. En: Lugtenberg, B. (ed.) *Principles of Plant-Microbe Interactions. Microbes for Sustainable Agriculture*. Springer International Publishing, Heidelberg, Switzerland. Pp: 319-328.
- Liu, A., Hamel, C., Hamilton, R. I., Ma, B. L. & Smith, D. L. 2000. Acquisition of Cu, Zn, Mn and Fe by mycorrhizal maize (*Zea mays* L.) grown in soil at different P and micronutrient levels. *Mycorrhiza* 9: 331-336.
- López-Ráez, J.A., Shirasu, K. & Foo, E. 2017. Strigolactones in plant interactions with beneficial and detrimental organisms: The yin and yang. *Trends in Plant Sciences* 22: 527-537.
- Lugtenberg, B. 2015. Life of microbes in the rhizosphere. En: Lugtenberg, B. (ed.) *Principles of Plant-Microbe Interactions. Microbes for Sustainable Agriculture*. Springer International Publishing, Heidelberg, Switzerland. Pp: 7-16.
- Malfanova, N., Lugtenberg, B. J. J. & Berg, G. 2013. Bacterial endophytes: who and where, and what are they doing there? En: de Bruijn, F.J. (ed.) *Molecular Microbial Ecology of the Rhizosphere*, vol 1. Wiley Blackwell. Hoboken, New Jersey, USA. Pp: 391-403.
- Marschner, P. 2008. The role of rhizosphere microorganisms in relation to P uptake by plants. En: White, P. J., Hammond, J. (eds.) *The Ecophysiology of Plant-Phosphorus Interactions. Series: Plant Ecophysiology*, Vol. 7. Springer. Dordrecht. Pp: 165-176.
- Martínez-Medina, A., Pascual, J. A., Lloret, E. & Roldán, A. 2009. Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and *Trichoderma barzilianum*

- and their effects on *Fusarium* wilt in melon plants grown in seedling nurseries. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 89: 1843-1850.
- Martínez-Viveros, O., Jorquera, M. A., Crowley, D. E., Gajardo, G. & Mora, M. L. 2010. Mechanisms and practical considerations involved in plant growth promotion by rhizobacteria. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 10: 293-319.
- Meier, S., Borie, F., Bolan, N. & Cornejo, P. 2012. Phytoremediation of metal polluted soils by arbuscular mycorrhizal fungi. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 42:741-775.
- Mercado-Blanco, J. 2015. Life of microbes inside the plant. En: Lugtenberg, B. (ed.) *Principles of Plant-Microbe Interactions*. Springer International Publishing, Heidelberg, Switzerland. Pp: 25-32.
- Morales A., Alvear, M., Valenzuela, E. & Borie F. 2011. Screening, evaluation and selection of phosphate-solubilising fungi as potential biofertilizer. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 11: 89-103.
- Olivares, J., Bedmar, E. J. & Sanjuan, J. 2013. Biological nitrogen fixation in the context of global change. *Molecular Plant-Microbe Interactions* 26: 486-494.
- Pedone-Bondim, M. V. L., da Silva, F. S. B. & Maia, L. C. 2015. Production of secondary metabolites by mycorrhizal plants with medicinal or nutritional potential. *Acta Physiologiae Plantarum* 2: 37-27.
- Pellegrino, E. & Bedini, S. 2014. Enhancing ecosystem services in sustainable agriculture: Biofertilization and biofortification of chickpea (*Cicer arietinum* L.) by arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Biology and Biochemistry* 68: 429-439.
- Plouznikoff, K., Declercq, S. & Calonne-Salmon, M. 2016. Mitigating abiotic stresses in crop plants by arbuscular mycorrhizal fungi. En: Vos, C. M. F., Kazan, K. (eds.) *Belowground defence strategies in plants, Signaling and Communication in Plants*. Springer International Publishing, Switzerland. Pp. 341-400.
- Porrás-Alfaro, A. & Bayman, P. 2011. Hidden fungi, emergent properties: Endophytes and microbiomes. *Annual Review of Phytopathology* 49: 291-315.
- Pozo, M. J. & Azcón-Aguilar, C. 2007. Unraveling mycorrhiza-induced resistance. *Current Opinion in Plant Biology* 10: 393-398.
- Pozo, M.J., Jung, S.C., Martínez-Medina, A., López-Ráez, J.A., Azcón-Aguilar, C. & Barea, J.M. 2013. Root allies: Arbuscular mycorrhizal fungi help plants to cope with biotic stresses. En: Aroca, R. (ed.) *Symbiotic Endophytes*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, Germany. Pp: 289-307.
- Pozo, M. J., Lopez-Raez, J. A., Azcon-Aguilar, C. & Garcia-Garrido, J. M. 2015. Phytohormones as integrators of environmental signals in the regulation of mycorrhizal symbioses. *New Phytologist* 205: 1431-1436.
- Puri, A. & Adholeya, A. 2013. A new system using *Solanum tuberosum* for the co-cultivation of *Glomus intraradices* and its potential for mass producing spores of arbuscular mycorrhizal fungi. *Symbiosis* 59: 87-97.
- Rapparini, F., Llusia, J. & Perieles, J. 2008. Effects of arbuscular mycorrhizal (AM) colonization on terpene emission and content of *Artemisia annua* L.. *Plant Biology* 10: 108-122.
- Ravensberg, W. J. 2015. Commercialisation of microbes: Present situation and future prospects. En: Lugtenberg, B. (ed.) *Principles of Plant-Microbe Interactions. Microbes for Sustainable Agriculture*. Springer International Publishing, Heidelberg, Switzerland. Pp: 309-318.
- Richardson, A.E. 2007. Making microorganisms mobilize soil phosphorus. En: Velázquez, E., Rodríguez-Barrueco, C. (eds.) *First International Meeting on Microbial Phosphate Solubilization*, vol 102. Developments in Plant and Soil Sciences. Springer. Netherlands. Pp. 85-90.
- Richardson, A. E., Barea, J. M., McNeill, A. M. & Prigent-Combaret, C. 2009. Acquisition of phosphorus and nitrogen in the rhizosphere and plant growth promotion by microorganisms. *Plant and Soil* 321: 305-339.
- Rouphael, Y., Franken, P., Schneider, C., Schwarz, D., Giovannetti, M., Agnolucci, M., De Pascale, S., Bonini, P. & Colla, G. 2015. Arbuscular mycorrhizal fungi act as biostimulants in horticultural crops. *Scientia Horticulturae* 196: 91-108.
- Rubio, R., Moraga, E. & Borie, F. 1990. Acid phosphatase and vesicular arbuscular infection associated with roots of four wheat cultivars. *Journal of Plant Nutrition* 13: 585-598.
- Ruiz-Lozano, J. M. 2003. Arbuscular mycorrhizal symbiosis and alleviation of osmotic stress. New perspectives for molecular studies. *Mycorrhiza* 13: 309-317.
- Ruiz-Lozano, J.M., Aroca, R., Zamarreno, A.M., Molina, S., Andreo-Jiménez, B., Porcel, R., García-Mina, J.M., Ruyter-Spira, C. & López-Raez, J.A. 2016. Arbuscular mycorrhizal symbiosis induces strigolactone biosynthesis under drought and improves drought tolerance in lettuce and tomato. *Plant Cell and Environment* 39: 441-452.
- Santander, C., Aroca, R., Ruiz-Lozano, J. M., Olave, J., Cartes, P., Borie, F. & Cornejo P. 2017. Arbuscular mycorrhizal effects on plant performance under osmotic stress. *Mycorrhiza* 27: 639-657.
- Schliemann, W., Ammer, C. & Strack, D. 2008. Metabolite profiling of mycorrhizal roots of *Medicago truncatula*. *Phytochemistry* 69: 112-146.
- Seguel, A., Cumming, J., Klug-Stewart, K., Cornejo, P. & Borie, F. 2013. The role of arbuscular mycorrhizas in decreasing aluminum phytotoxicity in acidic soils: A review. *Mycorrhiza* 23:167-183.
- Singh, J., Kumar, M. & Vyas, A. 2014. Healthy response from chromium survived pteridophytic plant-Ampelopteris prolifera with the interaction of mycorrhizal fungus-Glomus deserticola. *International Journal of Phytoremediation* 16: 524-535.
- Smith, S. E. & Read, D. J. 2008. *Mycorrhizal Symbiosis*. New York: Elsevier, Academic Press. 800 p.
- Smith, S.E. & Smith, F.A. 2012. Fresh perspectives on the roles of arbuscular mycorrhizal fungi in plant nutrition and growth. *Mycologia* 104: 1-13.
- Spatafora, J. W., Chang, Y., Benny, G. L., Lazarus, K., Smith, M. E., Berbee, M. L., Bonito, G., Corradi, N., Grigoriev, I., Gryganskyi, A., James, T.Y., O'Donnell, K., Roberson, R.W., Taylor, T. N., Uehling, J., Vilgalys, R., White, M. M. & Sajich, J. E. 2016. A phylum-level phylogenetic classification of zygomycete fungi based on genome-scale data. *Mycologia* 108: 1028-1046.
- Tao, G. C., Tian, S. J., Cai, M. Y. & Xie, G. H. 2008. Phosphate solubilizing and mineralizing abilities of bacteria isolated from soils. *Pedosphere* 18: 515-523.

- Tarafdar, J. C. & Marschner, H. 1994. Phosphatase activity in the rhizosphere and hyphosphere of VA mycorrhizal wheat supplied with inorganic and organic phosphorus. *Soil Biology and Biochemistry* 26:387-395.
- Vacheron, J., Desbrosses, G., Bouffaud, M. L., Touraine, B., Moëhne-Loccoz, Y., Legendre, L., Wisniewsk-Dyé, F. & Prigent-Combaret, C. 2013. Plant growth promoting rhizobacteria and root system functioning. *Frontiers in Plant Sciences* 4: 356.
- van der Heijden, M. G. A., Martin, F. M., Selosse, M.-A. & Sanders, I. R. 2015. Mycorrhizal ecology and evolution: the past, the present, and the future. *New Phytologist* 205: 1406-1423.
- Veresoglou, S. D., Chen, B. & Rillig, M. C. 2012. Arbuscular mycorrhiza and soil nitrogen cycling. *Soil Biology and Biochemistry* 46: 53-62.
- Vitousek, P. M., Mooney, H. A., Lubchenco, J. & Melillo, J. M. 1997. Human domination of Earth's ecosystems. *Science* 277: 494-499.
- Vosátka, M., Albrechtová, J. & Patten, R. 2008. The international marked development for mycorrhizal technology. En: Varma, A. (ed.) *Mycorrhiza: State of the Art, Genetics and Molecular Biology, Eco-Function, Biotechnology, Eco-Physiology, Structure and Systematics*. 3rd Ed. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, Germany. Pp: 419-438.
- Whitelaw, M. A. 2000. Growth promotion of plants inoculated with phosphate-solubilizing fungi. *Advances in Agronomy* 69: 99-151.
- Zaidi, A. & Khan, M. S. 2007. Stimulatory effects of dual inoculation with phosphate solubilising microorganisms and arbuscular mycorrhizal fungus on chickpea. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 47: 1016-1022.
- Zancarini, A., Lépinay, C., Burstin, J., Duc, G., Lemanceau, P., Moreau, D., Munier-Jolain, N., Pivato, B., Rigaud, T., Salon, C. & Mougel, C. 2013. Combining molecular microbial ecology with ecophysiology and plant genetics for a better understanding of plant-microbial communities' interactions in the rhizosphere. En: de Bruijn, F.J. (ed.) *Molecular Microbial Ecology of the Rhizosphere*, vol 1. Wiley Blackwell. Hoboken, New Jersey, USA. Pp: 69-86.
- Zhang, F. S., Shen, J. B., Zhang, J. L., Zuo, Y. M., Li, L. & Chen, X. P. 2010. Rhizosphere Processes and Management for Improving Nutrient Use Efficiency and Crop Productivity: Implications for China. *Advances in Agronomy* 107: 1-32.
- Zolla, G., Bakker, M.G., Badri, D.V., Chaparro, J.M., Sheffin, A.M., Manter, D.K. & Vivanco, J. 2013. Understanding root-microbiome interactions. En: de Bruijn, F.J. (ed.) *Molecular Microbial Ecology of the Rhizosphere*, vol 2. Wiley Blackwell. Hoboken, New Jersey, USA. Pp: 743-754.

Capitulo IX

Manejo y Gestión del Pastoreo

Rolando Demanet Filippi
Cristian Canales Cartes

Contenido

Introducción	378
Ordenación territorial	379
Conceptos relacionados con el pastoreo	381
Métodos de medición de pastizales en pastoreo	387
Manejo del pastoreo	394
Métodos de pastoreo	399
Nitrógeno y pastoreo	408
Pastoreo y suplementación	409
Bienestar animal en sistemas pastoriles	410
Gestión de pastoreo	411
Bibliografía	414

Introducción

La agricultura y la ganadería poseen el desafío permanente de proporcionar alimentos seguros, asequibles y abundantes para abastecer a la población. Para el mundo y los países emergentes lograr que todas las personas, en todo momento, tengan acceso físico y económico a alimentos suficientes, seguros y nutritivos para satisfacer sus necesidades dietéticas y preferencias alimentarias para una vida activa y saludable, es una meta que se requiere alcanzar para lograr que la sociedad tenga acceso a una vida sana que implica mantener un bienestar físico, mental y social.

Para cumplir con el desafío de proporcionar seguridad alimentaria a todo el mundo es necesario incrementar la producción de alimentos en un 70% ya que la demanda de productos ganaderos se duplicará producto del aumento de la población mundial y, especialmente, de los países en desarrollo (Thornton, 2010). Un punto de conflicto en el cumplimiento de esta meta es la reducción paulatina de las tierras de cultivo disponibles por habitante que se predice disminuirán en un 25%, en un plazo no superior a 30 años. Además de la necesidad de aumentar la productividad agrícola y ganadera, la humanidad exige sostenibilidad y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero necesidades que a menudo se consideran conflictivas (Capper & Bauman, 2013).

Los sistemas pastoriles cubren más del 25% de la superficie de la tierra a nivel mundial y poseen una extensión geográfica mayor que cualquier otra forma de utilización de la tierra disponible para el hombre. Estos sistemas sobreviven a condiciones bioclimáticas y edáfica en diferentes ecosistemas terrestres y tienen un efecto directo en la desertificación, invasión de especies leñosas no deseadas y deforestación, generando cambios en los ciclos biogeoquímicos y formando parte del cambio del ambiente y del paisaje cultural (Asner *et al.*, 2004; Demanet, 2015).

Los pastizales proporcionan un ambiente natural para los rumiantes y su utilización en los sistemas de producción ganaderos permite reducir los costos de alimentación y mejorar la salud y el bienestar animal. El buen uso de los pastizales permite a los ganaderos tener una disponibilidad de forraje de calidad cuya cantidad está relacionada con la nutrición vegetal, tipo de especies y condiciones climáticas de cada estación del año.

La alimentación solo con el forraje disponible en los pastizales no permite cumplir con los requerimientos nutricionales de los animales de alto rendimiento, en especial, aquellos que se encuentran en lactancia. Los animales en pastoreo habitualmente presentan cambios en las ganancias de peso y producción de leche durante la estación de crecimiento debido a las modificaciones que presenta la oferta de forraje producto de los cambios de estados fenológicos, concentración de nutrientes y agua de las plantas componentes del pastizal. La diversidad florística que presentan los pastizales contribuye a la entrega de un material heterogéneo respecto a cantidad, concentración de agua, fibra y nutrientes.

La suplementación de los animales en pastoreo con alimentos de mayor y homogénea concentración de nutrientes permite aportar los elementos deficitarios de los pastizales y contribuir a la reducción de las variaciones productivas de los animales a través del tiempo.

Al comparar los sistemas estabulados con los pastoriles es evidente que uno de los beneficios que posee el uso de los pastizales en pastoreo es la generación de sistemas naturales de mejor bienestar y salud animal. Las vacas productoras de leche que se alimentan de los pastizales en pastoreo producen leche con un perfil de ácidos grasos favorables para la salud humana como es el ácido linoleico conjugado (CLA) (Stockdale *et al.*, 2003; Bargo *et al.*, 2003; Dewhurst *et al.*, 2006).

Otros de los beneficios de la alimentación de las vacas en pastizales es el traspaso de sabores herbáceos que algunos consumidores pueden reconocer en la leche (Bendall, 2001) y en el queso (Martin *et al.* 2009) y la mejora en la suavidad y capacidad de untar de la mantequilla (Couvreur *et al.*, 2006) y la textura del cuerpo del queso (Martin *et al.*, 2009).

Así en el mundo, la producción de leche en base a pasto tiene una importancia creciente debido al aparente menor costo de producción y a los impactos ambientales y de bienestar animal adversos, tanto reales como percibidos, que se asocian a los sistemas en confinamiento (Arsenault *et al.*, 2009; Costa *et al.*, 2013).

Los avances en el conocimiento en genética, nutrición, manejo, medicina preventiva y bienestar animal han permitido mejorar en los sistemas productivos los rendimientos de leche en el ganado y los pesos de matanza y las tasas de crecimiento en animales de carne, lo que ha llevado a reducciones en el uso de recursos y de las emisiones de gases de efecto invernadero por unidad de alimentos de origen animal (Capper & Bauman, 2013).

Los productos de origen animal son fuente principal de proteína de alto valor biológico y alimentos esenciales para la nutrición humana. El mejoramiento continuo de la eficiencia del uso de los alimentos en los sectores de producción de leche y carne forma parte de un conjunto de medidas necesarias para enfrentar el doble desafío de producir suficientes alimentos de origen animal para abastecer a la creciente población y reducir el impacto que esto genera en el medio ambiente. En este ámbito la Universidad de La Frontera en conjunto con la empresa Watt's S.A. y con el patrocinio de la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO) durante 15 años ha desarrollado un programa denominado Plan de Desarrollo Lechero donde el foco de acción fue el incremento en la eficiencia de utilización de praderas y pasturas con el objetivo de aumentar la producción, reducir los costos y disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero. El análisis de los resultados obtenidos a partir de las mediciones realizadas en el periodo de ejecución de este programa se presenta en este capítulo, que pretende mostrar a través de un contundente número de datos la evolución que se logró obtener en un grupo de productores de leche a través de la capacitación de los operadores en pastoreo.

Ordenación territorial

Para desarrollar sistemas pastoriles eficientes los predios ganaderos deben ser ordenados bajo la lógica del movimiento animal en el territorio, que permita realizar acciones de manejo en una estructura simple donde la productividad de los pastizales junto con el bienestar y la satisfacción de las necesidades nutricionales de los animales sean elementos primordiales del sistema.

Por la naturaleza sistémica de los predios ganaderos las decisiones que se deben considerar para elaborar un plan de ordenamiento territorial corresponden a las estructurales que consideran objetivos de largo plazo y las funcionales que tienen relación con el trabajo que se desarrolla en el predio.

En las decisiones estructurales se debe tomar en cuenta el potencial productivo de cada sitio donde la ordenación espacial debería ser consistente con los procesos operacionales en orden a maximizar la eficiencia y eficacia. En los predios es necesario ubicar en forma orgánica las estructuras fundamentales, decisión que se toma en las etapas iniciales de la explotación, ya que sin una adecuada planificación el sistema tiene una alta probabilidad de enfrentar desequilibrios ecológicos, productivos, económicos y financieros.

El manejo de un predio ganadero que basa su producción en los pastizales requiere un cambio cultural donde el problema que habitualmente se centra en la planta y el animal hoy debe ser tratado de forma diferente. Los temas productivos hoy se deben centralizar en los actores sociales que se insertan en un territorio organizado, gestionado y administrado con el propósito de integrar la vida en el campo con los requerimientos de la población humana y la protección de los ecosistemas. Esto permite minorizar la degradación de los recursos

naturales y reducir los procesos de desertificación, salinización y acidificación de los suelos entre otras acciones producidas por la intervención antrópica de los ecosistemas. La planificación territorial de los predios ganaderos pastoriles además de incluir la productividad como elemento clave, hoy tiene que corregir riesgos en que el sector se ha visto inmerso debido a su potencial contaminante y su contribución a la seguridad alimentaria.

En el diseño de los predios pastoriles existen elementos que deben estar incluidos para lograr una secuencia de pastoreo acorde con el tipo y categoría animal. Es prioridad la construcción de caminos, cercos, cercados, puertas, red de aguadas y bebederos y sistema de riego. Toda esta tecnoestructura se debe implementar antes de iniciar un programa de mejoramiento de praderas y pasturas. La red de caminos para animales debe ser independiente de los caminos para el tránsito de rodados, en especial en predios lecheros pastoriles. En este caso los caminos de animales deben estar en dirección al centro de gravedad del predio donde se ubica la sala de ordeño y áreas de suplementación. En los sistemas de crianza y de producción de carne los caminos deben estar diseñados hacia los corrales, sectores de pesaje, manejo sanitario y cargaderos. El camino de todo sistema ganadero debe tener una base lo suficientemente compactada para soportar durante todo el año el tránsito animal sin provocar deformaciones. La superficie debe tener una carpeta suave construida en base a granito o arena carente de piedrecillas para evitar la incrustación de estas en las pezuñas y así evitar cojeras y problemas podales de mayor envergadura (Figura 9.1).



Figura 9.1. Camino exclusivo de vacas construido con una carpeta superficial suave carente de piedrecillas.

En relación con los cercos y cercados (Figura 9.2), el efecto negativo que tuvo en el mundo su elaboración con madera nativa hoy se ha reducido con la incorporación de cercos eléctricos fijos y móviles que son de uso habitual en todos los sistemas ganaderos pastoriles. La tecnología de los cercos eléctricos permite tener la totalidad de los cercos interiores de los predios y parte de los perimetrales con este tipo de estructura de cercado. El diseño de los cercos se relaciona con la intensidad de trabajo, carga animal y tipo y categorías animales que se manejan en el sistema pastoril.

El agua de bebida es la principal fuente ocupada por los animales para satisfacer sus requerimientos. Por esta razón es necesario incluir en la ordenación del territorio ganadero no solo la cantidad y calidad del agua de bebida, sino que también su flujo y distribución en todos los potreros de tal forma que los grupos de animales tengan acceso sin necesidad de realizar traslados en distancias excesivas para lograr beberla.



Figura 9.2. Cerco eléctrico fijo utilizado en sistemas pastoriles en la zona templada de Chile.

La red de bebederos fijos y móviles deben estar disponibles en todas las áreas de pastoreo considerando que en la mayor parte del año los animales serán manejados en forma rotativa con cercos móviles que limitan el consumo del forraje disponible (Figura 9.3). La disponibilidad de agua debe considerar el flujo suficiente para cada estación del año y categoría animal. El consumo de agua diario puede fluctuar en animales adultos entre 30 y 80 litros/cabeza.



Figura 9.3. La red de bebederos fijos y móviles deben estar disponibles en todas las áreas de pastoreo considerando que los animales son manejados en forma rotativa con cercos móviles.

Conceptos relacionados con el pastoreo

En el mundo los sistemas pastoriles son ecológicamente sostenibles y proporcionan diversos servicios ecosistémicos como son la recuperación de la biodiversidad y la fertilidad de los suelos, la conservación de los recursos a través de la reducción de los procesos de erosión y además aportan alimentos ricos en proteína necesarios para la alimentación y nutrición de los humanos. Los sistemas pastoriles han demostrado su capacidad de resiliencia adaptándose a situaciones adversas como son el cambio climático, representado por las altas temperaturas y los eventos climáticos extremos.

El pastoreo corresponde a la acción de defoliación que realizan los animales herbívoros de los pastizales con el objetivo de mantenerse y producir proteína de origen animal. La mantención de pastizales productivos y de

calidad se basan en el adecuado manejo de pastoreo que permite a las plantas rebrotar y alcanzar altos niveles de productividad y longevidad. Para lograr desarrollar un adecuado manejo de los pastizales en pastoreo es necesario tener conocimiento de algunos aspectos generales con los cuales se fijan las normas de uso que permiten alcanzar la mayor productividad, calidad y longevidad de los pastizales además de la mayor producción animal.

Materia seca: En praderas y pasturas el concepto de materia seca involucra dos aspectos. El primero es al porcentaje de materia seca que tiene el forraje, que corresponde a la proporción de material seco respecto al forraje tal como ofrecido al ganado que contiene agua y materia seca. Para el cálculo de este parámetro es necesario someter al forraje a la extracción de agua en un horno de ventilación forzada a temperatura de 65°C por 48 horas o hasta que logre un peso constante. Existen otras fórmulas de medición donde se reduce el tiempo y aumenta la temperatura, pero la opción mencionada es la más utilizada en los laboratorios especializados de calidad nutricional del forraje. Este valor se expresa en términos porcentuales y en nutrición animal es un valor muy apreciado dado que de él depende el consumo diario que pueden realizar los animales del forraje tal como ofrecido.

El segundo concepto corresponde a la producción de materia seca, parámetro que involucra la producción de forraje en una determinada superficie y medido en base a la materia seca. Se expresa en kg o ton MS/ha y habitualmente se subentiende que corresponde a la producción de una temporada. En ocasiones se especifica el tiempo cuando la producción se refiere a un periodo acotado como es un mes o una estación del año.

Tasa de crecimiento: Corresponde a los kilos de materia seca que se generan diariamente por unidad de superficie en un pastizal. La unidad de medida es diaria y se expresa en kg MS/ha/día. En los sistemas pastoriles el conocimiento de la tasa de crecimiento diaria de las praderas y pastura permite definir la carga animal, frecuencia de pastoreo e intensidad de uso. Con este parámetro se construyen las curvas de crecimiento y se determina el rendimiento mensual y anual de un pastizal.

Distribución estacional de la producción: Es el aporte porcentual de cada estación del año a la producción anual medido en base a materia seca. En las zonas templadas del mundo, la producción presenta una concentración en la primavera, con un interesante aporte en el periodo de otoño.

Composición botánica: Este parámetro corresponde al aporte de las especies componentes de un pastizal a la producción total. Este valor permite visualizar, en parte, la calidad de la pastura a través del año y su evolución de esta a través del tiempo. Su medición y determinación se hace en forma manual y la proporción corresponde a los valores medidos en base a la materia seca.

Disponibilidad: Es la cantidad de forraje que hay por unidad de superficie. En los sistemas pastoriles es el forraje que se le ofrece al ganado pre pastoreo para su consumo. Se expresa en kg/ha ya sea tal como ofrecido o en base a materia seca. Los sistemas de medición indirectos entregan esta información en base a la materia seca ya que en las ecuaciones de calibración se encuentra incorporado este concepto para cada estación del año.

Residuo: Corresponde a la vegetación que queda post pastoreo y desde la cual las plantas inician el nuevo crecimiento o rebrote.

Frecuencia de utilización: La frecuencia de defoliación o de utilización de un pastizal se define como el intervalo entre dos utilizaciones sucesivas. La frecuencia se relaciona con la producción y calidad de los pastizales que son ofrecidos al ganado. La determinación del tiempo de rezago entre pastoreo está directamente concatenada con aspectos fisiológicos y de crecimiento de las especies componentes del pastizal. Para definir la frecuencia de uso existen indicadores productivos como son la disponibilidad de materia seca medida por métodos directos o indirectos y aspectos morfológicos como es el número de hojas. Este último es una medida del nivel de reservas energéticas de las plantas necesarias para su recuperación (rebrote) y, además, es un indicador de la calidad nutricional del forraje consumido por el ganado (Donaghy & Fulkerson, 1998; Donaghy, *et al.*, W. 1997; Donaghy & Fulkerson, 2002).

La frecuencia de pastoreo cambia a través del año según la tasa de crecimiento de las praderas y pasturas. Es así como en invierno la frecuencia fluctúa entre 50 y 60 días y en primavera entre 12 y 18 días.

Intensidad: Es la severidad con que se tratan los pastizales en sistemas pastoriles. Pastoreos intensos son aquellos que en post consumo del forraje queda un residuo pequeño que no permite la recuperación adecuada

de las plantas. Especial importancia tiene la altura de residuo en las gramíneas ya que ellas generan su rebrote a partir de los carbohidratos de reserva ubicados en la base de los tallos. Pastoreos intensos producen que las plantas tengan que iniciar su nuevo crecimiento a partir de las reservas energéticas ubicadas a nivel radical.

La altura de residuo tiene efectos en la productividad por animal y por hectárea. Con el aumento de la utilización de las praderas y pasturas disminuye la producción individual de los animales y aumenta la producción por hectárea (Goic, 2005).

En los sistemas pastoriles es necesario definir la perfecta combinación entre la frecuencia e intensidad de uso de las praderas y pasturas con el objetivo de lograr la máxima productividad y el mayor consumo animal. La combinación de ambos parámetros depende del tipo de pastizal, sistema de pastoreo, nivel de nutrición y fertilización de las plantas, uso de riego, aplicación de bioestimulantes, entre otros.

Mediciones realizadas durante cuatro años en la Estación Experimental Maquehue de la Universidad de La Frontera demostraron que en una pastura polifítica el uso infrecuente - intenso permite el mayor consumo animal por hectárea (Tabla 9.1).

Tabla 9.1. Efecto de la frecuencia e intensidad de pastoreo en el consumo de pastura de vacas lecheras. Estación Experimental Maquehue. Temuco, Chile. Periodo 2004 – 2007.

Frecuencia/Intensidad	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Promedio
Frecuente/Intenso	6.139 a	9.500 b	6.911 a	3.303 b	6.463 b
Frecuente/Laxo	5.185 b	10.197 b	6.827 a	3.773 b	6.496 b
Infrecuente/Intenso	5.908 a	11.030 a	7.850 a	4.613 a	7.350 a
Infrecuente/Laxo	6.445 a	9.849 b	7.010 a	3.482 b	6.697 b
Coefficiente de variación (%)	10,1	8,7	12,1	8,1	8,1

Medias que no comparten una letra en común son diferentes según Prueba de Tukey ($p > 0,05$)

Fuente: Adaptado de Reyes, 2006; Grove, 2007; Espinoza, 2007; Fernández, 2007

La primavera es la estación del año donde existe un mayor diferencial de respuesta entre las combinaciones de frecuencia e intensidad. El uso de las pasturas considerando una combinación infrecuente - intenso permite un incremento en el consumo de hasta un 115% con respecto a otras combinaciones de uso (Tabla 9.2). Además, esta misma estrategia de pastoreo favorece al aporte de especies de alto valor pastoral (Canales, 2007).

Tabla 9.2. Efecto de la frecuencia e intensidad de pastoreo en el consumo de pastura de vacas lecheras en el periodo de primavera. Estación Experimental Maquehue. Temuco, Chile. 2006.

Frecuencia/Intensidad	Octubre	Noviembre	Diciembre	Promedio
Frecuente/Intenso	969 ab	1.114 b	886 b	2.969 b
Frecuente/Laxo	716 b	683 c	450 c	1.849 c
Infrecuente/Intenso	1.339 a	1.378 a	1.263 a	3.980 a
Infrecuente/Laxo	1.030 ab	947 bc	838 b	2.815 b
Coefficiente de variación (%)	16	12	11	14

Medias que no comparten una letra en común son diferentes según Prueba de Tukey ($p > 0,05$)

Fuente: Adaptado de Canales, 2007

La frecuencia e intensidad de pastoreo modifican la composición botánica (Groves, 2007), la perennidad (Espinoza, 2007) y la calidad nutricional de las pasturas (Reyes, 2006; Canales, 2007; Fernández 2007). Con el uso infrecuente – intenso las pasturas presentan un mejor balance gramíneas leguminosas que permite obtener una mayor calidad y relación entre proteína y energía. Además, los animales tienen disponible un forraje de mayor digestibilidad con bajo aporte de material residual de baja calidad (Figura 9.4).

Respecto a la densidad y su relación con la perennidad, la intensidad de uso en invierno genera un incremento en el número de macollos y puntos de crecimiento por metro cuadrado, generando una pastura densa y con mayor capacidad de soporte de condiciones climáticas adversas (Canales, 2007; Fernández, 2007; Espinoza, 2007).

Presión de pastoreo: Corresponde al número de animales por cantidad de forraje disponible y se expresa en ton MS/ha. El mal manejo de la carga animal puede generar sub o sobrepastoreo provocando cambios en la presión de pastoreo. Esto se manifiesta en una modificación de la altura, estructura, disponibilidad y

composición botánica del pastizal (Morley, 1978). Estos cambios modifican la conducta del animal alterando la actividad de pastoreo y el comportamiento ingestivo (Cazzuli *et al.*, 2016).



Figura 9.4. El pastoreo infrecuente – intenso permite alcanzar la mayor productividad de las pasturas del área templada y los animales alcanzan el máximo consumo de materia seca.

Defoliación: La defoliación es un proceso que ocurre en todo sistema pastoril. Esta acción la ejercen los animales en los pastizales en forma continua o intermitente dependiendo del sistema de utilización que se ejerza en un plantel ganadero. La extracción del follaje de las plantas a través de la mordida del animal supone la reducción de la superficie fotosintéticamente activa de las plantas y el consumo de carbohidratos de reserva para su recuperación.

La defoliación tiene efectos diferenciados entre las especies vegetales. En algunas la defoliación estimula su presencia, crecimiento y aporte a la producción de materia seca, mientras que, en otras tiene efectos negativos que se traducen en una reducción de la participación en la composición botánica del pastizal (Silvertown *et al.*, 1994).

La frecuencia de defoliación (periodo de rezago) corresponde al intervalo entre defoliaciones y está relacionado con la capacidad de acumulación de materia seca de los pastizales y los requerimientos de mantención de una masa foliar remanente necesaria para la recuperación de las plantas. Existen diferentes métodos para definir la frecuencia de defoliación y que permiten en forma práctica adecuar la cantidad con la calidad de forraje ofertado a los animales. Una opción es la determinación del rebrote de las hojas que refleja el estado fisiológico y los niveles de energía con la calidad de las plantas para la nutrición animal (Fulkerson & Donaghy, 2001).

En *Lolium perenne* L. se determinó que las plantas son capaces de acumular carbohidratos de reserva hasta que se encuentra con cuatro hojas completamente emergidas (Fulkerson & Slack, 1994). Las plantas defoliadas antes de la etapa de dos hojas presentan menor crecimiento que las defoliadas entre dos y tres hojas debido a la falta de energía de recuperación proporcionada por los carbohidratos de reserva (Donaghy & Fulkerson, 1997).

La frecuencia de defoliación basada en el desarrollo de las hojas ha demostrado que los intervalos entre defoliaciones consecutivas tienen un efecto positivo en la mejora de los pastizales (Fulkerson & Slack 1995; Turner *et al.*, 2006) y un efecto negativo en la calidad del forraje en términos de proteína bruta (Sinclair *et al.*, 2006; Donaghy *et al.*, 2008) FDN y FDA (Turner *et al.*, 2006; Donaghy *et al.*, 2008). En mediciones realizadas en la zona templada se demostró que la frecuencia de defoliación basada en la tasa de aparición de hojas tiene un efecto en la producción de materia seca. Según Poff *et al.*(2011) la calidad se equilibra mejor cuando las plantas son utilizadas en la etapa de tres a cinco hojas debido a la mayor concentración de carbohidratos solubles en agua.

Consumo: El desafío de los sistemas pastoriles es lograr la máxima eficiencia de uso de los recursos forrajeros en pastoreo. Aun teniendo pasturas de alta producción y calidad, las vacas de alto rendimiento no alcanzan a satisfacer sus requerimientos solo utilizando las pasturas en pastoreo y donde la principal limitante es la energía (Dixon & Stockdale, 1999; Allen, 2000). Los suplementos pueden superar la brecha de nutrientes a costa de sustituir la ingesta de materia seca de las pasturas, pero su inclusión en las dietas es sensible a la disponibilidad y a la fluctuación continua de los precios.

En la zona templada, los sistemas ganaderos basan su producción en el consumo de praderas y pasturas permanentes que presentan una alta variabilidad en la disponibilidad de materia seca y calidad nutricional (Demanet, 2015; Chilbroste *et al.*, 2007). Esta condición determina que si los animales utilizan a los pastizales en pastoreo como única fuente de nutrientes no se logra cumplir con sus requerimientos (Kolver & Muller 1998). En vacas de alto rendimiento los principales factores que limitan la producción de leche es la baja ingesta de materia seca, bajo consumo de energía y falta de sincronía entre los requerimientos de los animales y la liberación de nutrientes en el rumen (Stockdale, 2000).

En condiciones de pastoreo en la zona templada los cultivares de tipo diploide presentan, mayor acumulación de materia seca, menor nivel de digestibilidad, contenido similar de proteína y menor consumo que los cultivares de tipo tetraploide, cuando son sometidos a pastoreo con vacas lecheras. Las vacas en lactancia pastorean significativamente más tiempo sobre los cultivares tetraploides y la intensidad de utilización es inferior en cultivares de tipo diploide (Balocchi & López, 2009).

Para estimular y aumentar el consumo de nutrientes a través del consumo de forraje en pastoreo y mejorar el suministro de nutrientes y la sincronía ruminal entre energía y proteína se pueden desarrollar dos sistemas. El más simple y de menor costo es la estimulación y motivación de los animales al consumo de forraje a través de la asignación diaria a los animales (Kennedy *et al.*, 2008) que se proporciona en forma controlada a través del uso de cercos eléctricos en la mañana y tarde. Este método puede ser más estimulador si el cerco es movido a mitad de mañana y mitad de tarde. Pero estudios realizados en la zona templada demostraron que el incremento del consumo de pastura tiene un efecto positivo en el pastizal y en la ingesta de materia seca de vacas lecheras, pero esto no incrementa la producción de leche y la eficiencia de la síntesis de proteínas microbianas (Schöbitz *et al.*, 2013).

Otro sistema de gestión alternativo que mejora el suministro de nutrientes de las vacas en pastoreo es la entrega de suplementos como forrajes y concentrados que permiten aumentar la ingesta de materia seca y energía (Horan *et al.*, 2005). La utilización de cereales de grano pequeño ricos en almidón modifica las concentraciones de propionato y ácidos grasos volátiles precursores de la glucosa que actúa en forma positiva en el metabolismo energético de las vacas (Bargo *et al.* 2003). La energía proveniente de la digestión de los carbohidratos en el rumen conduce a la síntesis de proteínas microbianas contribuyendo a los requerimientos de este nutriente en el animal (Gozho & Mutsvangwa 2008). Esto es de importancia en vacas lecheras debido a que la eficiencia de producción de los animales en lactancia es óptima cuando se maximiza la síntesis de proteína microbiana en el rumen (Bargo *et al.*, 2002).

En periodos del año donde la disponibilidad de materia seca de los pastizales es reducida como por ejemplo el invierno, la ingesta de forraje por los animales es limitada no solo por la baja disponibilidad, sino que también por el tiempo de pastoreo. En experimentos realizados con vacas lecheras en pastoreo rotativo de invierno se demostró que las vacas presentan una baja tasa de ingesta cuando las pasturas poseen baja disponibilidad y no logran compensar durante el día esta baja tasa con mayor tiempo de pastoreo. Esto indica que la ingesta se puede reducir incluso cuando la disponibilidad de forraje no es restrictiva (Pérez-Prieto *et al.*, 2011).

Hábitos de consumo: Mas del 80% de la ingesta total de materia seca de las vacas se consume en forma continua entre las 7 y 20 horas con dos momentos de máximo consumo que corresponde ambos después de la ordeña (Huzzey *et al.*, 2017). Las vacas que no están en forma permanente en los pastizales no consumen forraje en la noche y las pasturas las utilizan como área de descanso más que de alimentación (Legrand *et al.*, 2009; Chapinal *et al.*, 2010).

Eficiencia de utilización: Conceptualmente la eficiencia de uso del forraje corresponde a la diferencia porcentual que existe entre el forraje disponible para los animales y lo realmente consumido por estos en un tiempo definido. En los sistemas de producción la eficiencia de uso se ubica en un rango entre 40 y 80% cuya

amplitud está definida por la intensidad de uso de los recursos forrajeros y la especie animal. En bovinos de leche y carne un valor adecuado de eficiencia de uso se ubica entre 70 y 75% y en ovinos entre 80 y 85% (Figura 9.5).



Figura 9.5. La eficiencia de uso del forraje corresponde a la diferencia porcentual que existe entre el forraje disponible para los animales y lo realmente consumido.

Evaluaciones realizadas durante más de 60 años en Nueva Zelanda demostraron que la evolución en la producción de leche y sólidos lácteos por hectárea estuvo determinada por el aumento en la eficiencia de uso de los recursos forrajeros en pastoreo restando importancia al incremento de la fertilización nitrogenada, mejora en el mérito genético de las vacas, cambio en la proporción de especies de las pasturas, mejoramiento genético de los cultivares, entre otros (Crush *et al.*, 2006; Woodfield, 1999).

Persistencia: Existe evidencia que la frecuencia de pastoreo es un factor determinante en la persistencia de las pasturas (McKenzie *et al.*, 2006). El pastoreo frecuente asociado a uso intenso en un sistema rotativo causa la pérdida de persistencia de las especies nobles en las pasturas (Korte *et al.* 1984). El uso infrecuente intenso permite aumentar la perennidad de los pastizales, aumentando la densidad de forraje y el número de macollos por unidad de superficie (Reyes, 2006; Grove, 2007; Espinoza, 2007; Fernández, 2007).

Carga animal: La gestión eficiente en un sistema pastoril se centra en realizar un adecuado mejoramiento de las pasturas, incrementar la eficiencia de utilización del pasto y aumentar la eficiencia de conversión del alimento en producción animal, todos factores ligados a la carga animal (Chapman *et al.*, 2008).

En los sistemas pastoriles templados el incremento de la carga animal mejora el crecimiento y calidad del forraje al mantener residuos bajos de fitomasa post pastoreo (Figura 9.6). Este manejo reduce la producción por animal, pero incrementa la producción por unidad de superficie (Mac Donald *et al.*, 2008; Baudracco *et al.*, 2010).



Figura 9.6. En los sistemas pastoriles templados el incremento de la carga animal mejora el crecimiento y calidad del forraje.

La investigación ha postulado que el incremento en la carga animal permite sistemas más rentables dado la mayor producción por hectárea y la utilización eficiente del forraje (Moran *et al.*, 2000; McEvoy *et al.*, 2009). Se ha observado que el aumento de la carga animal requiere la incorporación de suplementos importados, aumento en las dosis de fertilización e incremento de uso de mano de obra calificada, todos elementos que reducen las ganancias (Mac Donald *et al.*, 2011; Shadbolt, 2012). Es evidente que con buenos precios de los productos animales las cargas altas permiten siempre una mayor rentabilidad dado que se independiza del precio de los insumos (Doole, 2014).

El elemento diferenciador entre los países respecto al aumento de la carga animal son las limitaciones ambientales al uso de fertilizantes, en especial nitrógeno. Para aumentar la producción de forraje, necesariamente hay que aumentar las dosis de aplicación de nitrógeno. La sociedad en forma rápida y regulada institucionalmente en cada país está reduciendo las dosis de aplicación de nitrógeno para evitar la contaminación de los cursos de agua y del ambiente en general. Esto ha determinado que en la actualidad exista una relación directa entre el aumento de la carga animal y la lixiviación de nitrógeno. Por tanto, la carga animal y la rentabilidad de los sistemas ganaderos dependen de las regulaciones ambientales y la disponibilidad y precios de los insumos, en especial suplementos y fertilizantes nitrogenados (Romera & Doole, 2015).

Métodos de medición de pastizales en pastoreo

La medición del forraje disponible es una práctica que presenta diversas dificultades debido a que los pastizales manejados en pastoreo exhiben una variabilidad en un mismo potrero, entre potreros y a través del tiempo en cada estación del año (Canseco *et al.*, 2007). Esta dificultad que está relacionada con aspectos físicos y biológicos ha llevado a desarrollar diversas técnicas de evaluación de los pastizales.

Saber cuándo ingresar los animales a pastoreo y decidir sobre el tiempo de estadía en un pastizal definiendo la carga de acuerdo con el tipo y categoría animal es una de las razones por las cuales los operadores de campo requieren medir en forma regular el forraje que utilizan los animales en pastoreo. La medición de la disponibilidad y el residuo en un sistema pastoril tiene por objetivo regular el ingreso y egreso de los animales en los pastizales considerando aspectos fisiológicos, de crecimiento, productividad y calidad de cada tipo de pastura. Como resultado de esta medición se logra definir el consumo aparente de cada evento de pastoreo y el consumo anual de un pastizal. El proceso de medición se puede realizar con métodos destructivos (métodos directos) o no destructivos que son de medición indirecta. Ambos métodos deben considerar el dinamismo de los sistemas pastoriles, donde es necesario contar con la información en forma rápida y oportuna. Además, el método que se utilice debe representar en forma acertada la realidad aportando con información confiable y de rápida obtención.

Los métodos directos tienen la complejidad que requieren del procesamiento de las muestras obtenidas en terreno en un laboratorio que cuente con elementos como balanza de precisión 0,1 g y horno de ventilación forzada o microondas. Esto incrementa el tiempo de respuesta y limita el número de muestras. Por su parte, los métodos indirectos permiten realizar un gran número de muestreos en el campo, generando la información en forma instantánea la cual es posteriormente ordenada a través del uso de tablas simples de jerarquización de la información. Sin embargo, estos métodos deben estar en constante calibración, para incluir en las ecuaciones de regresión los cambios de cobertura que desarrollan los pastizales producto del manejo de pastoreo.

La información entregada por los métodos de medición es utilizada para definir los niveles de disponibilidad y residuo con que se debe realizar cada evento de pastoreo y donde el objetivo principal es lograr el máximo consumo con la mayor calidad de la pastura. Esto trae como consecuencia el uso eficiente del forraje y por consiguiente la reducción del costo del kilo de materia seca consumido por el ganado. Además, respetando las normas de manejo que se generan a partir de esta información se logra aumentar la longevidad y la calidad de las pasturas a través del encuentro de una adecuada contribución específica que supone un buen balance nutricional en el bocado que consumen los animales.

Estimación visual: Es un método que utilizan los operadores y técnicos de predios ganaderos que por muchos años han trabajado con los métodos destructivos o indirectos para medir la disponibilidad y residuo de los pastizales en pastoreo y que por su experiencia logran estimar en forma acertada a través de la sola observación los parámetros de crecimiento y calidad (Figura 9.7). En forma regular verifican la calidad de la estimación cotejando sus resultados con algún método directo o indirecto para así continuar su tarea diaria de definición de las superficies de pastoreo y el momento de ingreso y egreso de los animales del pastizal.



Figura 9.7. La estimación visual es un método que se basa en la experiencia del personal encargado del manejo de pastoreo.

Este método supone el conocimiento detallado de los pastizales y el constante recorrido del operador por los diferentes potreros con el objetivo de definir la variabilidad generada como consecuencia del manejo de pastoreo. De la pericia y expertis del operador dependerá la calidad de la información que se genere a través de este método. Entre las ventajas que tiene la estimación visual se encuentra la rapidez y la no necesidad de instrumentos especiales para ejercer esta labor en forma diaria. La desventaja es la necesidad de contar con operadores capacitados y entrenados que permitan asegurar una adecuada predicción en cada situación que se presente en el sistema pastoril.

Existen métodos de estimación visual con uso de rangos de comparación entre distintos niveles productivos y de calidad de los pastizales. Con los valores obtenidos a través de la estimación visual se pueden construir rangos de mayor a menor con los cuales se prioriza el uso de los diferentes pastizales.

Número de hojas: El número de hojas vivas por macollo es uno de los criterios más adecuados para determinar la frecuencia de defoliación en sistemas pastoriles. Este método define el momento oportuno de ingreso de los animales a pastoreo según el estado fenológico de las plantas, específicamente, del número de hojas vivas por tallo. Este sistema tiene por objetivo defoliar las pasturas en el momento de máxima producción y calidad posible de alcanzar en cada pastoreo y época del año. El ingreso de los animales a pastoreo en pasturas de ballica perenne (3 hojas) o pasto ovinillo (5 hojas) permite a los animales acceder al mayor consumo de materia seca y calidad en cada evento de pastoreo. Este concepto tiene efecto sobre la producción y la persistencia de la pradera, además de controlar la disponibilidad y calidad del forraje ofrecido al ganado (Fulkerson & Slack, 1995; Fulkerson & Slack, 1994; Fulkerson & Donaghy, 2001).

Una de las desventajas que posee esta metodología es la dificultad que encuentra la medición en pasturas y praderas polifíticas donde la composición botánica es diversa y no hay una dominancia clara de las especies.

Cuadrante: Es un método destructivo que con frecuencia se utiliza para definir la producción y composición botánica de las pasturas. Es el método que logra la información más exacta y objetiva, pero requiere el procesamiento de las muestras en un laboratorio lo que supone un tiempo para lograr el resultado final.

Previo al pastoreo se lanza en forma aleatoria sobre la pastura un cuadrante de superficie conocida cuyo interior es cortado con tijeras o máquinas esquiladoras acondicionadas para este proceso. Dependiendo de la superficie de pastoreo se repite esta operación dos o más veces para lograr un resultado más cercano a lo real. El corte en el interior del cuadrante supone la extracción de la vegetación excepto el residuo que se supone deben dejar los animales post pastoreo (Figura 9.8).

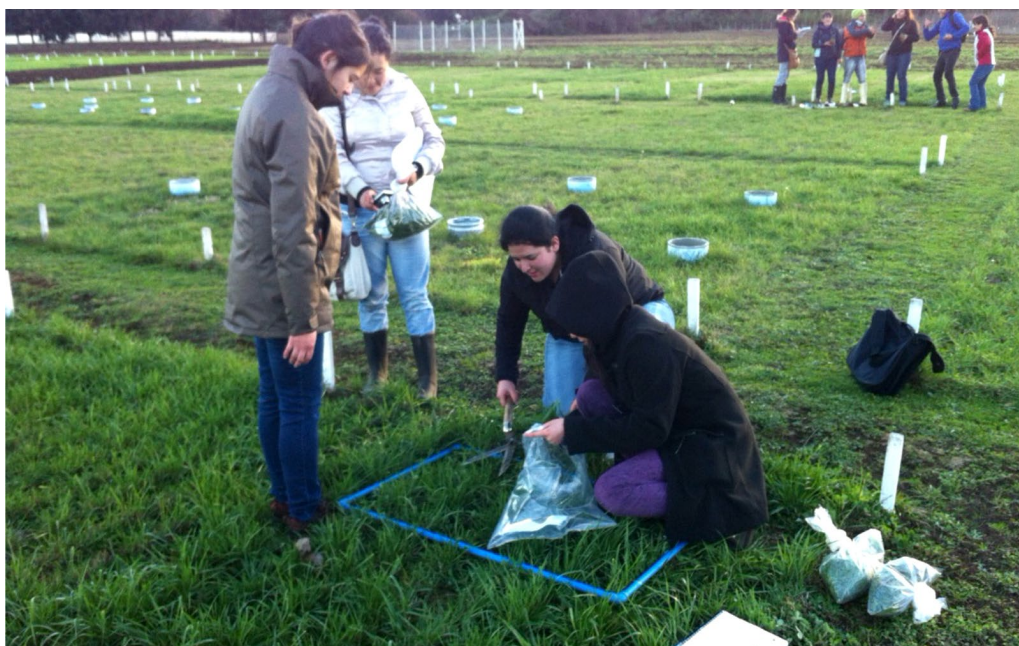


Figura 9.8. Estudiantes de Agronomía de la Universidad de La Frontera aprendiendo a evaluar pasturas a través del método del cuadrante en la Estación Experimental Maquehue. Temuco, Chile.

Las muestras de forraje son pesadas al estado verde para posteriormente estimar su contenido de materia seca según el estado fenológico a través de la extracción del agua con hornos de microondas que se hace en el campo o hornos de ventilación forzada habitualmente ubicado en laboratorios especializados en análisis de calidad de forrajes. La composición botánica se mide a través de la separación manual de las especies al estado fresco y que, posteriormente, son secadas en el horno con el objetivo de calcular el aporte porcentual de cada especie a la producción total de materia seca.

Al tener el peso fresco y seco de las muestras extraídas de una superficie de cuadrante conocida se calcula la disponibilidad de forraje tal como ofrecido y en materia seca de la pastura pre pastoreo.

Este método supone medir previo a cada pastoreo la disponibilidad a través de la metodología antes descrita lo cual en ocasiones es demasiado tedioso, lento y costoso. Además, tiene requerimientos de mano de obra especializada que en ocasiones no logra realizar otras funciones a nivel predial.

La complejidad de este método se relaciona con la definición del número de muestras que resulten representativos en cada pastizal, la mano de obra que se requiere para realizar las labores de corte y procesamiento y el tiempo requerido para tener la información final de la disponibilidad de forraje.

Jaulas de exclusión: El objetivo principal del uso de jaulas de exclusión en los pastizales es la medición del consumo aparente de forraje que realizan los animales en pastoreo sin intervenir el sistema de utilización. Es un método destructivo complejo donde se utilizan jaulas que excluyen al animal del consumo y donde se puede observar la evolución del crecimiento y cambio en la composición botánica según la época del año y sistema de uso.

Las jaulas son estructuras elaboradas con perfiles metálicos y malla que ocupan una superficie de 1 m^2 (0,5 m de ancho, 2,0 m de largo y 0,5 de alto) y que se va rotando a través del año en los pastizales sometidos a pastoreo, cambiando su ubicación con una frecuencia de 15 a 30 días (Figura 9.9).

En cada medición se corta la superficie interna de la jaula y un área igual externa con lo que se define la tasa de crecimiento de cada periodo. La diferencia entre la medición interna de la jaula con la superficie externa evaluada en el anterior periodo da como resultado el crecimiento del periodo. Con este valor se calcula el rendimiento por unidad de superficie y la tasa de crecimiento.



Figura 9.9. Medición de la disponibilidad de forraje utilizando el método de la jaula de exclusión.

El material tal como ofrecido es pesado en verde y posteriormente es llevado al laboratorio para extraer el agua y con ello expresar el rendimiento y la tasa de crecimiento en términos de materia seca. Si se quiere calcular la contribución de las especies a la producción se debe extraer una submuestra del interior de la jaula para realizar la separación manual en verde y posteriormente secar las muestras en horno de ventilación forzada o microondas y así expresar la contribución porcentual de las especies en base a materia seca.

La medición con jaulas de exclusión permite obtener una proyección del crecimiento y disponibilidad de materia seca de los pastizales en las diferentes épocas del año (Figura 9.10) y el consumo aparente que logran los animales. Este método no resulta práctico para el manejo cotidiano en pastoreo de los animales ya que al igual que el sistema del cuadrante tienen como dificultad el número de muestras por pastizal y el tiempo de entrega de la información final para el uso en pastoreo.

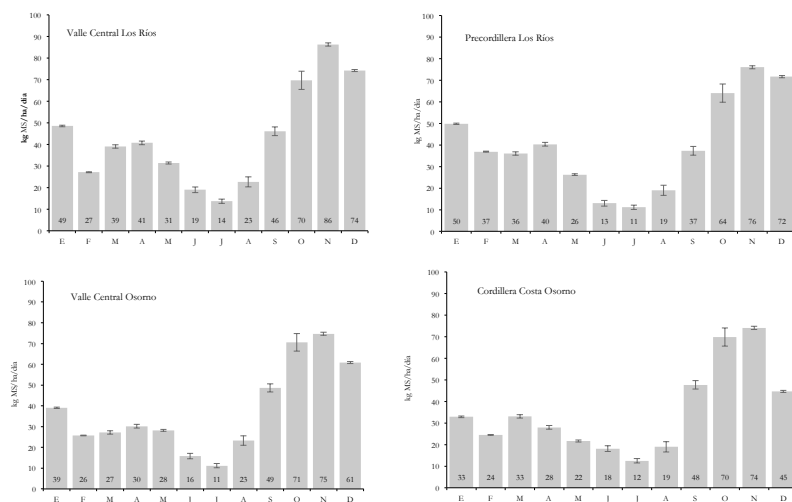


Figura 9.10. Curva de crecimiento anual de pasturas permanentes del área templada de Chile evaluadas con el método del cuadrante. Plan Lechero Watt's. Promedio del periodo 2005 – 2020.

Regla graduada (Sward stick): Entre los métodos no destructivos y de medición indirecta la regla graduada es un instrumento que mide la altura sin disturbar de los pastizales (Figura 9.11). Cada sistema pastoril y en las diferentes regiones del mundo logran crecimientos y coberturas distintas lo que implica la necesidad de realizar

calibraciones específicas que permitan representar de mejor forma la realidad de cada pastizal. La calibración se realiza a través de la comparación de la graduación de la regla y la producción de materia seca obtenida por el método del cuadrante. Con dicha información se elaboran ecuaciones de regresión para cada época del año que permiten predecir la disponibilidad total de materia seca de un pastizal. El número de muestras y la distancia entre muestras se determina según la variabilidad que presente el pastizal y la superficie de cada potrero.



Figura 9.11. Medición de la altura sin disturbar utilizando la regla graduada.

Capacitancia electrónica: Corresponde a una técnica de medición indirecta del forraje disponible que estima la producción a través de la conductividad eléctrica que produce un capacitómetro electrónico sobre el pastizal.

El instrumento utilizado para esta medición se denomina capacitómetro o *Grass Master* que corresponde a un tubo de aluminio que envía una frecuencia eléctrica que pasa a través del forraje produciendo un campo electrónico a su alrededor que se extiende en un radio máximo de 10 cm y una altura no superior a 40 cm (Figura 9.12). La humedad del ambiente absorbe capacitancia por lo que en cada medición se debe corregir su lectura.



Figura 9.12. Medición del residuo post pastoreo con el capacitómetro.

Al igual que todos los instrumentos de medición indirecta el capacitómetro es calibrado elaborando ecuaciones de regresión entre la medición del instrumento y la disponibilidad medida con el método del cuadrante. Las ecuaciones de cada época del año o de cada situación diferente de medición son integradas al instrumento que entregará el resultado final en kg MS/ha.

La ventaja que tiene este instrumento es que mide la densidad del forraje disponible otorgando un valor muy acertado en pastizales que se encuentran en crecimiento activo. No es adecuado el uso de este instrumento en pastizales sobre maduros o en aquellos que están con exceso de humedad (rocío).

Luz infrarroja: La medición de la disponibilidad de forraje a través de la determinación con luz infrarroja es otra opción indirecta de conocer en forma rápida la cantidad de forraje que posee un pastizal (Figura 9.13). El instrumento denominado C-Dax posee una serie de 18 emisores y receptores de luz infrarroja capaces de medir la altura de las plantas a razón de 200 mediciones por segundo con una precisión de 20 mm. El C-Dax circula por los pastizales arrastrado por un vehículo todoterreno que permite hacer miles de mediciones en corto tiempo proporcionando en cada potrero un promedio de disponibilidad de materia seca expresada en kg MS/ha. La velocidad de trabajado debe ser inferior a 15 km/hora dado que el incremento de esta genera una pérdida en la precisión. Al igual que el capacitómetro este instrumento pierde precisión en pastizales que presente exceso de humedad en el follaje (lluvia o rocío).



Figura 9.13. Equipo C-Dax arrastrado por un vehículo todoterreno para medir la disponibilidad de las pasturas previo al pastoreo.

La información generada por este instrumento es almacenada utilizando un software específico el cual puede ser alimentado en forma inalámbrica una vez que se han incluido los potreros. La ubicación de cada potrero también puede ser definida a través de un sistema de GPS.

Altura comprimida (*Rising plate meter*): La determinación indirecta de la disponibilidad de forraje de un pastizal a través de la medición de la altura comprimida se realiza a través de un plato medidor (*rising plate meter*) que registra la información de terreno en función de la altura de las plantas y su densidad. Los principales factores que modifican la medición a través del tiempo son la composición botánica, el estado fenológico de las plantas y el nivel de cobertura del pastizal.

El instrumento consta de un vástago por donde se mueve el plato y un sistema integrado de medición de altura que puede ser electrónico o manual. Como todo instrumento de medición indirecta requiere ser calibrado a través de la comparación de la altura disturbada y la disponibilidad medida con el método del cuadrante (Figura 9.14). Con la información resultante se elaboran las ecuaciones de regresión para cada estación del año e incluso en algunas épocas se utilizan dos ecuaciones, en especial, en primavera donde es habitual tener ecuaciones para primavera temprana y plena primavera. Se debe tener presente que no existe una relación universal entre la

altura comprimida y la disponibilidad, ya que esta puede variar según el tipo de pradera, la cobertura, la época del año o entre condición de pre y post pastoreo. Por lo tanto, la calibración se debe realizar bajo las condiciones locales de uso (Canseco *et al.*, 2007)



Figura 9.14. Calibración del rising plate meter utilizando un anillo y máquina esquiladora modificada para cortar la pastura.

Este método supone la medición semanal excepto en periodos del año donde la tasa de crecimiento es inferior a 15 kg MS/ha/día (invierno). La programación de uso se realiza a través de un programa diario donde el operador debe ajustar el resultado de la medición con la disponibilidad real del pastizal.

Para lograr una adecuada estimación de la disponibilidad de forraje a través de este método, es necesario visualizar previamente la variabilidad que presenta el pastizal a medir con el objetivo de definir el número de mediciones a realizar. A mayor variabilidad es mayor el número de muestras que se deben ejecutar en cada potrero (Figura 9.15).



Figura 9.15. Determinación del número de muestras en el área de pastero de vacas.

Estudios de calibración realizados por Canseco *et al.* (2007), demostraron que las calibraciones originales de los instrumentos antes mencionados sobre estimaban los valores de disponibilidad y residuo de los pastizales permanentes de la zona templada de Chile. A través de un trabajo conjunto entre instituciones de investigación y la empresa privada financiado por Fundación para la Innovación Agraria (FIA), se realizaron las calibraciones de diversos equipos demostrando que el instrumento de mejor aproximación a la realidad de los pastizales templados es el plato medidor de altura comprimida (*rising plate meter*), cuyas formulas originales sobre estimaban la disponibilidad de materia seca hasta en un 40%. Basado en esta información se desarrollaron formulas específicas para la región en cada estación del año (Tabla 9.3)

Tabla 9.3. Ecuaciones de calibración para el plato medidor de materia seca (altura comprimida).

Estación del año	Ecuación	Coefficiente de determinación (R ²)
Primavera	$y = 100x + 400$	0,75
Verano	$y = 160x + 250$	0,75
Invierno	$y = 95x + 400$	0,77
Otoño	$y = 120x + 350$	0,74

Fuente: Canseco *et al.* (2007)

Todos los métodos de medición tienen una desviación respecto a la realidad debido a la heterogeneidad que presentan los pastizales manejados en sistemas pastoriles, además, de la variabilidad del método y del operador que realiza las mediciones. Sin embargo, al utilizar la misma metodología de medición y operadores capacitados los errores se minimizan por el expertiz que se logra y con ello es posible planificar el manejo de pastoreo en forma estable y acertada en el tiempo.

Manejo del pastoreo

El manejo del pastoreo involucra aspectos relacionados con los pastizales, los animales y las características propias de cada ecosistema donde se desarrolla la ganadería. Los animales al pastorear modifican la estructura de las praderas y pasturas debido a que inician su consumo seleccionando el forraje asignado (defoliación selectiva), remueven y compactan el suelo con sus pezuñas y redistribuyen nutrientes y semillas con sus deyecciones. El efecto que genera el pastoreo en los pastizales se reconoce a través de los cambios que causa en la producción, composición botánica y calidad nutricional. Un buen pastoreo puede producir un mejoramiento en la composición botánica y en la productividad, lo que se logra a través del control de la frecuencia e intensidad de uso.

El manejo de pastoreo es una herramienta que influye en el sistema pratero afectando la producción, calidad, persistencia y composición botánica. Para que el manejo funcione adecuadamente es necesario desarrollar una planificación anticipada tendiente a brindar el tiempo correcto de recuperación de las plantas post pastoreo antes de someter al pastizal a una nueva defoliación. En este sentido, la ganancia de peso individual de los animales y la producción de leche, así como la producción de carne y leche por unidad de superficie están directamente relacionadas con el manejo de pastoreo.

El objetivo de un pastoreo eficiente es lograr la máxima producción y consumo de las praderas y pasturas, intentando utilizar la mayor proporción del forraje de calidad disponible sin afectar parámetros tan importantes como es la persistencia. El pastoreo debe proyectar un férreo compromiso entre el consumo y la eficiencia de utilización para lograr el objetivo de alcanzar la máxima producción animal por hectárea.

Consumo: Diversos factores influyen sobre el consumo de forraje de los animales en pastoreo. El consumo voluntario de forraje de los animales en pastoreo está relacionado con la disponibilidad ofrecida, su distribución espacial, estructura, digestibilidad y aceptabilidad. Todos estos factores que pueden ser modificados a través del manejo de pastoreo definen el rendimiento animal que está determinado por la ingesta de nutrientes (Parga, 2005).

Disponibilidad de forraje: Es la cantidad de fitomasa ofrecida a los animales en pastoreo y corresponde al material vegetal que existe sobre el nivel del suelo y que se expresa como kilos de materia seca por hectárea (kg MS/ha) o kilos de materia seca por animal (kg MS/animal). La disponibilidad de fitomasa cambia en función del crecimiento de cada especie componente del pastizal, senescencia de las plantas y frecuencia e intensidad de uso por los animales. Este parámetro es dinámico y su estimación es válida solo para el momento en que se

realizan las mediciones (Canseco *et al.*, 2007).

La disponibilidad pre - pastoreo es el factor más influyente en el consumo de forraje por los animales. El aumento de la oferta maximiza el consumo de forraje y la ingestión de nutrientes lo que genera una relación lineal entre ambos parámetros (Peyraud *et al.*, 1999).

Estructura del pastizal: Este parámetro está determinado por la altura y densidad de las plantas y representa una herramienta clave en la definición del método de pastoreo y del aumento del consumo de forraje por los animales (Griffits *et al.*, 2003).

La altura de las praderas y pasturas influye sobre el comportamiento de los animales en pastoreo, principalmente sobre el consumo de forraje (disponibilidad). Este parámetro se utiliza para tomar decisiones sobre el manejo del pastoreo. Cuando la altura de las praderas y pasturas aumenta se incrementa el consumo y con ello la producción por animal. Sin embargo, cuando la altura pasa un cierto nivel la productividad animal decrece, debido a la reducción en la calidad del forraje.

La estructura de los pastizales tiene relación con la densidad, esto es, el número de plantas y macollos por unidad de superficie (Figura 9.16). La densidad ejerce un efecto en el tamaño de bocado y, por tanto, en el consumo de forraje. Pastizales con baja densidad obligan a reducir la carga animal y aumentar la suplementación al ganado. Además, esto provoca una reducción en la persistencia de las plantas de alto valor pastoral y con ello de la calidad y valor nutritivo del forraje (McKenzie *et al.*, 2006).



Figura 9.16. La estructura de los pastizales tiene relación con la densidad, esto es, el número de plantas y macollos por unidad de superficie.

En los sistemas pastoriles es relevante considerar las características estructurales de las praderas y pasturas (Beltran, *et al.*, 2005). En este sentido, el manejo del pastoreo y su impacto sobre la estructura y dinámica de las pasturas debe analizarse dentro de un marco en el cual el proceso de defoliación se relacione con las características morfogénicas que determinan la capacidad de rebrote de las plantas. A su vez, estas características están íntimamente ligadas a su adaptación al pastoreo ya que, por un lado, determinan la regeneración del área foliar, que en sí constituye la vía más rápida para recuperar la capacidad de sintetizar foto asimilados y, por otro lado, definen la cantidad de yemas que potencialmente se pueden desarrollar en los macollos (Saroff *et al.*, 2003).

Digestibilidad del forraje: La digestibilidad es el factor nutricional más importante que afecta el consumo, siempre y cuando la disponibilidad no sea un factor limitante. En este sentido, el consumo de forraje estará regulado directamente por la digestibilidad de éste.

Debido a que el contenido celular es totalmente digestible, el consumo estará limitado por la fracción que incluye la pared celular. El consumo disminuye a medida que aumenta esta fracción, siendo crítico en forrajes cuyos valores superen el 60%. Esto significa que, por encima de cierta concentración de pared celular, el animal tiene una limitación física al consumo y éste no se regula por sus necesidades energéticas (Smit *et al*, 2005)

Si la digestibilidad del forraje ofrecido es alta, no solo se observará un incremento en el consumo, sino que se elevará el nivel de nutrientes ingerido en la dieta. Esta relación consumo voluntario-digestibilidad es directa hasta determinado valor de digestibilidad por encima del cual no se evidencian aumentos en el consumo voluntario. Si la digestibilidad es baja, el consumo de forraje y su aprovechamiento será menor.

La digestibilidad del forraje ofrecido a los animales es distinta en cada estación del año. Esto se debe, principalmente, a los cambios que se producen en la estructura y composición del forraje, relacionados con el estado fisiológico de las plantas, o sea de su madurez. Estos cambios estacionales, se relacionan en general con la digestibilidad, siendo mayor en primavera que en otras épocas del año (Smit *et al*, 2005).

La relación hoja/tallo, cambia de acuerdo con el desarrollo fenológico de las especies prateras. Mientras la digestibilidad del tallo decrece rápidamente con la madurez, la de las hojas permanece razonablemente constante. Al mismo tiempo se producen cambios en la composición química, como es el aumento de hidratos de carbono estructurales (celulosa y hemicelulosa), que se digieren lentamente, y lignina, que además de no ser digestible debido a su asociación con los hidratos de carbono de las paredes celulares, reduce la digestibilidad de estos. Los hidratos de carbono solubles, almidón y pectina disminuyen en tallos y permanecen relativamente constantes en las hojas. El contenido de proteína disminuye en forma constante en tallos y hojas en la medida que avanza la madurez de las plantas.

Carga animal: El ajuste de la carga animal es la primera decisión de manejo que debe tomar el productor en función de sus recursos alimenticios, dado que condiciona la demanda de materia seca por hectárea. La carga animal, por lo tanto, influye sobre la eficiencia de utilización de la pradera.

En cada sistema ganadero, existe un nivel óptimo de carga animal, que permite obtener una máxima producción compatible con la persistencia del pastizal. La determinación del nivel óptimo de carga se encuentra en función de las necesidades del ganado a lo largo del año, para asegurar que la cantidad de forraje ofrecida por día a los animales sea adecuada a sus necesidades.

Una carga animal inadecuada, podría ser el origen de una baja eficiencia de utilización del recurso forrajero, especialmente en la época de primavera. Esto define que no siempre es necesario producir más forraje, sino que aprovecharlo mejor, por eso el objetivo primordial es lograr el equilibrio entre la producción de este y la carga animal, obteniendo con esto una mayor producción por unidad de superficie.

Cuando la carga animal aumenta genera una mayor presión de pastoreo, que puede limitar, en parte, el consumo y la producción animal. El aumento de la carga animal por hectárea reduce la cantidad de forraje disponible por animal, afectando su rendimiento individual, pero esto suele ser compensado por un incremento de la producción por unidad de superficie, debido a la mayor población de ganado (Parga, 2005).

El manejo de la carga animal en cada estación del año define la producción y calidad del forraje que se obtendrá en las siguientes estaciones. Un manejo adecuado de la carga en primavera permite que las pasturas mantengan una buena proporción de hojas en verano y otoño que se traduce en una mayor producción animal total del año (Figura 9.17).

Crecimiento de las plantas: La dinámica de generación y expansión de las estructuras de las plantas se conoce como morfogénesis. En las plantas forrajeras estas características están íntimamente ligadas a su adaptación al pastoreo. Pastoreos frecuentes generan que las plantas no logren acumular la suficiente energía, provocando que el nuevo crecimiento sea lento y escaso.

El pastoreo causa diversos cambios en el crecimiento de las especies prateras que afectan la cantidad y calidad del forraje producido. La frecuencia e intensidad del pastoreo determina si ocurren efectos perjudiciales o beneficiosos en la pastura. Pastoreos frecuentes e intensos provocan una gran pérdida de hojas y causan reducciones a largo plazo, en la cantidad total de forraje producido (Manske 2004).



Figura 9.17. Manejo de pastoreo con alta carga animal. Vacas lecheras utilizando la pastura en forma infrecuente - intensa.

Morfología y fisiología de las especies: Las especies pratenses, bajo un sistema productivo basado en el pastoreo, pasan por una serie de procesos, tanto morfológicos como fisiológicos. Estos cambios estructurales están relacionados, principalmente, con la diferenciación y el crecimiento celular. Conocer el crecimiento y morfología de las especies es necesario para desarrollar estrategias de manejo de pastoreo y anticipar su efecto sobre las especies y el ganado (Wade *et al.*, 1989).

La defoliación en un pastoreo puede ser beneficiosa o destructiva para el pastizal. Conocer la localización de los puntos de crecimiento y la función de los meristemas es relevante para el desarrollo de un acertado manejo de pastoreo. Defoliaciones intensas pueden afectar los puntos de crecimiento de las especies y reducir la capacidad de rebrote de las plantas (Hannaway, 2005).

Pastizales y pastoreo: Para alcanzar la máxima eficiencia productiva a través del manejo de pastoreo es necesario considerar diversos aspectos relacionados con los pastizales, los animales y el manejo que el hombre decide hacer en cada ecosistema ganadero. Para tomar decisiones acertadas es necesario tener el conocimiento de las curvas de crecimiento y la composición botánica de las praderas y pasturas. Además, se deben considerar aspectos relacionados con la ordenación territorial donde están incluidos caminos, cercos, cercados, fuentes de agua, corrales, mangas entre otros.

Junto a lo anterior, es necesario tener un plan de fertilización y nutrición de las praderas y pasturas que incluya productos de origen orgánico e inorgánico además de bioestimulantes naturales y fertilización biológica: rizobios, micorrizas, *Trichoderma* spp, *Bacillus* spp. y otros.

En la planificación del pastoreo se debe considerar el rejuvenecimiento de los pastizales a través de la incorporación de nuevas especies y cultivares, intentando llegar a pasturas polifíticas que permitan aumentar la densidad epigea y exploración hipogea, con el objetivo de lograr una adecuada nutrición de las plantas y una alta calidad del forraje que consumen los animales en pastoreo. Densidad y calidad del bocado que consumen los animales es la clave para lograr la máxima productividad de un pastizal.

Para obtener que un sistema pastoril funcione es necesario la implementación de sistemas de drenaje y riego (Figura 9.18). Los drenajes son parte importante del mejoramiento de la capacidad productiva de las praderas y pasturas. Este permite la reducción de las inundaciones permanentes y eventuales que impiden en ciertas épocas del año el uso de los pastizales en pastoreo. Por su parte el riego, permite extender el periodo de crecimiento, desarrollo y utilización de las pasturas al periodo de verano y otoño, modificando la curva de crecimiento y generando un incremento en la productividad de las praderas y pasturas superior al 40% (Demanet, 2019).



Figura 9.18. Uso de riego en sistemas pastoriles. Precordillera de la Región de Los Ríos.

Sobre pastoreo: El pastoreo excesivo generalmente reduce la producción de forraje (Figura 9.19), altera la composición botánica y reduce el rendimiento de los pastizales (Patton *et al.*, 2007; Schönbach *et al.*, 2011; Liang *et al.*, 2009). Además, esta práctica afecta el valor nutricional del forraje en forma directa a través de la defoliación permanente o indirectamente a través del cambio en la composición botánica (Schönbach *et al.*, 2009; Cao *et al.*, 2011). Estas modificaciones de calidad que habitualmente se generan en el corto plazo pueden extenderse en el tiempo producto de la degradación de los pastizales desde una composición botánica dominada por especie de buena condición a una dominación de especies de baja condición (Christensen *et al.*, 2003; Zhang *et al.*, 2004). De esta forma el sobre pastoreo y la degradación de los pastizales no sólo afecta la multifuncionalidad del ecosistema, sino que también pone en peligro los objetivos de producción ganaderos.



Figura 9.19. El sobrepastoreo reduce el tiempo de recuperación de las praderas y pasturas aumentando los tiempos entre defoliaciones.

Métodos de pastoreo

El pastoreo es una técnica natural de manejo del ganado expandida en todo el mundo que se inició como un sistema primitivo practicado por los animales salvajes, previo a su domesticación, y que se ha modificado y perfeccionado a partir de las experiencias de los ganaderos de los cuales se han extraído las bases y los modelos que hoy se practican en los sistemas de producción animal en todo el mundo (Muslera & Ratera, 1991)

Existen dos formas de utilización de los pastizales en pastoreo. La primera corresponde al pastoreo continuo donde los animales en forma libre consumen el forraje disponible y, la segunda, es el pastoreo restringido donde a través de cercos fijos y móviles se regula el consumo del pastizal.

La gestión eficiente en un sistema pastoril se centra en realizar un adecuado mejoramiento de las pasturas, incremento de la eficiencia de utilización del pasto y mejoramiento de la conversión del alimento en producción animal, factores todos ligados a la carga animal. En los sistemas pastoriles templados el manejo de la carga animal es determinante en la producción y calidad de los pastizales, además, de la producción por animal y unidad de superficie.

Con el incremento en la carga animal es posible aumentar la eficiencia de utilización del forraje y generar una mayor producción por hectárea, sin embargo, se ha observado que este aumento requiere de la incorporación de suplementos importados, regulación en las dosis de fertilización e incremento de uso de mano de obra calificada.

Todos los métodos de pastoreo tienen por objetivo lograr el mejor aprovechamiento del forraje disponible sin producir modificaciones importantes en la composición botánica, persistencia y productividad del pastizal. La ejecución de cualquier método de pastoreo tiene implícito la necesidad de implementar cercos y cercados, puertas, caminos, bebederos y abrevaderos, mangas, balanza, corrales y sistemas de control de disponibilidad, residuo, frecuencia e intensidad de uso.

Un buen sistema de pastoreo es aquel donde el ganadero logra conseguir el mejor aprovechamiento de los pastizales, alcanzando la mayor producción animal individual y por unidad de superficie. Sin embargo, la gestión de pastoreo es una tarea compleja donde intervienen variables biológicas, físicas y económicas, a veces poco predecibles como por ejemplo el clima o el comportamiento biológico de los suelos.

Pastoreo continuo: Este método de pastoreo también es denominado como pastoreo libre o extensivo y se basa en el consumo por el rebaño de los pastizales en forma libre y permanente durante una temporada de crecimiento, un año o varios años. El objetivo del pastoreo continuo es mantener una carga animal que permita equiparar el consumo de forraje con el crecimiento de la pradera donde el intervalo entre defoliaciones puede variar desde 5 días hasta 4 semanas, dependiendo de la carga animal (Tabla 9.4).

Tabla 9.4. Capacidad de carga según la estación del año de un sistema manejado con pastoreo continuo.

Parámetro	Otoño	Invierno	Primavera	Verano
Tasa Crecimiento kg MS/ha/día	35	8	75	25
Días	91	91	91	91
kg MS/Estación	3.185	728	6.825	2.275
Eficiencia de utilización	75	85	72	75
kg MS consumo/Estación	2.389	619	4.914	1.706
Peso animal	300	280	350	400
Consumo base peso vivo	2,3	2,3	2,3	2,3
Consumo/cabeza/día	6,9	6,4	8,1	9,2
Consumo/animal/temporada	628	586	733	837
Animales/ha/temporada	3,8	1,06	6,71	2,04

Los animales que consumen los pastizales en forma libre seleccionan el forraje a voluntad generando una alta variabilidad en la estructura del pastizal, donde es posible observar sectores sobre pastoreados y sub pastoreados con distintos niveles de crecimiento y desarrollo de las diferentes asociaciones vegetales componentes del pastizal (Figura 9.20).



Figura 9.20. Pastoreo continuo en un predio de la precordillera de la Región de La Araucanía.

En el pastoreo continuo la regulación del consumo de las plantas por los animales de un pastizal está definida por el concepto de aceptabilidad o palatabilidad, término que representa la propiedad de una planta en función de su atractivo o repulsión por parte del animal, respondiendo éste a través de la preferencia por uno u otro tipo de forraje. La aceptabilidad junto con la capacidad de ingestión del animal incide en el consumo voluntario del forraje pudiendo ser rehusado por todo el rebaño, parte de él o ser ingerido en forma limitada, lo que determina la preferencia y la forma de consumo de los pastizales, situación que tiene una influencia directa en la productividad (Azocar *et al.*, 1987).

La aceptabilidad de ciertas especies por el ganado genera un consumo frecuente e intenso de estas plantas lo que produce una pérdida de la capacidad de rebrote por falta de acumulación de carbohidratos de reserva, situación que se traduce en una reducción de la población de especies de alto valor pastoral y una modificación de la composición botánica del pastizal, donde dominan las especies crecientes y agresivas de bajo valor nutricional y escasa palatabilidad.

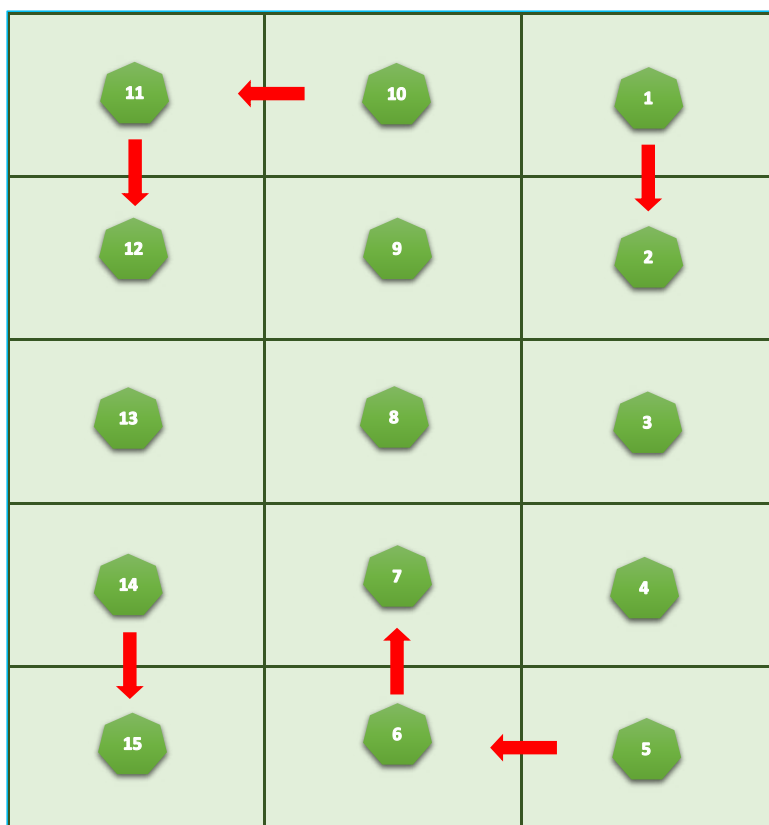
En teoría, el mayor beneficio que se logra con el uso del pastoreo continuo es mantener a las plantas componentes de las praderas y pasturas cercana a su índice de área foliar óptimo, debido a su frecuente defoliación, además de ser un sistema que requiere un menor costo en cercos y cercados y una menor preocupación del personal.

Esta forma de manejo del ganado es utilizada con frecuencia en sitios de pastizales que presentan baja disponibilidad de forraje y con limitaciones de acceso al agua de bebida. Por un tema geográfico o estructura de los predios, en ocasiones es necesario permitir el pastoreo continuo, el que resulta en un mejor sistema que los pastoreos restringidos a franjas. Es así como en algunas áreas de la zona mediterránea el pastoreo se realiza en forma continuo, en especial en sistemas ovinos y caprinos, donde los animales logran consumir la totalidad del forraje al final de la temporada transformándose ellos en los mejores controladores de incendios de primavera y verano tan habituales en los círculos concéntricos a las áreas pobladas.

Uno de los problemas de este método es la falta de control del consumo y la definición de la carga animal, factores que se estiman por apreciación visual y que en reiteradas ocasiones no se ajustan a la realidad. Para definir estos parámetros se recurre con frecuencia al historial productivo del potrero, ajustando la carga a un nivel al menos en un 20% inferior al logrado en el promedio de los años evaluados con anterioridad. Esta forma de definir la carga se basa en la premisa que es mejor que sobre forraje, dado que la falta siempre tendrá un costo adicional no presupuestado y atentará contra una adecuada rentabilidad del sistema.

Pastoreo alterno: Corresponde a un sistema simple de manejo rotativo en que se utilizan dos áreas definidas de pastoreo que son manejadas en forma rotativa a través del año. El tiempo de pastoreo en cada sección lo define la tasa de crecimiento diaria que está en directa relación con la estación del año.

Pastoreo rotativo: Este sistema de consumo de los pastizales consiste en dividir la superficie de pastoreo con cercos en forma fija o móvil según la carga animal, capacidad de consumo y disponibilidad de forraje (Figura 9.21). Bajo una programación determinada el hombre decide el intervalo de defoliación considerando los especies componentes del pastizal, capacidad de acumulación de materia seca y tasa de utilización según los parámetros de recuperación de las plantas post pastoreo (Fulkerson & Slack, 1994).



Los potreros pueden ser subdivididos según la disponibilidad y cambio de carga animal y la secuencia de consumo se va definiendo de acuerdo con la frecuencia e intensidad de uso de la pastura. El tiempo de consumo en cada área es restringido para evitar el consumo del rebrote de las plantas componentes del pastizal. Este método permite además la reducción del costo energético de cosecha del forraje producto de una disminución del espacio de consumo diario.

El pastoreo rotativo es el método más utilizado por los ganaderos de las zonas templadas y tiene la ventaja que permite hacer una utilización completa del forraje disponible reduciendo la selección y el pisoteo de los animales. Bostas y orina se distribuyen en forma homogénea lo que permite una mejor mantención del tapiz vegetal debido a la mayor uniformidad que logra en el crecimiento del pasto.

Otra ventaja de este sistema es la opción de permitir a través del manejo de la frecuencia e intensidad de pastoreo el desarrollo especies de alto valor nutricional y la reducción de la presencia de plantas no deseadas.

En este sistema, la planificación del consumo permite desarrollar una secuencia de uso de los pastizales según disponibilidad y calidad (condición) y acrecentar la superficie de rezago para conservación de forraje producto del incremento de la eficiencia de uso (Figura 9.22).



Figura 9.22: En el pastoreo rotativo la planificación del consumo permite desarrollar una secuencia de uso de los pastizales según disponibilidad y calidad.

Para desarrollar un sistema de pastoreo rotativo con el ganado es necesario considerar la implementación de cercos, cercados, puertas, caminos y red de bebederos acorde al número y distribución de los potreros. Además, la operación en el campo requiere la medición de la disponibilidad y residuo que supone un control y preocupación permanente de las praderas y pasturas además de los animales.

Carga animal, tiempo de pastoreo, periodo de rezago, frecuencia e intensidad de pastoreo y número de potreros son elementos que se deben conocer para poder desarrollar en forma eficiente este método rotacional de pastoreo. El ajuste del número de potreros está en función de la estación del año, carga animal y capacidad de consumo de los animales.

Las principales ventajas de este método de pastoreo es el buen aprovechamiento del forraje y homogénea distribución de las heces sobre los pastizales. Además, este método permite ordenar las operaciones de fertilización, riego, control de especies no deseadas y rezago para conservación de forraje.

Las virtudes e incremento de la productividad de este método han sido demostradas por las investigaciones realizadas por Mc Meekan & Walse (1963), Hodgson (1979) y Voisin (1994) entre otros que evaluaron el pastoreo rotacional en comparación con otros métodos y lograron definir que este sistema permite incrementos productivos en niveles superiores a 10% permitiendo un mejor aprovechamiento del forraje y generando pasturas más longevas y de alto valor nutricional.

Pastoreo en franja (*Strip grazing*): Este método de pastoreo tiene la característica de ser un sistema rotativo con construcción de franjas que permiten el pastoreo en un corto tiempo (Figura 9.23). Las franjas son destinadas para el consumo diario o periodos menores (medio día) y el tamaño de la franja se ajusta según el número de animales, disponibilidad de forraje, capacidad de consumo de los animales, frecuencia e intensidad de pastoreo. Las franjas pueden ser fijas o móviles.

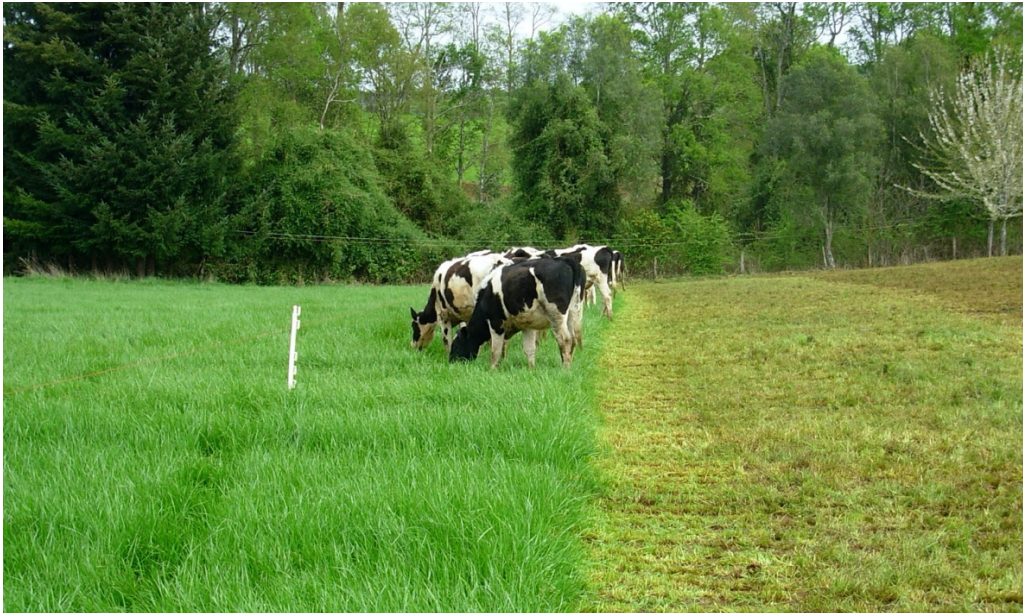


Figura 9.23. Pastoreo en franja que se caracteriza por ser un sistema rotativo que permite el consumo de las praderas y pasturas en un corto tiempo.

Entre las ventajas que posee este método de pastoreo es la buena eficiencia que se logra en predios que utilizan alta carga animal, otorgando a los animales franjas móviles que se relacionan con la disponibilidad y calidad del forraje. Las praderas y pasturas son sometidas a pastoreos muy uniformes donde los animales no pueden seleccionar el forraje, generando un tapiz vegetal cuyo rebrote es homogéneo de alta calidad y que se traduce en una mayor producción animal por unidad de superficie.

La intensidad de este método supone el conocimiento del crecimiento de los pastizales, velocidad de recuperación y manejo de cercos y cercados. Además, es necesario contar con una red de bebederos y saleros móviles que permitan distribuir el agua de bebida y las sales minerales para todas las franjas de pastoreo.

Mediciones realizadas por Goic (2005), con novillos Hereford, durante tres temporadas en la localidad de Osorno, demostraron que la producción animal generada bajo el sistema de franjas fue en promedio 15% superior a la combinación de pastoreo continuo y rotativo (Tabla 9.5).

Tabla 9.5. Efecto del sistema de pastoreo en la ganancia de peso vivo (kg/ha) de novillos Hereford que pastorearon un pastizal polifítico. Osorno, Chile.

Sistema pastoreo	Año 1	Año 2	Año 3
Continuo/rotativo	815	638	599
Franja	1.014	684	695
Incremento	24,4	7,2	16,0

Fuente: Adaptado de Goic, 2005.

Creep grazing: Este método de pastoreo permite que los animales pequeños (terneros o corderos) compartan las pasturas con animales adultos y tengan acceso exclusivo a otra pastura de mayor calidad y disponibilidad, pasando a través de aberturas de cercos de ancho y altura limitada o bajo la línea del cerco eléctrico. Las

aberturas son lo suficientemente pequeñas como para restringir el paso de los animales grandes. Este es un método que se utiliza en sistemas de crianza y es una variante del pastoreo rotativo, donde los animales de mayores requerimientos de forraje de calidad (terneros o corderos) tienen acceso libre a consumir en forma preferente y *ad libitum* de una pastura al que no tienen acceso los animales adultos (madres).

El uso de este método se basa en que los animales de diferentes edades y categorías tienen distintos requerimientos nutricionales y que las pasturas presentan en las distintas estaciones del año variaciones en calidad y cantidad de forraje. Cuando diferentes categorías animales comparten la misma pastura suele ocurrir que los de mayor peso y edad compiten por calidad y cantidad de forraje con los animales más pequeños situación que retrasa su crecimiento.

En este sistema se pretende equiparar los requerimientos de los animales. Al proporcionar a todos los animales un forraje en estado avanzado de madurez, se cumple con las necesidades de los animales de bajo requerimiento y los animales con necesidades más altas no reciben una nutrición adecuada para un rendimiento máximo. Si se proporciona a todos un forraje de calidad, los animales con mayores requerimientos nutricionales logran cumplir con sus necesidades y los animales con menores requerimientos tienen más calidad de la necesaria y por tanto hacen un mal uso del alimento adicional.

El principal beneficio de este sistema es el buen uso de los pastizales donde se combina un pastoreo laxo generado por los animales en crecimiento y un pastoreo intenso realizado por los animales adultos que consumen todo el forraje excedentario dejado por la crianza. Esto, además, permite acelerar el crecimiento de los animales pequeños, regular el consumo de los animales en mantención y aumentar la carga animal y la producción por unidad de superficie.

En sistemas de alta carga animal y fuerte presión de pastoreo este método de pastoreo cumple una función fundamental en el crecimiento de los animales ya que permite reducir la competencia por forraje de calidad entre la madre y su cría (Figura 9.24).



Figura 9.24. Uso de *creep grazing* en un sistema de crianza de animales de producción de carne en la zona templada de Chile.

Pastoreo preferencial: A diferencia del *creep grazing* el pastoreo preferencial se utiliza con grupos de animales con distintos niveles de requerimientos independiente de la edad y categoría. Es un método muy apropiado para sistemas lecheros intensivos donde se combina el pastoreo y el consumo de suplementos concentrados. Bajo esta condición las vacas de alto requerimiento desarrollan un pastoreo selectivo caracterizado por el consumo de bocados superficiales del forraje en estados avanzados de crecimiento. Para uniformar la pastura post pastoreo de vacas se somete dicha superficie al pastoreo inmediato con un grupo de animales de menores requerimientos que desarrollan un pastoreo intenso con fuerte presión lo cual permite uniformar el residuo y el rebrote del pastizal.

En este sistema no se comparte en forma simultánea la misma pastura, sino que los grupos de animales de mayores requerimientos ingresan en una primera etapa para, posteriormente, finalizar el consumo con animales de menores requerimientos que uniformizan el residuo de la pastura.

El pastoreo preferencial es un sistema que considera el pastoreo rotativo y donde los animales que primero ingresan a pastorear una pastura tienen la opción de seleccionar el forraje que consumen y los animales que entran al repase, solo logran consumir las plantas de menor calidad rechazadas por el primer grupo.

Con este sistema se logra mantener los niveles productivos de los animales de altos requerimientos junto con uniformar el residuo post pastoreo que permite asegurar un rebrote homogéneo de calidad. Además, evita cambios abruptos en la composición botánica y la reducción de la cobertura y densidad de la pastura, situación que es frecuente de encontrar en sistemas pastoriles sometidos a consumos selectivos con baja presión de pastoreo.

Entre las categorías animales que son consideradas en este sistema preferencial se encuentra las vacas de alta producción como grupo preferente y las vacas secas o vaquillas como grupo de repase. En producción de carne este sistema se practica teniendo como grupo preferente a los novillos o vaquillas de engorda y como repase las vacas secas.

Pastoreo mixto: Los sistemas de pastoreo mixto son aquellos donde dos especies animales comparten un pastizal en pastoreo. El tamaño corporal y las diferencias anatómicas entre las especies se reflejan en las diferencias en la dieta seleccionada y el comportamiento de alimentación, lo que genera una oportunidad para el uso complementario de los pastizales. Las diferencias entre las especies que intervienen en este sistema son complementarias, por ello el pastoreo mixto resulta en una mayor producción animal por hectárea.

Las especies que se incluyen en este sistema difieren en sus patrones y hábitos de pastoreo y la mayor productividad es atribuida a la mejor eficiencia de utilización del forraje, debido a que entre ambas logran consumir todo el forraje disponible.

Creep feeding: Este sistema es utilizado en la crianza del ganado. Combina el pastoreo y la entrega en forma preferencial de un suplemento energético y proteico a los animales en crecimiento. Utilizando el pastoreo rotativo, en los potreros de pastoreo se localizan casetas de alimentación donde solo tienen acceso los animales pequeños que ingresan voluntariamente a consumir una ración rica en proteína y energía (Figura 9.25).



Figura 9.25. El sistema *creep feeding* combina el pastoreo y la entrega en forma preferencial de un suplemento energético y proteico a los animales en crecimiento.

Este método permite complementar la dieta del ganado joven, principalmente en los terneros de carne, al ofrecer alimento a los animales que aún están amamantando. El objetivo de la suplementación es promover la ingesta de alimento y acelerar su crecimiento y desarrollo.

Pastoreo racional de Voisin: André Marcel Voisin fue un bioquímico y agricultor francés que a mediados del siglo pasado sistematizó el pastoreo rotativo que suponía el rezago y recuperación de las plantas post utilización. Su forma de tratar los pastizales la divulgó a través de libros y presentaciones lo que dio origen al denominado sistema de Pastoreo Racional de Voisin (PRV) que ha sido practicado en todos los sistemas pastoriles del mundo.

Para Voisin el pastoreo es hacer que un animal coma el forraje, lo que significa que el animal y el forraje se encuentren. Plantea dos postulados básicos en el manejo de pastoreo: en el primero menciona que cuando se piensa en la vaca, no se debe olvidar jamás las exigencias del pasto y el segundo es cuando se examina el pasto, no se debe perder de vista las exigencias de las vacas (Voisin & Lacomte 1968).

Este es un método de manejo del complejo suelo-planta-animal, que se basa en el uso de los pastizales en forma rotativa con alta carga animal y corto periodo de utilización y donde se considera la biología del suelo y algunos conceptos de agroecología. Independiente del ambiente o sitio de pastoreo, los pastizales y en especial las gramíneas, se ven afectadas por cuatro sucesos a lo largo de su existencia al relacionarlas con los animales que las consumen. Estos factores son conocidas como las “cuatro leyes del pastoreo de Voisin” que forman parte de las bases para la planificación de todo proyecto de pastoreo racional.

La primera ley se refiere al reposo o rezago y sugiere que para que una planta cortada por el diente del animal pueda dar su máxima productividad, es necesario que, entre dos cortes sucesivos, haya pasado el tiempo suficiente que permita al pasto almacenar en sus raíces las reservas necesarias para un rebrote vigoroso. Las observaciones de Voisin demostraron que las plantas poseen una curva de crecimiento sigmoidea que tiene un punto máximo de crecimiento que llamó punto de madurez fisiológica (PMF) y que más tarde se presenta su floración o estado de reproducción a lo cual definió como punto de madurez de cosecha (PMC). En forma coloquial define al periodo de máxima tasa de crecimiento como “llamarada de crecimiento”.

Según plantea esta metodología, al permitir que cada potrero tenga un descanso suficiente después de cada pastoreo, con el tiempo se logra un mayor rendimiento productivo de las pasturas y de los animales. El mejor estado nutricional de la planta es justo después del PMF (punto de madurez fisiológica) pero antes del PMC (punto de madurez de cosecha), momento que se define como punto verde óptimo (PVO) o punto óptimo de cosecha (POC).

La segunda ley está relacionada con el tiempo de pastoreo y menciona que el tiempo global de ocupación de un potrero debe ser lo suficientemente corto para que una planta cortada a diente en el primer día no sea cortada de nuevo por el diente de los animales antes de que éstos dejen el potrero.

A menor tiempo de permanencia del ganado en un potrero, menor es el efecto negativo del ganado sobre la compactación del suelo y menor el efecto negativo sobre la capacidad de la pastura para rebrotar y desarrollarse. Posterior al rebrote de la pastura es más adecuado que el ganado realice un pastoreo a fondo que cuando deja la pastura muy alta o cuando consume el rebrote.

La tercera ley versa sobre el rendimiento máximo e indica que es necesario ayudar a los animales de exigencias alimenticias más elevadas para que puedan cosechar la mayor cantidad y calidad de forraje. El ganado frecuentemente no hace pastoreos muy eficientes a menos que los pastoreadores le ayuden a pastorear las pasturas con mayor disponibilidad de biomasa y de mejor calidad.

La cuarta ley está enfocada al orden de rendimientos regulares donde revela que para que un animal pueda tener rendimientos regulares es necesario que no permanezca más de tres días en un mismo potrero. Los rendimientos serán máximos si los animales no permanecen más de un día en un mismo potrero. Con el ingreso del ganado a un pastizal alto se produce una pérdida de eficiencia de uso por pisoteo y bosteo que hacen los animales antes del inicio del consumo del pasto. A mayor tiempo de pastoreo mayor pérdida de forraje y mayor ineficiencia de uso de los recursos forrajeros. La mayor eficiencia de uso y productiva se logra en el primer día de consumo y decae en la medida que pasa el tiempo.

Las cuatro leyes de Voisin tienen por objetivo aumentar la eficiencia de uso del forraje e incrementar la

producción de la pastura y los animales a través de un método de control del consumo y de eliminación de la selectividad. El consumo de las plantas se debe hacer respetando los centros de acumulación de carbohidratos.

El pastoreo racional de Voisin hizo una propuesta que cambio en forma definitiva y absoluta la forma tradicional de consumo de las pasturas. Puso al hombre en el centro de la operación y consideró que el pastoreo es más un arte que una ciencia y por ello la definición de las reglas que rigen el pastoreo racional menciona como absolutamente necesario la observación continua del pasto y los animales y a partir de ellas conformar el movimiento del ganado.

Para logra que a través del pastoreo racional el productor cumpla con el objetivo de ser eficiente en el uso de los recursos forrajeros es necesario entender que las exigencias del animal deben anteponerse a las del pasto, el animal es el juez supremo de todo sistema de pastoreo. Los buenos ganaderos se inclinan ante la opinión de su vaca y la vaca es el mejor laboratorio de análisis (Voisin, 1994).

Para Voisin la ciencia y el arte del pastoreo racional consisten en intervenir en el crecimiento del pasto y en guiar al animal que se nutre de él, pero para realizar un buen pastoreo no es suficiente con haber comprendido las leyes del pastoreo racional, es necesario asimismo amar los pastizales (Voisin & Lacomte 1968).

Pastoreo con alta carga animal (*mob grazing*): Este sistema se caracteriza por utilizar una alta densidad de animales que consumen en menos de un día el forraje que se ha almacenado en el pastizal durante un periodo largo de rezago (45 a 60 días). El periodo de rezago cambia durante la temporada y según las especies que componen el pastizal (Figura 9.26). En los meses de primavera y verano es habitual que los animales ingresen a consumir el forraje en estados reproductivos donde abunda la fibra y la proteína es baja al igual que la digestibilidad.



Figura 9.26. Pastoreo con alta carga animal que se caracteriza por utilizar una alta densidad de animales que consumen en menos de un día el forraje disponible.

Esta práctica se está volviendo muy popular entre algunos productores debido a los beneficios que tiene en el secuestro de carbono del suelo y al mantenimiento de la diversidad de forraje. También se ha encontrado que es beneficiosa para controlar la colonización de algunas plantas no deseadas en los pastizales.

Aunque el *mob grazing* podría tener algunas ventajas y desventajas sobre otros sistemas de manejo de pastoreo, no es un sistema que se adapte a la operación ganadera de todos y solo tiene su lugar en ciertas regiones. Para tener éxito, el productor debe ser un buen administrador de los recursos, comprender los principios del pastoreo rotativo intensivo y desarrollar el hábito de tener consistencia y perseverancia con el sistema. Este es un modelo que requiere dedicación y mayor cantidad de mano de obra que un sistema de pastoreo más libre.

Se requiere monitorear en forma permanente el crecimiento de las plantas y asignar las áreas de pastoreo después que el pastizal cumpla con una recuperación adecuada de las plantas. Los productores también deben monitorear la condición corporal del ganado y el rendimiento del animal para asegurar que la cantidad y calidad del forraje cumplan con los requisitos diarios de alimentación y nutrición.

Este sistema de gestión de pastoreo intenta satisfacer las necesidades nutricionales de cualquier clase de ganado presente en un predio optimizando el rendimiento, la calidad y la persistencia del forraje.

Sogueo: Corresponde a un pastoreo controlado muy característico de la zona andina. Los animales permanecen amarrados a una estaca. La cuerda que une al animal con la estaca define la superficie de pastoreo y el tiempo de consumo se define según los requerimientos de los animales cambiando la estaca de posición. El cambio de la estaca de posición se realiza una o dos veces al día y el acceso al agua solo durante el encierro nocturno.

Nitrógeno y pastoreo

Las pasturas que consumen los animales se caracterizan por presentar un alto contenido de proteína de alta solubilidad (Bryant *et al.*, 2012) que es utilizada en forma ineficiente por los animales y, por tanto, una proporción importante es excretada a través de la orina (Tamminga, 1992). El manejo de nitrógeno en pastoreo es un dilema que se debe controlar a través de la fertilización y la inclusión de pasturas polifíticas que posean especies capaces de hacer un uso eficiente del nitrógeno.

Las pérdidas de nitrógeno a través de la orina representan un problema de eficiencia de uso en los animales que provoca volatilización como óxido nítrico y lixiviación a través del suelo en forma de nitrato, contaminando las aguas subterráneas.

El periodo de mayor lixiviación y volatilización es en primavera dada las condiciones de temperatura, humedad y aplicaciones de fertilizantes nitrogenados destinados a promover el crecimiento de las plantas. En este periodo las plantas suelen incrementar la proporción de nitrógeno no proteico de mayor solubilidad y con ello aumentan los niveles de excreción a través de la orina de los animales que la consumen (Nowakowski & Byers, 1972). Para reducir las pérdidas urinarias de nitrógeno de los animales consumiendo pasturas, es necesario reducir la concentración total de proteína de la dieta (Hoekstra *et al.*, 2007). Es habitual en los sistemas intensivos de producción de leche que los niveles de proteína soluble en el inicio de la primavera sean elevados debido a la falta de ajuste entre las dietas de invierno y primavera. Este ajuste es fácil de realizar en sistemas con suplementación parcial o total (Van Vuuren *et al.*, 1993; Valk, 1994; Steinshamn *et al.*, 2006) pero no en sistemas pastoriles donde la única fuente de alimentación es la pastura (Bryant *et al.*, 2013).

Las especies y cultivares que poseen una mayor concentración de carbohidratos solubles en agua permiten un uso más eficiente del nitrógeno por los animales y una reducción de la excreción de este elemento por la orina (Miller *et al.*, 2001), pero esta reducción sólo se logra cuando la proporción de carbohidratos soluble/proteína es elevada (Edwards *et al.*, 2007). Se ha determinado que en pasturas es posible triplicar la relación carbohidratos soluble en agua/proteína extendiendo el periodo de rezago entre pastoreos desde la aparición de la segunda hoja a la cuarta hoja y, además, consumiendo el forraje en la tarde (Bryant *et al.*, 2012).

La extensión del tiempo de rezago entre pastoreos reduce la concentración de nitrógeno en la dieta y proporciona una ingesta de nitrógeno que se ajusta mejor a los requerimientos de los animales. Esto permite la reducción de las concentraciones de amoníaco a nivel ruminal y con ello las pérdidas de nitrógeno a través de la orina (Owens *et al.*, 2008). Este manejo puede conducir a una reducción en la producción de leche cuando se compromete la calidad debido a que intervalos entre pastoreos muy extendidos incrementa la proporción de fibra y el material muerto de las plantas (Bryant *et al.*, 2013).

La fertilización nitrogenada en las pasturas templadas tiene por objetivo estimular el crecimiento de las plantas. La respuesta productiva y de calidad de los pastizales al nitrógeno depende de las condiciones ambientales. Los principales factores que influyen en la expresión de nitrógeno son inherentes al suelo, planta y ambiente donde destacan la humedad, temperatura, contenido de materia orgánica, arquitectura radical, capacidad de procesamiento de las plantas, entre otros.

Diversos estudios han demostrado que el incremento de la fertilización nitrogenada permite aumentar la producción de materia seca aérea de las plantas (Hopkins *et al.*, 1990; Schils, 1997) y el contenido de nitrógeno y proteína total (Belanger & McQueen, 1998; Duru 2003) pero no así la digestibilidad donde no tiene un efecto

importante (Duru 2003). Respecto al crecimiento de macollos y desarrollo inicial de hojas existen resultados contradictorios que no permiten definir en forma clara su influencia (Kavanová *et al.*, 2008; McKenzie, 1998; Pearse & Wilman, 1984).

Pastoreo y suplementación

La producción de leche está determinada en un 70% por la ingesta de materia seca y en menor grado por la digestión eficiente de la dieta que consumen los animales (Chilibroste *et al.*, 2007). En confinamiento las vacas consumen raciones totalmente mezcladas donde la cantidad y calidad de nutrientes ofrecidos se ajustan a los requisitos de los animales (Bargo *et al.*, 2003). En sistemas pastoriles el consumo de materia seca a través del forraje no es fácil de estimar y la predicción de la producción de leche no es confiable (Smit *et al.*, 2005; Mattiauda *et al.*, 2013).

Existe claridad que, en los sistemas de producción intensivos, en especial de producción de leche, la ingesta de materia seca de los pastizales es insuficiente para satisfacer el potencial genético de las vacas (Kolver & Muller, 1998) y, en primavera, se ha determinado que la ingesta de forraje a través del pastoreo puede sustentar producciones de leche hasta de 30 litros por día en vacas sin suplementación (Bargo *et al.*, 2003). En las otras estaciones del año las pasturas templadas presentan un reducido crecimiento (Demanet, 2019; Demanet, 2015) y los animales un bajo consumo de materia seca, situación que provoca un efecto adverso en la producción de leche producto de la falta de sincronía en el rumen entre la energía y la proteína aportada por el forraje (Stockdale, 2000).

La inclusión en la dieta de los animales de alimentos suplementarios de alta concentración de energía y proteína es un requisito para lograr un nivel elevado de producción en los sistemas intensivos. Este manejo alimenticio tiene un efecto en el consumo de pradera y en el comportamiento de los animales en pastoreo (Pulido & Leaver, 2001, Sairanen *et al.*, 2006) donde la inclusión de estos suplementos reduce el consumo de forraje generando un efecto importante en la tasa de sustitución. El uso progresivo de suplementos reduce el consumo de materia seca de la pradera, disminuye el tiempo de pastoreo, la tasa de bocado y aumenta el tiempo de rumia (Riquelme & Pulido, 2008) (Figura 9.27).



Figura 9.27. El uso de suplementos reduce el consumo de materia seca de la pradera, disminuye el tiempo de pastoreo, la tasa de bocado y aumenta el tiempo de rumia.

El consumo de praderas a través del pastoreo ha sido ampliamente citado como la fuente de menor costo en los sistemas de producción ganaderos de las zonas templadas (O’Kiely *et al.*, 1997; Cros *et al.*, 2004; Neal *et al.*, 2007). Cuanto mayor sea el aporte de la pradera a través del pastoreo en la dieta anual de los animales, mayor será la eficiencia económica que se logra en los sistemas productivos (Dillon *et al.*, 2005). El desafío que tienen los sistemas de producción animal es la extensión del pastoreo a todas las estaciones del año, incluido el invierno, que habitualmente posee condiciones climáticas adversas.

En las zonas templadas, una de las características de los pastizales es su alto grado de estacionalidad en la producción (Figura 9.28) donde se concentra el rendimiento de materia seca en primavera (> 50%) reduciendo su producción en verano por efecto del déficit hídrico y en invierno debido a la disminución de la radiación solar y temperaturas (Demanet, 2015). Asociado a lo anterior, en el periodo de alta concentración de las precipitaciones (fin de otoño, invierno e inicios de primavera) en los sistemas pastoriles existe una alta probabilidad de producir daño real al tapiz vegetal que reduce su capacidad productiva y de recuperación (Shalloo *et al.*, 2004). Como resultado de las limitaciones, los sistemas pastoriles incorporan alimentos alternativos como concentrados, forrajes suplementarios y ensilajes elaborados del forraje excedentario de primavera (Demanet, 2019; Fitzgerald *et al.*, 2005).



Figura 9.28. Distribución estacional de la producción por zona agroclimática. Promedio periodo 2005 – 2020. Plan Lechero Watt’s.

El ensilaje de pastizales es de amplio uso en la zona templada aun cuando está demostrado que el costo por unidad de materia seca es superior a ensilajes de cereales de grano pequeño y maíz (Demanet, 2019; Finneran *et al.*, 2010), sin embargo, su uso se integra con los sistemas pastoriles debido a que permite la eliminación del excedente en periodos de alta tasa de crecimiento (primavera) resultando en un sistema más eficiente en las áreas de pastoreo.

Los sistemas pastoriles que combinan la alimentación con suplementos pueden causar excedentes que son depositados en las pasturas por bostas y orina de hasta 400 kg N/ha (Vérité & Delaby, 2000) que se distribuye en forma uniforme en los pastizales durante el tiempo que los animales pastorean (White *et al.*, 2001). Este efecto es habitual en los sistemas lecheros de la zona templada donde antes, durante o después de cada ordeño las vacas son alimentadas con mezclas completas elaboradas, principalmente, por una combinación de suplementos energéticos y proteicos.

La ingesta de forraje en pastoreo se reduce cuando los animales son suplementados con otros alimentos de mayor concentración de nutrientes. La actividad de pastoreo post suplementación se reduce al igual que la ingesta de forraje independiente de la superficie y oferta asignada por animal al día (Pulido & Leaver, 2003; Gibb *et al.*, 2002; Patterson *et al.*, 1998).

Bienestar animal en sistemas pastoriles

En los sistemas pastoriles la falta de una adecuada red de caminos para el paso de los animales genera serios problemas de cojera en las vacas. La cojera es una condición debilitante y dolorosa y constituye un serio problema de bienestar en los animales en pastoreo (Logue *et al.*, 1993). Este es uno de los principales trastornos de salud de los animales y que tiene un severo impacto en la economía de los predios lecheros (Green *et al.*, 2002; Nordlund *et al.*, 2004). La etiología de las cojeras es multifactorial y es el resultado de la interacción entre

el ambiente, manejo de pastoreo, nutrición y características de los animales (Clarkson *et al.*, 1996).

Aun cuando existe la percepción de que los sistemas pastoriles presentan menos problemas de cojera que aquellos donde las vacas son mantenidas en confinamiento, existe evidencia que los niveles de cojeras en ambos sistemas son similares (Clark *et al.*, 2007; Nordlund *et al.*, 2004). En sistemas pastoriles las cojeras son causadas principalmente por la presencia de malos caminos con superficies rugosas y piedras pequeñas que se incrustan en las pezuñas causando dolor y daño a los animales al caminar. En los sistemas de estabulación además de los problemas de pisos es común los desbalances nutricionales de las dietas entregadas a los animales en confinamiento que generan acidosis clínica y subclínica que aumenta los riesgos de laminitis (Westwood *et al.*, 2003; Nordlund *et al.*, 2004).

Gestión del Pastoreo

La gestión de pastoreo está relacionada con la responsabilidad que asumen los operadores de campo en el proceso de pastoreo donde la disposición de los recursos y estructuras necesaria para llevar a cabo una adecuada operación de movimiento de ganado en los pastizales determina el éxito del proceso productivo.

En este sentido la empresa Watt's S.A., a través de su Plan Lechero ha desarrollado por mas de 15 años un programa de gestión de pastoreo en los predios lecheros proveedores de la compañía de donde ha sido posible mantener en forma activa una importante base de datos en relación con el manejo del pastoreo en sistemas productivos pastoriles de leche de la zona sur de Chile, específicamente entre el Sur de la Región de La Araucanía, Región de Los Ríos y Los Lagos. Los aspectos abordados en el trabajo involucran mediciones de tasas de crecimiento, disponibilidad, residuos y consumo aparente.

Eficiencia de eventos de pastoreo: Independiente del método de estimación de materia seca, cada evento de pastoreo involucra el control de la oferta (disponibilidad) y un manejo adecuado de las salidas post pastoreo (residuo). La administración de estos dos factores permite alcanzar el equilibrio entre la calidad bromatológica del forraje que consumirán los animales y el manejo de la cobertura del pastizal.

El pastoreo óptimo (Figura 9.29), se entiende por aquel evento de defoliación realizado por los animales, donde la oferta de forraje como también el residuo post pastoreo, son respetados en función de los criterios que se definan para cada sistema pastoril. Hay que comprender que el manejo de estos dos conceptos (oferta/residuo) en cada evento de pastoreo, deriva en el potencial resultado anual de la eficiencia de utilización de una pastura. Cada vez que no se logren los objetivos propuestos en la planificación de pastoreo, se genera una ineficiencia tanto en la utilización como en la respuesta productiva del animal.

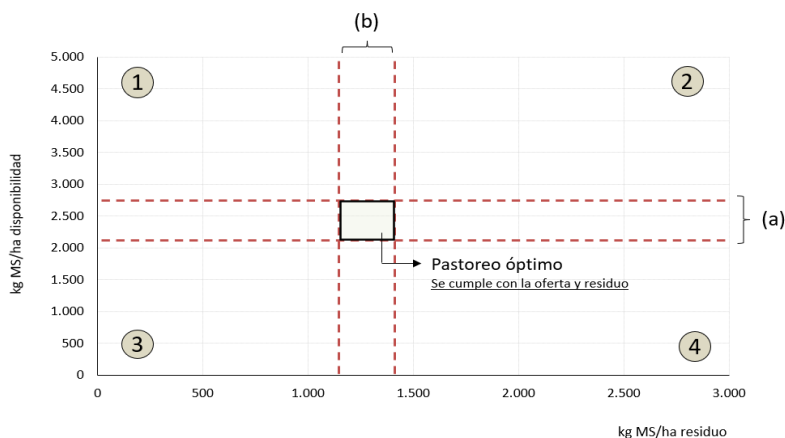


Figura 9.29. Dinámica conceptual de un evento de pastoreo en función del cumplimiento de criterios de pastoreo.

(1) sobre oferta y sobre pastoreo, (2) sobre oferta y sub pastoreo, (3) sub oferta y sobre pastoreo, (4) sub oferta y sub pastoreo.

a) rango de oferta óptima, (b) rango de residuo óptimo

Del análisis del gráfico de cuadrante (Figura 9.29) se define que la máxima eficiencia de utilización de un pastizal en un evento de pastoreo se logra cuando se cumple con el criterio de ingreso (disponibilidad) y salida (residuo) de pastoreo lo que conlleva a el desarrollo de un pastoreo óptimo.

Un evento de pastoreo realizado con una sobre oferta de forraje (Cuadrante 2 de la Figura 9.29) implica que los animales consumen un material con un alto nivel de fibra, baja proteína cruda y baja energía metabolizable. Por otra parte, si el evento de pastoreo se hace con una alta oferta de forraje, esto conduce a un sub-pastoreo por parte de los animales (Cuadrante 4 de la Figura 9.29), provocando la acumulación de material muerto que incide en el correcto rebrote del pastizal.

La empresa Watt´s S.A., a través de su Plan Lechero, ha logrado construir una base de datos que bordea las 30.000 mediciones de disponibilidad y residuos de pastoreo, realizadas en un periodo de 15 años en un grupo importante de productores de la zona sur de Chile. Cada evaluación corresponde a un evento de consumo efectuado por los animales, donde las variables de disponibilidad y residuo (kg MS/ha), fueron medidas a través de un método indirecto de estimación de materia seca (*rising plate meter*) utilizando las ecuaciones de calibración correspondiente a cada época del año (Tabla 9.3).

Los criterios de uso de las praderas y pasturas se definieron de acuerdo con los resultados de investigaciones realizadas en la zona templada, resultados de productores de leche y experiencia del equipo técnico. Los rangos de ingreso y salida de pastoreo se definieron en base a pastoreos infrecuentes e intensos, condiciones climáticas de cada época del año, manejo de pastoreo rotativo y uso de cercos eléctricos. Estos criterios son amplios y flexibles y tienen como objetivo lograr frecuencias de uso apropiadas para cada estación del año y alcanzar la máxima eficiencia y calidad nutricional del forraje consumido (Tabla 9.6).

Tabla 9.6. Criterios de ingreso y salida de pastoreo.

Estaciones	Disponibilidad (ingreso)		Residuo (salida)	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
Verano	2.800	2.400	1.800	1.400
Otoño	2.600	2.200	1.600	1.200
Invierno	2.200	1.800	1.200	1.000
Primavera	3.000	2.200	1.600	1.300

En los 15 años de mediciones mensuales realizadas al área de pastoreo lechero de cada productor, se obtuvo como resultado general del sistema que en cada época del año hubo un porcentaje de eventos de pastoreo óptimos que en verano fue de 19,0%, otoño 13,3%, invierno 3,9% y primavera 23,1% (Figura 9.30). Estos resultados demuestran que en el periodo de déficit de forraje el respeto a los criterios óptimos de pastoreo no se logran y constituye el principal desafío de los predios lecheros pastoriles de la zona templada.

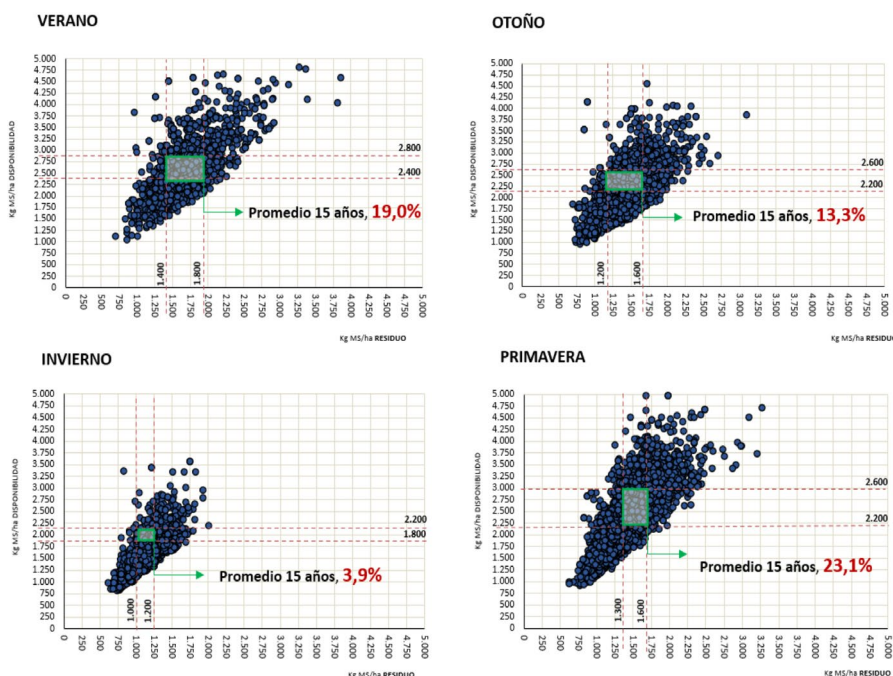


Figura 9.30. Calidad de los eventos de pastoreo. Periodo 2005 – 2019. Plan Lechero Watt´s.

En todas las estaciones del año el porcentaje de eventos óptimos es inferior a 25%, valor muy bajo y que es de mayor incidencia en primavera dado que en esta época se produce más del 50% del forraje anual. La dispersión de los puntos observados en la Figura 9.30 son el resultado de diversos factores que están influyendo en forma directa en la calidad del pastoreo, entre los cuales se encuentran la capacitación del personal que ejecuta la labor de pastoreo, la baja productividad de las praderas y pasturas producto de limitantes nutricionales del suelo y elección de especies, todo lo cual se ve afectado, además, por la carencia y deficiencias en el diseño de los predios para el pastoreo. En el programa de manejo que se desarrolla durante quince años ha existido una evolución positiva, donde los eventos óptimos de pastoreo han aumentado en cada estación del año en distinto nivel (Figura 9.31).

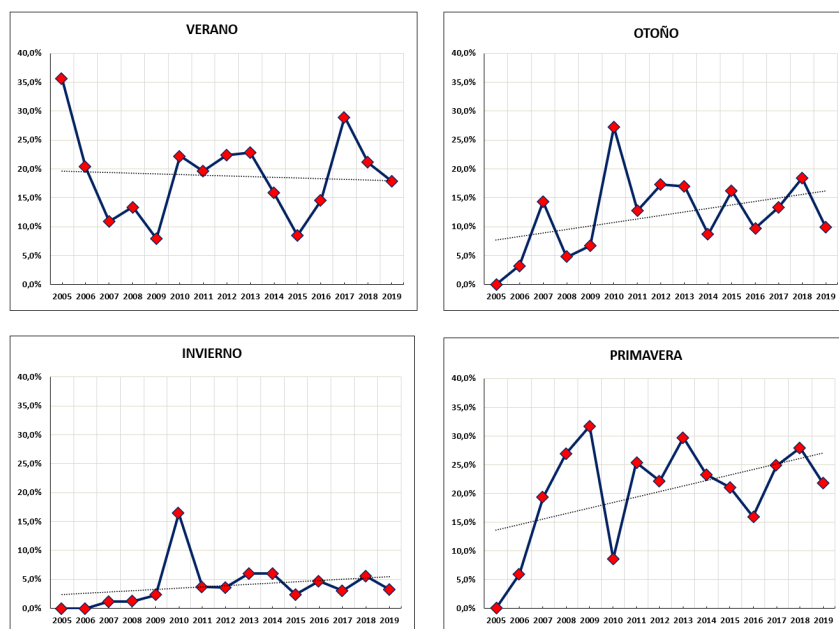


Figura 9.31. Evolución del porcentaje de pastoreo óptimos en un periodo de 15 años. 2005 – 2019. Plan Lechero Watt's.

Uno de los efectos más importantes en la capacitación del personal lechero en pastoreo es el incremento sostenido del consumo anual de materia seca proveniente de la pastura (Figura 9.32). El mejoramiento del consumo aparente fue posible gracias al trabajo colaborativo entre los productores y la empresa que permitió la capacitación permanente de alrededor de 120 operadores de pastoreo al año. Junto a la capacitación los productores comprendieron la importancia de medir y utilizar la información generada en el predio cuyo principal objetivo era el mejoramiento de la eficiencia.

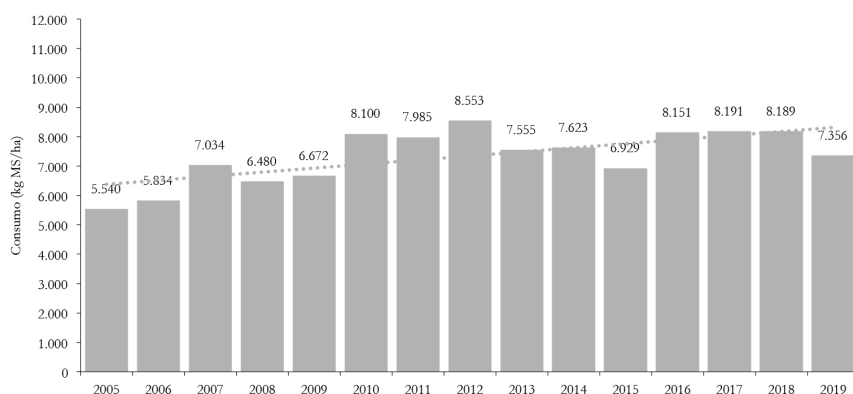


Figura 9.32. Evolución del consumo aparente de materia seca por hectarea de praderas y pasturas utilizadas en pastoreo de lechería. Plan Lechero Watt's. Período 2005 – 2019.

Bibliografía

- Allen, M.S., 2000. Effects of diet on short-term regulation of feed intake by lactating dairy cattle. *Journal of dairy science*, 83: 1598–1624.
- Arsenault, N.; Tyedmers, P. & Fredeen, A., 2009. Comparing the environmental impacts of pasture-based and confinement-based dairy systems in Nova Scotia using life cycle assessment. *International Journal of agricultural sustainability*, 7: 19–41.
- Asner, P.G.; Elmore, A.J. & Olander, L.P., Martin, R.E. & Harris, A.T., 2004. Grazing systems, ecosystem responses, and global change. *Annual review environment resource*, 29:261–99
- Azocar, C.P.; D’Herbes, J.M. & Díaz, S.J., 1987. Estudio de sistemas de pastoreo con caprinos para el secano árido de la IV Región de Coquimbo. I. Dietas e índices de aceptabilidad relativa de arbustos. *Avances en Producción Animal*, 12(1-2): 35 – 47.
- Balocchi, L.O. & López, F.L., 2009. Herbage production, nutritive value and grazing preference of diploid and tetraploid perennial ryegrass cultivars (*Lolium perenne* L.). *Chilean Journal of agriculture research*, 69(3):331-339.
- Bargo, F.; Muller, L.D.; Delahoy, J.E. & Cassidy, T.W., 2002. Performance of high producing dairy cows with three different feeding systems combining pasture and total mixed rations. *Journal of dairy science*, 85: 2948–2963.
- Bargo, F.; Muller, L.D.; Kolver, E.S. & Delahoy, J.E., 2003. Invited Review: Production and digestion of supplemented dairy cows on pasture. *Journal of dairy science*, 86: 1-42.
- Baudracco, J., Lopez-Villalobos, N.; Holmes, C.W. & MacDonald, K.A., 2010 Effects of stocking rate, supplementation, genotype and their interactions on grazing dairy systems: a review. *New Zealand journal of agricultural research*, 53: 109–133.
- Belanger, G.; McQueen, R.E., 1998. Analysis of the nutritive value of Timothy grown with varying N nutrition. *Grass and forage science*, 53: 109–119.
- Beltrán, S., Hernández, A., García, E., Pérez, J., Kohashi, J., Herrera, J., Quero, A & Gonzales, S., 2005 Effect of cutting height and frequency on growth and yield of buffel grass (*Cenchrus ciliaris* L.) in greenhouse. *Agrociencia*, 2: 137 - 147.
- Beltrán, S., Hernández, A., García, E., Pérez, J., Kohashi, J., Herrera, J., Quero, A & Gonzales, S. 2005 Effect of cutting height and frequency on growth and yield of buffel grass (*cenchrus ciliaris* L.) in greenhouse. *Agrociencia* 2: 137-147.
- Bendall, J.G., 2001. Aroma compounds of fresh milk from New Zealand cows fed different diets. *Journal of agricultural and food chemistry*, 49: 4825–4832.
- Bryant, R.H.; Dalley, D.E.; Gibbs, J. & Edwards, G. R., 2013. Effect of grazing management on herbage protein concentration, milk production and nitrogen excretion of dairy cows in mid-lactation. *Grass and forage science*, 69: 644–654.
- Bryant, R.H.; Gregorin, I. P. & Edwards, G.R., 2012. Effects of N fertilisation, leaf appearance and time of day on N fractionation and chemical composition of *Lolium perenne* cultivars in spring. *Animal feed science and technology*, 173: 210–219.
- Canales, C.C., 2007. Efecto de la frecuencia e intensidad del pastoreo primaveral en la producción, calidad y perennidad de una pastura permanente. Tesis presentada para optar al título de Ingeniero Agrónomo en la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de La Frontera. Temuco, Chile. 59p.
- Canseco, C., Abarzua, A., Parga, J., Teuber, N., Balocchi, O., Lopetegui, J., Anwandter, V., Demanet, R., 2007. Calidad nutritiva de las praderas. En: Teuber, K.N.; Balocchi, L.O. & Parga, M., J. (eds) Manejo del pastoreo. Fundación para la Innovación Agraria. Imprenta América. Osorno, Chile. pp: 51 – 68.
- Canseco, C.; Demanet, R.; Balocchi, O.; Parga, J.; Anwandter, V.; Abarzúa, A.; Teuber, N. & Lopetegui, J., 2007. Determinación de la disponibilidad de materia seca de praderas en pastoreo. En: Teuber, K.N; Balocchi, L.O. & Parga, M.J. (eds). Manejo del pastoreo. FIA. Imprenta América, Osorno, Chile. pp: 23-50.
- Cao, J.; Holden, N.M.; Lü, X.T. & Du, G., 2011. The effect of grazing management on plant species richness on the Qinghai-Tibetan Plateau. *Grass and Forage Science*, 66: 333–336.
- Capper, J.L. & Bauman, D.E., 2013. The role of productivity in improving the environmental sustainability of ruminant production systems. *Annual Review of Animal Biosciences*, 1:469–489.
- Cazzuli, F.; Silveira, C. & Montossi, F., 2016. Pastoreo horario para cría invernal de bovinos En La Región de Basalto. Serie Técnica N° 225. Editado por la Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología del INIA Andes 1365, Piso 12. Montevideo – Uruguay.
- Chapinal, N.; Goldhawk, C.; de Passillé, A.M.; von Keyserlingk, M.A.G.; Weary, D.M. & Rushen, J., 2010. Overnight access to pasture does not reduce milk production or feed intake in dairy cattle. *Livestock Science*, 129: 104–110.
- Chapman, D.F.; Kenny, S.N.; Beca, D. & Johnson, I.R., 2008. Pasture and forage systems for non-irrigated dairy farms in southern Australia. 1. Physical production and economic performance. *Agricultural Systems*, 97: 108–125.
- Chilibroste, P.; Soca, P.; Mattiauda, D.A.; Bentancur, O. & Robinson, P.H., 2007. Short term fasting as a tool to design effective grazing strategies for lactating dairy cattle: a review. *Australian Journal Experimental Agriculture*, 47: 1075-1084.
- Christensen, L.; Coughenour, M.B.; Ellis, J.E. & Chen, Z.Z., 2003. Sustainability of Inner Mongolian grasslands: application of the Savanna Model. *Journal of range management*, 56: 319–327.
- Clark, D.A.; Caradus, J.R.; Monaghan, R.M.; Sharp, P. & Thorrold, B.S., 2007. Issues and options for future dairy farming in New Zealand. *New Zealand journal of agricultural research*, 50: 203–221.
- Clarkson, M.J.; Dowham, D.Y.; Faull, W.B.; Hughes, J.W.; Mason, F.J.; Merrit, J.B.; Murray, R.D.; Russell, W.B.; Sutherst, J.E. & Ward, W.R., 1996. Incidence and prevalence of lameness in dairy cattle. *Veterinary record*, 138: 563–567.
- Costa, J.H.; Hotzel, M.J.; Longo, C. & Balcao, L.F., 2013. A survey of management practices that influence production and welfare of dairy cattle on family farms in southern Brazil. *Journal of dairy science*, 96: 307–317.
- Couvreux, S.; Hurtaud, C.; Lopez, C.; Delaby, L. & Peyraud, J.L., 2006. The linear relationship between the proportion of fresh grass in the cow diet, milk fatty acid composition, and butter properties. *Journal of dairy science*, 89: 1956–1969.
- Cros, M.J.; Duru, M.; García, F. & Martin-Clouaire, R. 2004. Simulating management strategies: the rotational grazing example. *Agricultural*

systems, 80: 23–42.

Crush, J.R.; Woodward, S.L.; Efrems, J.P.J. & MacDonald, K.A., 2006. Growth and milksolids production in pastures of older and more recent ryegrass and white clover cultivars under dairy grazing. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 49: 119–135.

Demagnet, F.R., 2015. Cambio del paisaje cultural desde el bosque a la pastura permanente en la zona templada de Chile. Tesis Doctoral. Departamento de Ingeniería Forestal, Escuela Técnica de Ingeniería Agronómica y de Montes. Universidad de Córdoba. Córdoba, España. 245 p.

Demagnet, F.R., 2019. Manual de especies forrajeras. Plan lechero Watt's. Corporación de fomento. Universidad de La Frontera. Impresores SPA. Concepción, Chile. 266p.

Dewhurst, R.J.; Shingfield, K.J.; Lee, M.R.F. & Scollan, N.D., 2006. Increasing the concentrations of beneficial polyunsaturated fatty acids in milk produced by dairy cows in high-forage systems. *Animal feed science and technology*, 131: 168–206.

Dillon, P.; Crosse, S.; Stakelum, G. & Flynn, F., 1995. The effect of calving date and stocking rate on the performance of spring-calving dairy cows. *Grass Forage Science*, 50, 286–299.

Dixon, R.M. & Stockdale, C.R., 1999. Associative effects between forages and grains: consequences for feed utilization. *Australian journal of agricultural research*, 50: 757–773.

Donaghy D., & Fulkerson, W. 2002. The impact of defoliation frequency and nitrogen fertilizer application in spring on summer survival of perennial ryegrass under grazing in subtropical Australia. *Grass and Forage Science* 57: 351–359.

Donaghy, D. & Fulkerson, W. 1998. Priority of allocation of water soluble carbohydrate reserves during regrowth of *Lolium perenne*. *Grass and Forage Science* 53: 211–218.

Donaghy, D., Scott, J. & Fulkerson, W. 1997. Effect of defoliation frequency and summer irrigation on survival of perennial (*Lolium perenne*) and biennial (*Lolium multiflorum*) ryegrass in the subtropics. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 37: 537–545.

Donaghy, D.J. & Fulkerson, W.J., 1997. The importance of water soluble carbohydrate reserves on regrowth and root growth of *Lolium perenne* L. *Grass and forage science*, 52: 401–407.

Donaghy, D.J.; Turner, L.R. & Adamczewski, K.A., 2008. Effect of defoliation management on water-soluble carbohydrate energy reserves, dry matter yields, and herbage quality of tall fescue. *Agronomy journal*, 100: 122–127.

Doole, G.J., 2014. Economic feasibility of supplementary feeding on dairy farms in the Waikato region of New Zealand. *New Zealand journal of agricultural research*, 57: 90–99.

Duru, M., 2003. Effect of nitrogen fertilizer rates and defoliation regimes on the vertical structure and composition (crude protein content and digestibility) of a grass sward. *Journal of the science of food and agriculture*, 83: 1469–1479.

Edwards, G.R.; Parsons, A.J.; Rasmussen, S. & Bryant, R.H., 2007. High sugar ryegrasses for livestock systems in New Zealand. *proceedings of the New Zealand Grassland Association*, 69: 161–171.

Espinoza, G., R., 2007. Efecto de la frecuencia e intensidad del pastoreo invernal en la producción y perennidad de una pastura permanente. Tesis presentada para optar al título de Ingeniero Agrónomo en la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de La Frontera. Temuco, Chile. 68p.

Fernández, C., T., 2007. Efecto de la frecuencia e intensidad del pastoreo invernal en el rendimiento y calidad de una pastura permanente. Tesis presentada para optar al título de Ingeniero Agrónomo en la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de La Frontera. Temuco, Chile. 59p.

Finneran, E.; Crosson, P.; Wallace, M.; O'Kiely, P.; Forristal, D. & Shalloo, L., 2010. Simulation modelling of the cost of producing and utilising feeds for ruminants on Irish farms. *Journal of farm management*, 14: 95–116.

Fitzgerald, J.B.; Brereton, A.J. & Holden, N.M., 2005. Assessment of regional variation in climate on the management of dairy cow systems in Ireland using a simulation model. *Grass and forage science*, 60: 283–296.

Fulkerson, W. & Slack, K. 1994. Leaf number as a criterion for determining defoliation time for *Lolium perenne*. 1. Effect of water soluble carbohydrates and senescence. *Grass and Forage Science* 49: 373–377.

Fulkerson, W. & Donaghy, D. 2001. Plant-soluble carbohydrate reserves and senescence-key criteria for developing an effective grazing management system for ryegrass-based pastures: a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 41: 261–275.

Fulkerson, W. & Slack, K. 1995. Leaf number as a criterion for determining defoliation time for *Lolium perenne*: 2. Effect of defoliation frequency and height. *Grass and Forage Science* 50: 16–20.

Fulkerson, W.J. & Donaghy, D.J., 2001. Plant-soluble carbohydrate reserves and senescence – key criteria for developing an effective grazing management system for ryegrass-based pastures: a review. *Australian journal of experimental agriculture*, 41: 261–275.

Fulkerson, W.J. & Slack, K., 1994. Leaf number as a criterion for determining defoliation time for *Lolium perenne*. 1. Effect of water soluble carbohydrates and senescence. *Grass and forage science*, 49: 373–377.

Fulkerson, W.J. & Slack, K., 1995. Leaf number as a criterion for determining defoliation time for *Lolium perenne*: 2. Effect of defoliation frequency and height. *Grass and forage science*, 50: 16–20.

Gibb, M.J.; Huckle, C.A. & Nuthall, R., 2002. Effect of level of concentrates supplementation on grazing behaviour and performance by lactating dairy cows grazing continuously stocked grass swards. *Animal science*, 74: 319–335.

Goic, M., L., 2005. Manejo de pastoreo en praderas perennes. En: Catrileo, S.A. (ed.). Producción y manejo de carne bovina en Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Ministerio de Agricultura. Colección de libros INIA N° 16. Imprenta Austral. Temuco, Chile. pp: 95–113.

Gozho, G.N. & Mutsaers, T., 2008. Influence of carbohydrate source on ruminal fermentation characteristics, performance, and microbial protein synthesis in dairy cows. *Journal of dairy science*, 91: 2726–2735.

Green, L.E.; Hedges, V.J.; Schukken, Y.H.; Blowey, R.W. & Packington, A.J., 2002. The impact of clinical lameness on the milk yield of dairy cows. *Journal of dairy science*, 85: 2250–2256.

- Griffiths, W., Hodgson, J. & G. Arnold, C. 2003. The influence of sward canopy structure on foraging decisions by grazing cattle. I. Patch selection. *Grass and Forage Science*, 58: 112–124.
- Griffiths, W., Hodgson, J. & G. Arnold, C. 2003. The influence of sward canopy structure on foraging decisions by grazing cattle. I. Patch selection. *Grass and Forage Science*, 58: 112–124.
- Groves, N., D., 2007. Efecto de la frecuencia e intensidad del pastoreo de otoño en la producción y calidad de una pastura permanente. Tesis presentada para optar al título de Ingeniero Agrónomo en la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de La Frontera. Temuco, Chile. 78p.
- Hannaway, D. 2005. Grass Growth and Regrowth for Improved Management. Department of Crop & Soil Science Oregon State University. 4 p.
- Hodgson, J., 1979. Nomenclature and definition in grazing studies. *Grass and Forage Science*. 34:11-18.
- Hoekstra, N.J.; Schulte, R.P.O.; Struik, P.C. & Lantinga, E.A., 2007. Pathways to improving the N efficiency of grazing bovines. *European journal of agronomy*, 26: 363–374.
- Hopkins, A.; Gilbey, J.; Dibb, C.; Bowling, P.J. & Murray, P.J., 1990. Response of permanent and reseeded grassland to fertilizer nitrogen. 1. Herbage production and herbage quality. *Grass and forage science*, 45: 43–55.
- Horan, B.; Dillon, P.; Faverdin, P.; Delaby, L.; Buckley, F. & Rath, M., 2005. The interaction of strain of Holstein-Friesian cows and pasture-based feed systems on milk yield, body weight, and body condition score. *Journal of dairy science*, 88: 1231–1243.
- Huzzey, J.M.; Veira, D.M.; Weary, D.M. & von Keyserlingk, M.A.G., 2007. Parturition behavior and dry matter intake identify dairy cows at risk for metritis. *Journal of dairy science*, 90: 3220–3230.
- Kavanová, M.; Lattanzi, F.A. & Schnyder, H., 2008. Nitrogen deficiency inhibits leaf blade growth in *Lolium perenne* by increasing cell cycle duration and decreasing mitotic and post-mitotic growth rates. *Plant, cell & environment*, 31: 727–737.
- Kennedy, E.; O'Donovan, M.; Delaby, L. & O'Mara, F.P., 2008. Effect of herbage allowance and concentrate supplementation on dry matter intake, milk production and energy balance of early lactating dairy cows. *Livestock Science*, 117: 275–286.
- Kolver, E.S. & Muller, L.D., 1998. Performance and nutrient intake of high producing Holstein cows consuming pasture or a total mixed ration. *Journal of dairy science*, 81: 1403–1411.
- Korte, C.J.; Watkin, B.R. & Harris, W., 1984. Effect of the timing and intensity of spring grazings on reproductive development tillering and herbage production of perennial ryegrass dominant pasture. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 27: 135–149.
- Legrand, A.L.; von Keyserlingk, M.A.G. & Weary, D.M., 2009. Preference and usage of pasture versus free-stall housing by lactating dairy cattle. *Journal of dairy science*, 92: 3651–3658.
- Liang Y.; Han G.D.; Zhou H.; Zhao M.L.; Snyman H.A.; Shan D. & Havstad K.A., 2009. Grazing intensity on vegetation dynamics of a typical steppe in Northeast Inner Mongolia. *Rangeland ecology and management*, 62: 328–336.
- Logue, D.N.; Offer, J.E. & Kempson, S.A., 1993. Lameness in dairy cattle. *Irish Veterinary Journal*, 46: 47–58.
- MacDonald, K.A.; Beca, D.; Penno, J.W.; Lancaster, J.A.S. & Roche, J.R., 2011. Short communication: effect of stocking rate on the economics of pasture based dairy farms. *Journal of dairy science*, 94: 2581–2586.
- MacDonald, K.A.; Penno, J.W.; Lancaster, J.A.S. & Roche, J.R., 2008. Effect of stocking rate on pasture production, milk production, and reproduction of dairy cows in pasture-based systems. *Journal of dairy science*, 91: 2151–2163.
- Manske, L. 2004. Effects of Grazing Management Treatments on Rangeland Vegetation. Dickinson Research Extension Center. *Range Science Report DREC 00-1028*. Dickinson, ND. 12p
- Manske, L., 2005. General Description of Grass Growth and Development and Defoliation Resistance Mechanisms. Dickinson Research Extension Center. Range Management Report DREC 98-1022. Dickinson, North Dakota. 12p
- Martin, B.; Hurtaud, C.; Graulet, B.; Ferlay, A.; Chilliard, Y. & Coulon, J.B., 2009. Grass and the nutritional and organoleptic qualities of dairy products. *Fourrages*, 199: 291–310.
- Mattiauda, D.A.; Tamminga, S.; Gibb, M.J.; Soca, P.; Bentancur, O. & Chilibroste, P., 2013. Restricting access time at pasture and time of grazing allocation for Holstein dairy cows: ingestive behaviour, dry matter intake and milk production. *Livestock Science*, 152: 53–62.
- Mc Meekan, C.P. & Walshe, M.J., 1963. The inter relationships of grazing method and stocking rate in the efficiency of pasture utilization by dairy cattle. *Journal Agriculture Science Cambridge*. 61: 147–166.
- McEvoy, M.; O'Donovan, M.; Kennedy, E.; Murphy, J.P.; Delaby, L. & Boland, T.M., 2009. Effect of pregrazing herbage mass and pasture allowance on the lactation performance of Holstein-Friesian dairy cows. *Journal of dairy science*, 92: 414–422.
- McKenzie, F.R., 1998. Influence of applied nitrogen on vegetative, reproductive, and aerial tiller densities in *Lolium perenne* L. during the establishment year. *Australian journal of agricultural research*, 49: 707–712.
- McKenzie, F.R.; Jacobs, J.L. & Kearney, G., 2006. Effects of spring grazing on dryland perennial ryegrass/White clover dairy pastures. 2. Botanical composition, tiller, and plant densities. *Australian Journal of Agricultural Research*, 57: 555–563.
- Miller, L.A.; Moorby, J.M.; Davies, D.R.; Humphreys, M.O.; Scollan, N.D.; MacRae, J.C. & Theodorou, M.K., 2001. Increased concentration of water-soluble carbohydrate in perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.): milk production from late-lactation dairy cows. *Grass and forage science*, 56: 383–394.
- Morán, J.B.; Drysdale, G.R.; Sharnbrook, D.A. & Markham, N.K., 2000. A study of key profit drivers in the Victorian dairy industry. *Asian-Australian journal of animal science*, 13: 54–57.
- Morley, F.H.W., 1978. Animal production studies. En: L't Mannerje. Measurement of Grassland Vegetación and Animal Production. Commonwealth Agricultural Bureaux. Bull. 52. Hurley, Berkshire, Inglaterra. pp. 103–162.
- Muslera, P.E. & Ratera, G.C., 1991. Praderas y forrajes. Producción y aprovechamiento. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 673p.
- Neal, M.; Neal, J. & Fulkerson, W.J., 2007. Optimal choice of dairy forages in Eastern Australia. *Journal of dairy science*, 90: 3044–3059.

- Nordlund, K.V.; Cook, N.B. & Oetzel, G.R., 2004. Investigation strategies for laminitis problems herds. *Journal of dairy science*, 87: E27–E35.
- Nowakowski, T.Z. & Byers, M., 1972. Effects of nitrogen and potassium fertilisers on contents of carbohydrates and free amino acids in Italian ryegrass. II. Changes in the composition of the non-protein nitrogen fraction and the distribution of individual amino acids. *Journal of the science of food and agriculture*, 23: 1313–1333.
- O'Kiely, P.; Moloney, A.P.; Killen, L. & Shannon, A., 1997. A computer program to calculate the cost of providing ruminants with home-produced feedstuffs. *Computers and electronics in agriculture*, 19: 23–36.
- Owens, D.; McGee, M. & Boland, T., 2008. Effect of grass regrowth interval on intake, rumen digestion and nutrient flow to the omasum in beef cattle. *Animal feed science and technology*, 146: 21–41.
- Parga, J. 2005. Utilización de praderas y manejo de pastoreo con vacas lecheras. Instituto de Investigación Agropecuarias - Centro regional de Investigación Remehue. Serie acta N°24. Osorno, Chile. 25p.
- Parga, J. 2005. Utilización de praderas y manejo de pastoreo con vacas lecheras. Instituto de Investigación Agropecuarias - Centro regional de Investigación Remehue. Serie acta N°24.
- Patterson, D.M.; McGilloway, D.A.; Cushnahan, A.; Mayne, C.S. & Laidlaw, A.S., 1998. Effect of duration of fasting period on short-term intake rates of lactating dairy cows. *Animal science*, 66: 299–305.
- Patton, B.D.; Dong, X.J.; Nyren, P.E. & Nyren, A., 2007. Effects of grazing intensity, precipitation, and temperature on forage production. *Rangeland ecology and management*, 60: 656–665.
- Pearse, P.J. & Wilman, D., 1984. Effects of applied nitrogen on grass leaf initiation, development and death in field swards. *The journal of agricultural science*, 103: 405–413. d
- Pérez-Prieto, L.A.; Peyraud, J.L. & Delagarde, R., 2011. Pasture intake, milk production and grazing behaviour of dairy cows grazing low-mass pastures at three daily allowances in winter. *Livestock science*, 137: 151–160.
- Peyraud, J.L., Comeron, E.A., Wade, M. & Lemaire G. 1999. The effect of daily herbage allowance, herbage mass and animal factors upon herbage intake by grazing dairy cows. *Annales de Zootechnie* 45: 201–217.
- Peyraud, J.L., Comeron, E.A., Wade, M. & Lemaire G., 1999. The effect of daily herbage allowance, herbage mass and animal factors upon herbage intake by grazing dairy cows. *Annales de Zootechnie* 45: 201–217.
- Poff, J.A.; Balocchi, L.O. & López, I.F., 2011. Sward and tiller growth dynamics of *Lolium perenne* L. as affected by defoliation frequency during autumn. *Crop & pasture science*, 62: 346–354.
- Pulido, R.G. & Leaver, J.D., 2001. Quantifying the influence of sward height, concentrate level, and initial milk yield on the milk production and grazing behaviour of continuously stocked dairy cows. *Grass and Forage Science*, 56: 57–67.
- Pulido, R.G. & Leaver, J.D., 2003. Continuous and rotational grazing of dairy cows – the interactions of grazing system with level of milk yield, sward height and concentrate level. *Grass and forage science*, 58: 265–275.
- Reyes, R., A., 2006. Efecto de la frecuencia e intensidad del pastoreo primaveral en el rendimiento y calidad de una pastura permanente. Tesis presentada para optar al título de Ingeniero Agrónomo en la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de La Frontera. Temuco, Chile. 101p.
- Riquelme, C. & Pulido, R.G., 2008. Effect of the level of concentrate supplementation on the voluntary intake and feeding behaviour of dairy cows on spring grazing. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 40: 243–249.
- Romera, A.J. & Doole G.J., 2015. Optimising the interrelationship between intake per cow and intake per ha. *Animal production science*, 55(3): 384–396.
- Sairanen, A.; Khalili, H. & Virkajärvi, P., 2006. Concentrate supplementation responses of the pasture-fed dairy cow. *Livestock Science*, 104: 292–302.
- Saroff, C., Pagliaricci, H & Ferreira V. 2003. Defoliation effect on growth dynamics of triticale. *Agricultura técnica* (Chile). 63(3): 266 – 276.
- Saroff, C., Pagliaricci, H & Ferreira V. 2003. Defoliation effect on growth dynamics of triticale. *Agricultura Técnica* (Chile). 63(3): 266–276.
- Schils, R.L., 1997. Effect of a spring application of nitrogen on the performance of perennial ryegrass-white clover swards at two sites in the Netherlands. *Netherlands journal of agricultural science*, 45: 263–275.
- Schöbitz, J.; Ruiz-Albarrán, M.; Balocchi, L.O.; Wittwer, F. Noro, M. & Pulido, R.G., 2013. Effect of increasing pasture allowance and concentrate supplementation on animal performance and microbial protein synthesis in dairy cows. *Archivos de medicina veterinaria*, 45: 247–258.
- Schönbach P.; Wan, H.; Gierus, M.; Bai, Y., Müller, K., Lin, L.; Susenbeth, A. & Taube, F., 2011. Grassland responses to grazing: effects of grazing intensity and management system in an Inner Mongolian steppe ecosystem. *Plant and soil*, 340: 103–115.
- Schönbach, P.; WAN, H.; Schiborra, A.; Gierus, M.; Bai, Y.; Müller, K.; Glindemann; T.; Wang C.; Susenbeth, A. & Taube, F., 2009. Short-term management and stocking rate effects of grazing sheep on herbage quality and productivity of Inner Mongolia steppe. *Crop and pasture science*, 60: 963–974.
- Shadbolt, N.M., 2012. Competitive strategy analysis of New Zealand pastoral dairy farming systems. *International journal of agricultural management*, 1, 19–27.
- Shalloo, L.; Dillon, P.; O'Loughlin, J.; Rath, M. & Wallace, M., 2004. Comparison of a pasture-based system of milk production on a high rainfall, heavy-clay soil with that on a lower rainfall, free-draining soil. *Grass and forage science*, 59: 157–168.
- Silvertown, J.; Lines, C.E.M. & Dale, M.P., 1994. Spatial competition between grasses – rates of mutual invasion between four species and the interaction with grazing. *Journal of ecology*, 82: 31–38.
- Sinclair, K.; Fulkerson, W.J. & Morris, S.G., 2006. Influence of regrowth time on the forage quality of prairie grass, perennial ryegrass and tall fescue under non-limiting soil nutrients and moisture conditions. *Australian journal of experimental agriculture*, 46: 45–51.
- Smit, H., Tas, B., Taweel, H., Tamminga, S. & Elgersma, A., 2005. Effects of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) cultivars on herbage production, nutritional quality and herbage intake of grazing dairy cows. *Grass and Forage Science*, 60: 297 – 309.

- Smit, H.J.; Taweel, H.Z.; Tas, B.M.; Tamminga, S. & Elgersma, A., 2005. Comparison of techniques for estimating herbage intake of grazing dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 88: 1827–1836.
- Steinshamn, H.; Höglind, M.; Garmo, T.H.; Thuend, E. & Brenøed, U.T., 2006. Feed nitrogen conversion in lactating dairy cows on pasture as affected by concentrate supplementation. *Animal feed science and technology*, 131: 25–41.
- Stockdale, C.R., 2000. Levels of pasture substitution when concentrates are feed to grazing dairy cows in northern Victoria. *Australian journal experimental agriculture*, 40: 913–921.
- Stockdale, C.R.; Waler, G.P.; Wales, W.J.; Dalley, D.E.; Birkett, A.; Shen, Z. & Doyle, P.T., 2003 Influence of pasture and concentrates in the diet of grazing dairy cows on the fatty acid composition of milk. *Journal of Dairy Research*, 70: 267–276.
- Tamminga, S., 1992. Nutrition management of dairy cows as a contribution of pollution control. *Journal of dairy science*, 75: 345–357.
- Thornton, P.K., 2010. Livestock production: recent trends, future prospects. *Philos. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B, Biological Sciences*, 365: 2853–2867.
- Turner, L.R.; Donaghy, D.J.; Lane, P.A. & Rawnsley, R.P. 2006. Effect of defoliation management, based on leaf stage, on perennial ryegrass (*Lolium perenne*), prairie grass (*Bromus willdenowii*) and cocksfoot (*Dactylis glomerata*) under dryland conditions. 2. Nutritive value. *Grass and forage science*, 61: 175–181.
- Turner, L.R.; Donaghy, D.J.; Lane, P.A. & Rawnsley, R.P., 2006. Effect of defoliation management, based on leaf stage, on perennial ryegrass (*Lolium perenne*), prairie grass (*Bromus willdenowii*) and cocksfoot (*Dactylis glomerata*) under dryland conditions. 1. Regrowth, tillering and water soluble carbohydrate concentration. *Grass and forage science*, 61: 164–174.
- Valk H., 1994. Effect of partial replacement of herbage by maize silage on N-utilisation and milk production of dairy cows. *Livestock production science*, 40: 241–250.
- Van Vuuren, A.M.; Van Der Koelen, C.J.; Valk, H. & Devisser, H., 1993. Effects of partial replacement of ryegrass by low protein feeds on rumen fermentation and nitrogen loss by dairy cows. *Journal of dairy science*, 76, 2982–2993.
- Vérité, R. & Delaby, L., 2000. Relation between nutrition, performances and nitrogen excretion in dairy cows. *Annales de zootechnie*, 49: 217–230.
- Voisin, A. & Lecomte, A. 1968. La vaca y la hierba: Cómo obtener buenos rendimientos del ganado vacuno. Editorial Tecnos S.A. Madrid, España. 43p.
- Voisin, A., 1994. Productividad de la hierba. Segunda edición. Editorial Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. 515p.
- Wade M.H., Peyraud J.L., Lemaire G. & Cameron E.A., 1989. The dynamics of daily area and depth of grazing and herbage intake of cows in a five day paddock system. Proceedings of the 16th International Grassland Congress, Nice, France, pp: 1111 - 1112.
- Wade, M & Agnusdei, M. 2001. Morfología y estructura de las especies forrajeras y su relación con el consumo. Departamento de Producción Animal, Unidad Integrada (INTAUNMdP), Balcarce, Buenos Aires, Argentina pp: 209–310.
- Westwood, C.T.; Bramley, E. & Lean, I.J., 2003. Review of the relationship between nutrition and lameness in pasture-fed dairy cattle. *New Zealand veterinary journal*, 51: 208–218.
- White, S.L.; Sheffield, R.E.; Washburn, S.P.; King, L.D. & Green, J.T. Jr., 2001. Spatial and time distribution of dairy cattle excreta in an intensive pasture system. *Journal of environmental quality*, 30: 2180–2187.
- Woodfield, D.R., 1999. Genetic improvements in New Zealand forage cultivars. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association*, 61: 3–7.
- Zhang, T.H.; Zhao, H.L.; Li S.G. & Zhou, R.L., 2004. Grassland changes under grazing stress in Horqin Sandy grassland in Inner Mongolia, China. *New Zealand journal of agricultural research*, 47: 307–312.

Capítulo X

**Emisiones de gases de efecto invernadero y
secuestro de carbono en praderas y pasturas**

Cornelia Rumpel
Abad Chabbi

Contenido

Introducción	420
Almacenamiento de carbono y emisión de gases efecto invernadero	421
Emisión de gases efecto invernadero en pasturas de rotación	422
Emisión de gases efecto invernadero en pasturas permanentes	423
Evaluación del ciclo de vida de los sistemas de producción agrícola	425
Sistemas integrados de cultivos para el ganado y silvopastoriles	426
Conclusión	427
Bibliografía	427

Introducción

Las praderas debido a su cubierta vegetal permanente y al importante aporte que suponen de biomasa subterránea representan sistemas privilegiados de uso de la tierra para el secuestro de carbono en el suelo, como tecnología de emisión negativa (IPCC, 2018). Sin embargo, el potencial de secuestro de carbono en los suelos de las praderas puede verse afectado por prácticas de manejo con efectos contrastantes sobre el almacenamiento de carbono orgánico del suelo (SOC, de las siglas en inglés *soil organic carbon*) y las actividades microbianas que conducen a la liberación de CO₂ y otros gases de efecto invernadero (GHGs, de sus siglas en inglés *greenhouse gases*).

En los sistemas agrícolas, el manejo de los pastizales puede implicar el pastoreo con animales o el corte para producción de forraje (ensilaje, heno o henilaje) para la alimentación fuera del sitio de producción. Si bien ambos sistemas están destinados a alimentar a los rumiantes, sus efectos en los servicios ecosistémicos derivados de estos ecosistemas, en particular el secuestro de carbono, puede ser muy diferente dependiendo de las prácticas de manejo.

El manejo de los pastizales puede ser intensivo o extensivo, involucrando distintos tipos de animales, de carga animal, aportes de fertilizantes minerales o riego. A menudo, los pastizales no son permanentes y su renovación se lleva a cabo en diferentes intervalos de tiempo. La siembra de pasturas también implica la elección de especies, lo que determina a su vez otras decisiones de manejo. El uso de leguminosas, por ejemplo, puede reducir los requerimientos de fertilizantes nitrogenados y también hacer que los pastizales sean más resistentes a riesgos climáticos como la sequía (Sanaullah *et al.*, 2012).

Todas las decisiones de manejo impactan en los ciclos biogeoquímicos de los elementos y pueden conducir a la alteración drástica de los ciclos del C, N y P (Rumpel *et al.*, 2015), lo que podría resultar en pérdidas de elementos del sistema (Figura 10.1). Cuando estas pérdidas ocurren en forma gaseosa, pueden contribuir a la acumulación de GHGs en la atmósfera. Los GHGs de mayor importancia que se pueden perder de las praderas y pasturas son el CO₂ y el N₂O. En términos de potencial de GHGs, las emisiones de N₂O son 150 veces más importantes que las del CO₂; sin embargo, las cantidades del mismo liberadas a la atmósfera son mucho menores. A nivel mundial, la agricultura es responsable de casi una cuarta parte de todas las emisiones de GHGs (IPCC, 2014) siendo los sistemas de producción ganadera los principales contribuyentes. La producción de GHGs en estos sistemas ocurre durante el proceso digestivo de los rumiantes y en el manejo del estiércol. Sin embargo, la producción de forraje y el secuestro de carbono en los suelos de los pastizales pueden contrarrestar parte de estas emisiones cuando se manejan adecuadamente.

En este capítulo, se analiza el efecto de diferentes prácticas de manejo de pastizales sobre las emisiones de GHGs y el secuestro de carbono en el suelo. Se discuten las particularidades de los sistemas de cultivo y el papel de la fertilización nitrogenada y los sistemas de pastoreo. Se pondrá especial énfasis en su uso en sistemas agrícolas para mejorar el manejo sustentable a través de la introducción de sistemas de gestión de praderas y pastizales en los ciclos de cultivo como las pasturas de rotación.

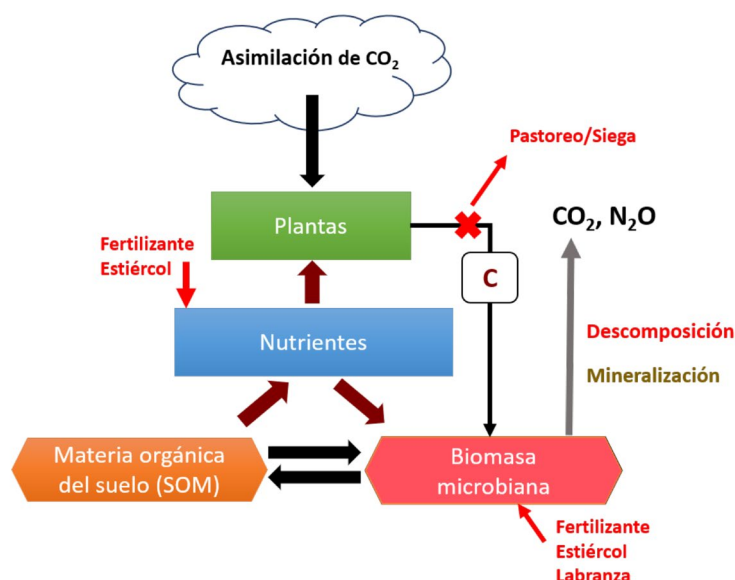


Figura 10.1. Disrupción de los ciclos biogeoquímicos que conduce a las emisiones de GHGs en praderas y pasturas.

Almacenamiento de carbono y emisión de gases efecto invernadero

Los pastizales y las tierras de cultivo son partes integrantes de la agricultura. La agricultura industrial ha permitido la separación de ambos sistemas de uso del suelo, lo que en cierta medida ha favorecido el desacoplamiento de los ciclos de los nutrientes, lo que conduce a escenarios de contaminación en términos de pérdidas de N y P y emisiones de GHGs. Así, se han emitido ~ 130-135 Gt de SOC a partir de terrenos agrícolas desde el comienzo de la agricultura (Sanderman *et al.*, 2017; Lal, 2018).

Históricamente, las pérdidas de carbono ocurrieron a través del cambio en el uso de la tierra, lo que condujo a la disminución de las superficies ocupadas por bosques y pastizales naturales. En todo el mundo, alrededor del 60% del bioma de pastizales ha sido modificado. En general, los suelos de pastizales almacenan más carbono que la tierra cultivable y presentan ciclos biogeoquímicos cerrados y pocas externalidades (Soussana y Lemaire, 2014). Sin embargo, los pastizales productivos requieren la aplicación de nitrógeno para compensar las pérdidas que ocurren durante la cosecha.

La fertilización mineral con N conduce a la desnitrificación y, en general, a pérdidas de N₂O. El N₂O es 150 veces más importante en términos de potencial de calentamiento global que el CO₂ y los controles de estas emisiones aún no se conocen bien. A pesar de ello se recomienda emplear la fertilización nitrogenada cuidadosamente y sincronizada con las necesidades de las plantas, ya que el N es necesario para almacenar el SOC, debido al estrecho acoplamiento de ambos elementos en el suelo. Se debe intentar una gestión de los pastizales que minimice las fugas de GHGs y favorezca el almacenamiento de la materia orgánica, con el fin de beneficiar el máximo ajuste entre los elementos, en particular C y N. Para hacer esto, los flujos de GHGs vinculados a estos dos elementos deben tenerse en cuenta simultáneamente. Por ejemplo, si se considera la relación C/N del suelo, se debe tener en cuenta que se requieren aproximadamente 1 tonelada de N para secuestrar 12 toneladas de C.

La fertilización nitrogenada aumenta la producción de biomasa y el aporte de carbono al suelo, lo que a su vez estimula la actividad microbiana (Figura 10.2). La producción de carbohidratos microbianos conduce a una mayor formación de agregados, lo que es beneficioso para mejorar el almacenamiento de SOC. Por otro lado, la fertilización con N mineral y el aporte de hojarasca lábil de plantas estimulan la actividad desnitrificadora y las emisiones de N₂O (Figura 10.2). La evaluación de la capacidad de secuestro de SOC de los suelos de pastizales debe tener en cuenta estas emisiones (Lugato *et al.*, 2018). Un estudio reciente sugirió que los sistemas de pastizales y cultivos podrían tener emisiones similares, cuando se consideran todos los tipos de emisiones, incluida las procedentes del ganado (Meier *et al.*, 2020).

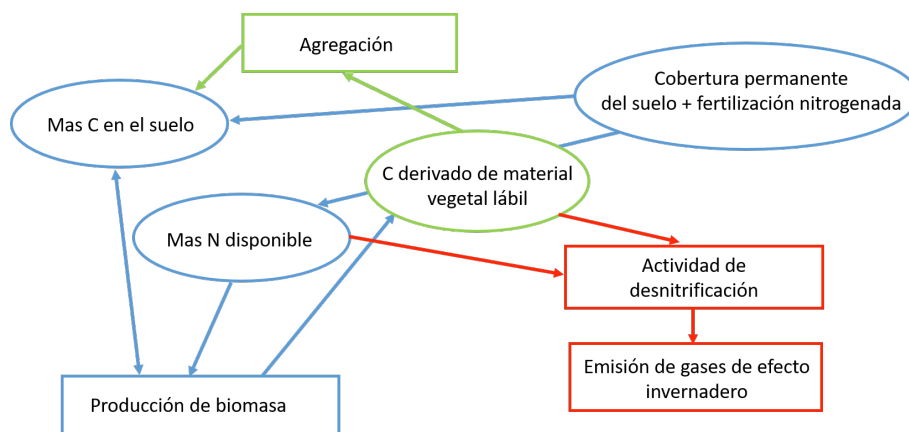


Figura 10.2. Procesos que conducen al almacenamiento de SOC y emisiones de GHGs en pastizales.

El manejo de las pasturas debería alcanzar un compromiso entre los efectos positivos y negativos de la fertilización. Esto es particularmente importante teniendo en cuenta las funciones de las pasturas de rotación en los ciclos de cultivos, que se han sugerido como una solución para aumentar las reservas de SOC y reducir las emisiones de GHGs y otras externalidades ambientales de la agricultura (Lemaire *et al.*, 2014). La siembra de pasturas temporales o de rotación corta implica que dicha superficie vuelve a ser considerada como tierra de cultivo después de varias rotaciones.

La conversión de pasturas a tierras de cultivo conduce a un aumento de las emisiones de GHGs, en particular, un poco después de su rotación. Sin embargo, las pasturas temporales también dejan un legado en términos de almacenamiento de SOC y composición de la materia orgánica, que aún se detecta después de un ciclo de cultivo (Crème *et al.*, 2018; Rumpel & Chabbi, 2010). Recientemente, se ha sugerido arar y dar vuelta al suelo (inversión total de 1-3 m del perfil del suelo) como una práctica de gestión beneficiosa para la renovación de pastizales y aumentar el almacenamiento de SOC debido al entierro de horizontes A, ricos en SOC y la exposición de horizontes B pobres en SOC en la superficie del suelo (Schiedung *et al.*, 2019).

Almacenamiento de carbono orgánico en pasturas de rotación

Aunque se han postulado los efectos positivos de la introducción de pasturas de rotación corta en el almacenamiento de SOC en suelos arables, en general, las propiedades del suelo y, en particular las reservas de carbono, disminuyen más rápidamente de lo que se regeneran (Sanderman & Baldock, 2010). Se ha demostrado que 91 años después de del abandono de las prácticas agrícolas, las praderas recuperan solo la mitad de su productividad y el 75% de su biodiversidad (Isbell *et al.*, 2019). Como la diversidad y el almacenamiento de carbono en el suelo están íntimamente relacionados (Lange *et al.*, 2015), aumentar la biodiversidad de los pastizales es probablemente la forma de mejorar su funcionamiento ecológico. Mientras que en los pastizales permanentes la biodiversidad puede ser alta, las praderas temporales en los sistemas agrícolas intensivos generalmente tienen pocas especies forrajeras.

En pasturas de alta producción, se requiere la fertilización nitrogenada para mantener la productividad del sistema y almacenar el carbono en el suelo (Crème *et al.*, 2018). El N se extrae de las pasturas durante la recolección de la biomasa aérea, que generalmente se exporta como alimento para animales entre dos y tres veces al año. Un metaanálisis reciente confirmó un aumento pequeño, pero significativo de las reservas, de carbono orgánico del suelo (0,6 ton/ha/año) a través de la fertilización con N (Conant *et al.*, 2017). Sin embargo, la aplicación de fertilizantes nitrogenados en los suelos de pasturas excede a la que se lleva a cabo en tierras de cultivo debido a la mayor exportación de biomasa, por lo que aumenta el potencial de emisión de N_2O . En las pasturas de rotación, la duración de la misma tiene un impacto en el nitrógeno mineral disponible para las plantas en la solución del suelo, que incrementó con el aumento de la edad de las praderas, por la reducción de las pérdidas por lixiviación (Kunrath *et al.*, 2015). Esto ilustra que los ciclos de elementos están cerrados en los suelos de los pastizales debido a la continua cobertura vegetal y a la alta densidad de raíces de la vegetación perenne.

La elección de las especies es un factor importante para garantizar una productividad óptima de la pastura, el almacenamiento de SOC y limitar las emisiones de GHGs. En particular, el uso de leguminosas en las pasturas puede ser una opción interesante para reducir la fertilización con nitrógeno mineral (IPCC 2013), aumentar el contenido proteico del forraje y la resiliencia al déficit hídrico (Sanaullah *et al.*, 2012). La fijación biológica de nitrógeno (BNF del inglés *biological nitrogen fixation*) mediante el uso de especies de leguminosas en pasturas de rotación pueden requerir la aplicación de fertilizantes de P mineral, ya que su falta de disponibilidad en la solución del suelo limita el crecimiento de las plantas (Barea *et al.*, 1989; Graham & Vance 2003; Azcón-Aguilar & Barea, 2015) (ver capítulo VIII para mayor información de este tema). El efecto negativo de las leguminosas sobre el fósforo del suelo puede ser atenuado cuando estas se cultivan en mezclas con especies gramíneas (Crème *et al.*, 2016), lo que también influye en la composición biogeoquímica de la materia orgánica del suelo (Crème *et al.*, 2017).

En las mezclas de gramíneas y leguminosas, se requiere la optimización de la fertilización fosforada para maximizar la entrada de nitrógeno (Mendoza *et al.*, 2016; Barea *et al.*, 2017). Si bien los beneficios de las asociaciones de leguminosas con gramíneas, como son el aumento del contenido de nitrógeno y de la digestibilidad del forraje, se conocen desde hace tiempo (de Wit *et al.*, 1966), sus aspectos beneficiosos en términos de reducción de emisiones de N_2O se han estudiado solo recientemente. La BNF mejora la nutrición nitrogenada de las gramíneas mediante la transferencia directa de nitrógeno desde las leguminosas y también a través de la liberación lenta después de la descomposición de la hojarasca de las leguminosas (Fustec *et al.*, 2010). Según Marty *et al.* (2009) la transferencia directa de nitrógeno es específica de la especie, mientras que la transferencia indirecta puede ser un fenómeno general y depende de la actividad microbiana del suelo.

La entrada de material vegetal lábil que alimenta la BNF podría estimular las emisiones de N_2O de forma similar a las fertilizaciones minerales (Figura 10.2). Sin embargo, estudios recientes han mostrado que el reemplazo de la fertilización mineral nitrogenada por BNF reduce las emisiones de N_2O mientras que se mantiene o incluso incrementa la producción de las pasturas (Fuchs *et al.*, 2018; Barneze *et al.*, 2020). Lo anterior demuestra que la inclusión de leguminosas en las pasturas puede ser muy beneficioso, especialmente en suelos pobres en nitrógeno.

Emisión de gases efecto invernadero en pasturas permanentes

Entre las pasturas permanentes manejadas en un sistema pastoril y las pasturas de rotación corta existe una diferencia esencial que es el régimen de cosecha. En las pasturas de rotación corta hay un manejo de corte con dos o tres utilizaciones en el año, en las que la biomasa cosechada se exporta, sin embargo, en las pasturas permanentes manejadas bajo un sistema pastoril hay un reciclaje de nutrientes y carbono que son devueltos al suelo, una vez digeridos por los animales, en forma de orina y estiércol.

En términos de los flujos de carbono que conducen al secuestro de carbono y las emisiones de gases de efecto invernadero, el manejo de pasturas permanentes en sistemas pastoriles puede ser más beneficioso que el manejo de corte de las pasturas de rotación (Senapati *et al.*, 2014).

En pastizales nativos bajo pastoreo hay un incremento mayor del almacenamiento de carbono orgánico en el suelo que en aquellos no pastoreados (Orgill *et al.*, 2018). Esto se puede atribuir al efecto del pastoreo en la productividad de las plantas y al mayor aporte de carbono a las raíces. Se ha sugerido que la herbivoría aumenta la exudación de las raíces y, por lo tanto, el aporte de carbono al suelo (Hamilton *et al.*, 2008), lo que conduce a una mayor actividad microbiana y mineralización de carbono (Klump *et al.*, 2009).

El aumento de la acumulación de carbono por la herbivoría se puede explicar por la disminución de la mineralización de la materia orgánica del suelo debido a los cambios en la composición de las comunidades microbianas y la reducción de la presencia de hongos (Shahzad *et al.*, 2012). Para garantizar un alto almacenamiento de carbono orgánico en el suelo y la productividad del sistema, se ha sugerido la instalación de sistemas de pastoreo con cargas animales moderadas (Briske *et al.*, 2008). Sin embargo, el impacto del pastoreo depende en gran medida del contexto en que se realiza y por ello es necesario desarrollar estrategias específicas para cada región (Mcsherry & Richie, 2013).

En algunas regiones, se utiliza el riego para superar las limitaciones de agua y aumentar la producción de forraje. A pesar de la mayor entrada de C al suelo, la acumulación de SOC después del riego en las pasturas está limitada por las mayores pérdidas de C en productos animales y a la degradación de la materia orgánica particulada, que

se abandonan en los pastizales debido a las condiciones húmedas (Condrón *et al.*, 2014).

En los sistemas pastoriles los animales generalmente no están distribuidos de manera homogénea por el terreno. El pastoreo selectivo puede afectar a la producción de las praderas y pasturas y, por lo tanto, al aporte de carbono orgánico a los suelos. En particular, en los sistemas de pastoreo continuo, cuando el ganado consume pastos de gran altura, tiende a pastar repetidamente las plantas preferidas y en áreas cercanas al agua y la sombra. Tal comportamiento animal conduce a tasas de almacenamiento mucho más altas que el promedio en las áreas preferidas y al uso escaso o nulo de todos los demás espacios (Wallisdevries *et al.*, 1999; Teague *et al.*, 2011). Los pastos afectados por el pastoreo selectivo muestran un cambio en la composición botánica hacia especies forrajeras, malezas y plantas leñosas menos apetecibles. Los pastizales degradados resultantes son más vulnerables a la sequía (Teague *et al.*, 2011; 2013) y pueden mostrar mayores proporciones de terrenos desnudos además de menor productividad de biomasa aérea y subterránea. Estos procesos también afectan el almacenamiento de carbono orgánico en el suelo debido a la reducción de los aportes de carbono (Knopf, 1994; Frank *et al.*, 1998; Teague *et al.*, 2013; Park *et al.*, 2017).

Por tanto, se ha sugerido que el pastoreo rotativo es necesario para garantizar la recuperación completa del sistema de pastizales, ya que permite que las pasturas sin pastoreo se recuperen del efecto de la herbivoría (Teague *et al.*, 2013). El pastoreo rotativo se realiza con diferentes intensidades y frecuencias de uso y esta práctica depende de la carga animal y de la disponibilidad de forraje y de potreros.

Esta forma de pastoreo es beneficiosa en términos de almacenamiento de carbono en el suelo (Wang *et al.*, 2015; Teague, 2018), y muchos agricultores adoptaron al pastoreo rotativo como una forma efectiva de aumentar la rentabilidad y mejorar la salud del ecosistema (Ferguson *et al.*, 2013). Un caso extremo de manejo de pastoreo rotativo es el *mob grazing* (Figura 10.3), con densidades de ganado ultra altas mantenidas en el mismo potrero durante un tiempo limitado (menos de 24 horas).



Figura 10.3. Pastoreo con alta carga animal durante pocas horas (*mob grazing*).

Esta práctica se está volviendo muy popular entre los productores debido a los beneficios que tiene para el secuestro de carbono en el suelo y el mantenimiento de la diversidad del forraje. También se ha encontrado que es beneficiosa para controlar la colonización de plantas leñosas en los pastizales (Mésleard *et al.*, 2017). En términos de secuestro de SOC, los estudios son escasos hasta el momento, y se necesita más información para concluir sobre el efecto de este sistema en los servicios ecosistémicos del suelo.

Evaluación del ciclo de vida de los sistemas de producción agrícola

La Tabla 10.1 resume el efecto de las diversas prácticas de manejo de pastizales sobre el almacenamiento de SOC y las emisiones de GHGs. Para tener en cuenta los beneficios y las compensaciones de las praderas y pasturas en términos del balance de emisiones de GHGs, es necesario un enfoque de modelado de todo el sistema (Stewart *et al.*, 2009).

Tabla 10.1. Efecto de las prácticas de gestión sobre el almacenamiento de SOC* y las emisiones de GHGs**.

Tipo de pastizal	Prácticas de manejo	Impacto en el almacenamiento de SOC	Impacto en las emisiones de GHGs
Pradera	Fertilización mineral	+++	+++
	Uso de leguminosas	+++	-
	Renovación de pastizales	-	+
Pastura	Pastoreo continuo	+	++
	Pastoreo rotacional	+++	++
	Mob grazing	?	++
	Riego	-	+

(*) SOC: Carbono orgánico del suelo

(**) GHGs: Gases efecto invernadero

Las praderas y pasturas se utilizan en general para producir forraje para la alimentación animal en los sistemas de producción de ganadería. Por lo tanto, en términos de emisiones de gases de efecto invernadero, se debe tener en cuenta la respiración de CO_2 de los animales, la producción de CH_4 por los rumiantes y las emisiones de N_2O y CH_4 del estiércol, la orina y el excremento almacenado, así como el secuestro de carbono en el suelo (Figura 10.4).

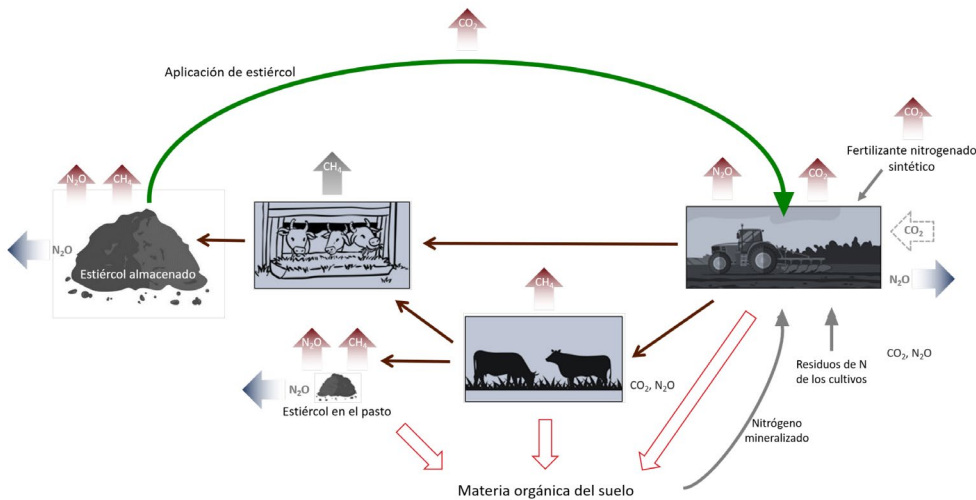


Figura 10.4. Emisiones de gases de efecto invernadero y almacenamiento de materia orgánica en el suelo a tener en cuenta en el análisis del ciclo de vida de los sistemas de producción animal (Fuente: adaptado de Beauchemin *et al.*, 2010).

Los sistemas de producción de leche y carne, en general, contribuyen en gran medida a las emisiones de gases de efecto invernadero de la agricultura debido al CH_4 entérico, que genera una huella ecológica significativa (Vermeulen *et al.* 2012). Sin embargo, los análisis generales del ciclo de vida de estos sistemas (De Vries *et al.*, 2015) no incluyen el almacenamiento de carbono y nitrógeno en forma de materia orgánica del suelo. Cuando el potencial de secuestro de carbono orgánico en el suelo se incluyó en los análisis de los ciclos de vida de los pastizales para producción de carne en el medio oeste de los Estados Unidos, se observó que la estrategia de pastoreo, incluidas las altas y bajas cargas animales, eran un sumidero global de CO_2 (Rowntree *et al.*, 2016). Por lo tanto, es necesario incluir el secuestro de carbono en el suelo como parte integral de los análisis del ciclo de vida destinados a evaluar el balance de emisiones de gases de efecto invernadero de los sistemas agrícolas.

Sistemas integrados de cultivos para el ganado y silvopastoriles

La progresiva especialización de la agricultura ha llevado a la separación de la producción agrícola y ganadera, cuya consecuencia ha sido una reducción de la diversidad y un aumento del uso de agroquímicos y externalidades ambientales de los sistemas agrícolas. Para contrarrestar estos efectos negativos, la instalación de sistemas integrados de cultivos para el ganado y silvopastoriles (Figura 10.5) puede tener grandes ventajas en términos de mejorar la diversidad a escala tanto de parcela, como de paisaje, aumentar la productividad y reducir la contaminación ambiental. Por lo tanto, se ha sugerido que estos sistemas son clave para lograr una intensificación sostenible de los sistemas de producción agrícolas (Lemaire *et al.*, 2014).



Figura 10.5. Sistema silvopastoril en la zona templada de Chile.

Estos sistemas pueden diversificar las fuentes de ingresos de los agricultores, pero requieren inversiones y habilidades adicionales. Los sistemas integrados de cultivo y ganadería tienen una ventaja sobre los sistemas de cultivo especializados, porque el estiércol animal puede devolverse al suelo como fertilizante orgánico. La fertilización orgánica puede ser más beneficiosa para el secuestro de carbono orgánico en el suelo que la fertilización mineral (Calabi Floody *et al.*, 2018). Además, la reutilización de los materiales de desecho animal contribuye a una economía circular, necesaria para la intensificación sostenible de los sistemas agrícolas. Sin embargo, el almacenamiento en el predio y la transformación del estiércol en enmiendas orgánicas pueden generar emisiones de N_2O y CH_4 , aunque estas pueden ser reducidas a través del compostaje en presencia de minerales (Barthod *et al.*, 2018).

Los sistemas silvopastoriles constituyen una interesante alternativa de mejoramiento de la productividad. En estos se mejora también el bienestar animal, a través del aumento del confort térmico, hay un aumento en la tasa de infiltración de agua en el suelo y un mejoramiento en la belleza escénica de los paisajes rurales, ya que combinan la presencia de pastizales y árboles en un solo sistema de producción ganadero.

Los sistemas silvopastoriles se instalaron en América del Norte desde principios de la década de 1950 (Nair *et al.*, 2008) y se están volviendo populares en países con una gran industria de producción ganadera como Brasil.

Está demostrado que los sistemas basados en árboles aumentan la capacidad del suelo para acumular SOC estabilizado y, por lo tanto, incrementan el secuestro de carbono (Haile *et al.*, 2008). Además, en los sistemas silvopastoriles se logra limitar efectivamente el balance neto de emisiones de gases de efecto invernadero, ya

que el mayor almacenamiento de carbono en la biomasa de madera y en los suelos contrarresta las emisiones de CH₄ entérico (Resende *et al.*, 2019). Por ello los sistemas silvopastoriles superan ampliamente a cualquier otra práctica de manejo de pastizales contrarrestando las emisiones del ganado y secuestrando carbono en el suelo. De hecho, estos sistemas secuestran de cinco a diez veces más carbono en la biomasa y el suelo (Hawken, 2017).

Conclusión

Las praderas y pasturas son sistemas que permiten aumentar el almacenamiento del carbono orgánico en el suelo. Sin embargo, ambos sistemas contribuyen a las emisiones de gases de efecto invernadero. La gestión de ambos se debe optimizar para mitigar las emisiones generadas a partir de la fermentación entérica y reducir las que se producen durante la manipulación y el almacenamiento de los desechos animales.

El potencial de emisión neta de gases de efecto invernadero de las praderas y pasturas se debe basar en el análisis del ciclo de vida, incluidos todos los componentes del sistema agrícola. En el manejo de los pastizales se requiere fertilizar con N para aumentar la producción de biomasa y el almacenamiento de carbono orgánico en el suelo, pero también puede implicar emisiones de N₂O. Dichas emisiones se pueden limitar mediante el uso de fertilizantes orgánicos y especies leguminosas.

El manejo de pasturas incluye tasas de almacenamiento y pastoreo continuo versus rotativo. Debido al comportamiento del pastoreo selectivo de la mayoría de las especies animales, el pastoreo rotativo puede ser más adecuado para mantener la producción de biomasa y el almacenamiento de carbono orgánico en el suelo. Los sistemas de elección para maximizar el secuestro de carbono orgánico en el suelo y mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero de los sistemas de producción de rumiantes son los sistemas integrados de ganadería y cultivos o los silvopastoriles. Dichos sistemas también mejoran la diversidad de los sistemas agrícolas con numerosos beneficios, incluida la estabilidad de ingresos para los productores y una mayor resistencia al cambio climático.

Bibliografía

- Azcón-Aguilar, C., Barea, J.M. 2015. Nutrient cycling in the mycorrhizosphere. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 25: 372-396.
- Barea, J.M., Azcón, R., Azcón-Aguilar, C. 1989. Time course of N₂-fixation (15N) by clover growing alone or in mixture with ryegrass to improve pasture productivity, and inoculated with vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *The New Phytologist* 112: 399- 404.
- Barea, J.M., Azcón, R., Azcón-Aguilar, C. 2017. Mycorrhizosphere interactions to improve a sustainable production of legumes. In: *Microbes for Legume Improvement* (Zaidi, A., Khan, M.S., Musarrat, J. Eds.) Springer, Cham, Suiza. 199-225 pp.
- Barneze, A.S.; Whitaker, J.; McNamara, N.P.; Ostle, N.J., 2020. Legumes increase grassland productivity with no effect on nitrous oxide emissions. *Plant and soil* 446(1-2): 163–177.
- Barthod, J.; Rumpel, C. & Dignac, M.F. 2018: Composting with additives to improve organic amendments. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 38, 17. <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0491-9>.
- Beauchemin, K.A.; Janzen, H.H.; Little, S.M.; McAllister, T.A. & McGinn, S.M., 2010. Life cycle assessment of greenhouse gas emissions from beef production in western Canada: A case study. *Agricultural Systems*, 103: 371-379.
- Briske, D.D.; Derner, J.D.; Brown, J.R.; Fuhlendorf, S.D.; Teague, W.R.; Havstad, K.M.; Gillen, R.L.; Ash, A.J. & Willms, W.D., 2008. Rotational grazing on rangelands: reconciliation of perception and experimental evidence. *Rangeland ecology & management*, 61 (1): 3–17.
- Calabi-Floody, M.; Medina, J.; Rumpel, C.; Condron, L.M.; Hernandez, M.; Dumont, M. & Mora, M.L., 2018. Smart fertilizers as a strategy for sustainable agriculture. *Advances in Agronomy*, 147: 119-157.
- Conant, R.T.; Cerri, C.E.P.; Osborne, B.B. & Paustian, K., 2017. Grassland management impacts on soil carbon stocks: a new synthesis. *Ecological applications*, 27: 662-668.
- Condron, L.M.; Hopkins, D.W.; Gregorich, E.G.; Black, A. & Wakelin, S.A., 2014. Long-term irrigation effects on soil organic matter under temperate grazed pasture. *European journal of soil science*, 65: 741-750.
- Crème, A.; Chabbi, A.; Gastal, F. & Rumpel, C. 2017. Biogeochemical nature of grassland soil organic matter under plant communities with two nitrogen sources. *Plant and soil*, 415: 189-201.
- Crème, A.; Rumpel, C.; Gastal, F.; Mora, M.L. & Chabbi, A., 2016. Effect of grasses and a legume grown in monoculture or mixture on soil organic matter and phosphorus forms. *Plant and soil*, 402: 117-128.
- Crème, A.; Rumpel, C.; Le Roux, X.; Romian, A.; Lan, T. & Chabbi, A., 2018. Fertilised ley grassland has a legacy effect on soil organic matter quantity and quality and microbial activities favourable to C sequestration. *Soil biology and biochemistry*, 122: 203-210.
- de Vries M.; van Middelaar, C.E. & de Boer, I.J.M. 2015. Comparing environmental impacts of beef production systems: a review of life cycle assessments. *Livestock science*, 178: 279-288.
- Ferguson, B.G.; Diemont, S.A.; Alfaro-Arguello, R.; Martín, J.F.; Nahed-Toral, J.; Alvarez-Solis, D. & Pinto-Ruiz, R., 2013. Sustainability of holistic and conventional cattle ranching in the seasonally dry tropics of Chiapas, Mexico. *Agricultural systems*, 120: 38–48.
- Frank, D.A.; McNaughton, S.J. & Tracy, B.F., 1998. The ecology of the earth's grazing ecosystems. *Bioscience*, 48: 513–521.

- Fuchs, K.; Hortnagl, L.; Buchmann, N.; Eugster, W.; Snow, V. & Merbold, L., 2018. Management matters: testing a mitigation strategy for nitrous oxide emissions using legumes on intensively managed grassland. *Biogeochemistry*, 15: 5519–5543.
- Fustec, J.; Lesuffleur, F.; Mahieu, S. & Cliquet, J.B., 2010. Nitrogen rhizodeposition of legumes. A review. *Agronomy for sustainable development*, 30: 57–66.
- Graham, P.H. & Vance, C.P., 2003. Legumes: importance and constraints to greater use. *Plant physiology*, 131: 872–877.
- Haile, S.G.; Nair, P.K.R. & Nair, V.D., 2008. Carbon storage in different soil size fractions in Florida silvopastoral systems. *Journal of Environmental Quality*, 37: 1789–1797.
- Hamilton, E.W.; Frank, D.A.; Hinchey, P.M. & Murray, T.R., 2008. Defoliation induces root exudation and triggers positive rhizospheric feedbacks in a temperate grassland. *Soil biology and biochemistry*, 40: 2865–2873.
- Hawken, P., 2017. Drawdown: The most comprehensive plan ever proposed to reverse global warming. Penguin Books. 240p
- IPCC, 2013. Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 1535p.
- IPCC, 2014. Contribution of Working Group III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 116p.
- IPCC, 2018. Index. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5°C above preindustrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. In Press.
- Isbell, F.; Tilman, D.; Reich, P.B. & Clark A.T., 2019. Deficits of biodiversity and productivity linger a century after agricultural abandonment. *Nature ecology & evolution*, 3: 1533–1538.
- Klump, K.; Fontaine, S.; Attard, E.; Le Roux, X.; Gleixner, G. & Soussana, J.F., 2009. Grazing triggers soil carbon loss by altering plant roots and their control on soil microbial community. *Journal of ecology*, 97: 876–885.
- Knopf, F.L., 1994. Avian assemblages on altered grasslands. *Studies in avian biology*, 15: 247–257.
- Kunrath, T.R.; de Berranger, C.; Charrier, X.; Gastal, F.; de Faccio Carvalho, P.C.; Lemaire, G.; Emile, J.C. & Durand, J.L., 2015. How much do sod-based rotations reduce nitrate leaching in a cereal cropping system?. *Agricultural water management*, 150: 46–54.
- Lal, R., 2018. Digging deeper: A holistic perspective of factors affecting SOC sequestration. *Global Change Biology* 24(8) doi:10.1111/gcb.14054.
- Lange, M.; Eisenhauer, N.; Sierra, C.; Bessler, H.; Engels, Ch.; Griffiths, R.; Mellado-Vázquez, P.; Malik, A.; Roy, J.; Scheu, S.; Steinbeiss, S.; Thomson, B.; Trumbore, S. & Gleixner, G., 2015. Plant diversity increases soil microbial activity and soil carbon storage. *Nature communication* 6: 6707.
- Lemaire, G.; Franzluebbers, A.; Carvalho, P.C. & Dedieu, B., 2014. Integrated crop–livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. *Agriculture, ecosystems & environment*, 190: 1–8.
- Lugato, E.; Leip, A. & Jones A., 2018. Mitigation potential of soil carbon management overestimated by neglecting N₂O emissions. *Nature climate change*, 8: 219–223.
- Marty, C.; Pornon, A.; Escaravage, N.; Winterton, P. & Lamaze, T., 2009. Complex interactions between a legume and two grasses in a subalpine meadow. *American journal of botany*, 96: 1814–1820.
- McSherry, M.E. & Ritchie, M.E., 2013. Effects of grazing on grassland soil carbon: a global review. *Global change biology*, 19: 1347–1357.
- Meier, E. A.; Thorburn, P. J.; Bell, L. W.; Biggs, J.S., 2020. Greenhouse gas emissions from cropping and grazed pastures are similar: A simulation analysis in Australia. *Frontiers in sustainable food systems*, 3: 121. doi: 10.3389/fsufs.2019.00121.
- Mendoza, R.; Bailleres, M.; García, I. & Ruiz, O., 2016. Phosphorus fertilization of a grass-legume mixture: Effect on plant growth, nutrients acquisition and symbiotic associations with soil microorganisms. *Journal of plant nutrition*, 39: 691–701.
- Mesleard, F.; Yaverkovski, N.; Lefebvre, G.; Willm, L. & Bonis, A., 2017. High stocking density controls *Phillyrea angustifolia* in mediterranean grasslands. *Environmental management*, 59: 455–463.
- Nair, P.K.R.; Gordon, A.M. & Mosquera-Losada, M.R., 2008. Agroforestry. In: Jorgensen, S.E. & Fath, B.D. (eds) Encyclopedia of ecology. Elsevier, Oxford, pp: 101–110.
- Orgill, S.E.; Condon, J.R.; Conyers, M. K.; Morris, S.G.; Alcock, D.J.; Murphy, B.W. & Greene, R.S.B., 2018. Removing grazing pressure from a native pasture decreases soil organic carbon in southern New South Wales, Australia. *Land degradation & development*, 29: 274–283.
- Park, J.Y.; Ale, S. & Teague, W.R., 2017. Simulated water quality effects of alternate grazing management practices at the ranch and watershed scales. *Ecological modelling*, 360: 1–13.
- Resende, L.O.; Müller, M.D.; Kohmann, M.M.; Guedes, L.F.; Cullen, L.; de Zen, S. & Guanaes, L.F., 2019. Silvopastoral management of beef cattle production for neutralizing the environmental impact of enteric methane emission. *Agroforestry systems*. <https://doi.org/10.1007/s10457-019-00460-x>
- Rowntree, J.E.; Ryals, R.; DeLonge M.; Teague W.R.; Chiavegato M.; Byck P.; Wang T. & Xu S., 2016. Potential mitigation of midwest grass-finished beef production emissions with soil carbon sequestration in the United States of America. *Future food*, 4: 31–38.
- Rumpel, C. & Chabbi, A., 2010. Response of bulk chemical composition, lignin and carbohydrate signature to grassland conversion in a ley-arable cropping system. *Nutrient cycling in agroecosystems*, 88: 173–182.
- Rumpel, C.; Crème, A.; Ngo, P.T.; Velásquez, G.; Mora, M.L. & Chabbi, A., 2015. The impact of grassland management on biogeochemical cycles involving carbon, nitrogen and phosphorus. *Journal of soil science and plant nutrition*, 15 (2): 353–371.
- Sanaullah, M.; Chabbi, A.; Rumpel, C. & Kuzyakov, Y., 2012. Carbon allocation in grassland communities under drought stress followed by ¹⁴C pulse labelling. *Soil biology and biochemistry*, 55: 132–139.

- Sanderman, J. & Baldock, J.A., 2010. Accounting for soil carbon sequestration in national inventories: a soil scientist's perspective. *Environmental research letters*, 5: 3. doi:10.1088/1748-9326/5/3/034003
- Sanderman, J.; Hengl, T. & Fiske, G.J., 2017. Soil carbon debt of human land use. *Proceedings of the national academy of sciences*, 114: 9575-9580.
- Schiedung, M.; Tregurtha, C.S.; Beare, M.H.; Thomas, S.M. & Don, A., 2019. Deep soil flipping increases carbon stocks of New Zealand grasslands. *Global change biology*, 25: 2296-2309.
- Senapati, N.; Chabbi, A.; Gastal, F.; Smith, P.; Mascher, N.; Loubet, B.; Cellier, P. & Naisse, Ch., 2014. Net carbon storage measured in a mowed and grazed temperate sown grassland shows potential for carbon sequestration under grazed system. *Carbon management* 5(2): 131-144.
- Shahzad, T.; Chenu, C.; Repincay, C.; Mougin, C.; Ollier, J.L. & Fontaine, S., 2012. Plant clipping decelerates the mineralization of recalcitrant soil organic matter under multiple grassland species. *Soil biology and biochemistry*, 51: 73-80.
- Soussana, J.F. & Lemaire, G. 2014. Coupling carbon and nitrogen cycles for environmentally sustainable intensification of grasslands and crop-livestock systems. *Agriculture, ecosystems & environment*, 190: 9-17.
- Stewart, A.A.; Little, S.M.; Ominski, K.H.; Wittenberg K.M. & Janzen H.H., 2009. Evaluating greenhouse gas mitigation practices in livestock systems: an illustration of a whole-farm approach. *Journal of agricultural science*, 147: 367-382.
- Teague, W.R., 2018. Forages and pastures symposium: cover crops in livestock production: whole-system approach: managing grazing to restore soil health and farm livelihoods. *Journal of animal science*, 96: 1519-1530.
- Teague, W.R.; Dowhower, S.L.; Baker, S.A.; Haile, N.; DeLaune, P.B. & Conover, D.M., 2011. Grazing management impacts on vegetation, soil biota and soil chemical, physical and hydrological properties in tall grass prairie. *Agriculture, ecosystems & environment*, 141: 310-322.
- Teague, W.R.; Provenza, F.; Kreuter, U.P.; Steffens, T. & Barnes, M., 2013. Multi-paddock grazing on rangelands: why the perceptual dichotomy between research results and rancher experience?. *Journal of environmental economics and management*, 128: 699-717.
- Vermeulen, S.J.; Campell, B.M. & Ingram, J.S.I., 2012. Climate Change and Food Systems. *Annual review of environment and resources*, 37: 195-222.
- Wallisdevries, M.F.; Laca, E.A. & Demment, M.W., 1999. The importance of scale of patchiness for selectivity in grazing herbivores. *Oecologia*, 121: 355-363.
- Wang, T.; Teague, W.; Park, S. & Bevers, S., 2015. GHG mitigation potential of different grazing strategies in the United States Southern Great Plains. *Sustainability* 7(10): 13500-13521.
- Wit C.T. de; Tow, P.G.; Ennick, G.C., 1966. Competition between legumes and grasses. *Verslagen van landbouwkundige onderzoekingen* 687: 1-30

Capitulo XI

Invertebrados fitófagos asociados a praderas y pasturas

Alfonso Aguilera Puente

Contenido

Introducción	432
Colémbolos o pulguitas	433
Langostas	433
Pulgonos o áfidos	437
Barrenadores de plantas	443
Fitófagos de raíces	446
Polillas	454
Gusanos y cuncunillas	457
Moscas minadoras	465
Arañas o ácaros fitófagos	467
Babosas	469
Glosario	471
Bibliografía	473

Introducción

Las praderas sembradas anuales, perennes y aquellas naturalizadas constituyen un agroecosistema cuyo destino es la alimentación de animales domésticos que dan origen a productos para la alimentación humana (Demanet, 2008; Demanet, 2014).

El cultivo de especies pratenses, por la intervención humana, es amagado por diversas especies de invertebrados que son considerados plagas o fitófagos asociados a las praderas (Carrillo, 1986; Cisternas, 1992; Cisternas & Norambuena, 1991; Norambuena & Aguilera, 1988; Aguilera *et al.*, 1996). En Chile, desde la región de Arica y Parinacota a la región de Magallanes (Aguilera *et al.*, 1996), se han registrado 183 especies de insectos fitófagos y otros invertebrados asociados a plantas forrajeras y cultivos suplementarios (excluidos los nematodos), con antecedentes de la ontogenia y etología solo de las principales plagas que las afectan, catalogadas como primarias y secundarias principalmente para aquellas especies presentes en la zona centro sur y sur del país, conocidas con el nombre común de minadores, barrenadores de tallos y raíces, polillas, gusanos cortadores, cuncunillas, gusanos blancos, ácaros y babosas. Considerando solo Arthropoda, la cantidad de especies registradas en gramíneas y leguminosas forrajeras corresponde a 111 taxa (Klein & Waterhouse, 2000).

En este capítulo, después de 20 años de los registros anteriormente mencionados, se actualizan nominaciones, datos biológicos, hospederos y agentes biológicos de control solo para aquellas especies que constituyen plaga de acuerdo al nivel poblacional e importancia económica, según la zona del territorio donde se encuentran presentes y que son consideradas como primarias o claves, secundarias y ocasionales, según los antecedentes existentes y de acuerdo al concepto de manejo integrado de plagas de Metcalf & Luckman (1975). También se adicionan referencias bibliográficas y nuevos registros de invertebrados, principalmente insectos, asociados a plantas cultivadas para la nutrición de mamíferos (bovinos y ovinos), no considerados por Aguilera *et al.*, (1996).

Para las especies que a continuación se tratan en detalle, se sigue la clasificación sistemática de orden propuesta por Borror *et al.*, (1989) y que reconoce la mayoría de los entomólogos nacionales que abordan temas de entomología económica, en particular entomología agrícola, o la sistematización expresada en catálogos de plagas en Chile, (Araya, 2004; Artigas, 1994; Capdeville, 1954; Durán, 1963; Durán, 1976; González, 1989; González *et al.*, 1973; Klein & Waterhouse, 2000; Peña, 1987; Prado, 1991; Toro *et al.*, 2004), incluyendo la categoría sistemática de orden y familia, indicadas entre paréntesis bajo el nombre común, seguido del nombre científico de cada especie.

En este capítulo las plagas se abordan por grupos, de acuerdo a la nominación vernácula comúnmente usada en Chile, pero con cierto orden sistemático, aunque no siempre coincidentes entre las especies.

Colémbolos o pulguillas

Los colémbolos o pulguillas son insectos primitivos, de cuerpo blando, amarillo, blanquecino, café, gris, negro o moteado con alguno de estos colores. Cabeza con antenas de cuatro antenitos; ojos simples destacados detrás de las antenas; aparato bucal masticador. Tórax carente de alas; patas delgadas. La principal característica morfológica de los colémbolos es la presencia de una estructura retráctil, ubicada en el cuarto segmento del abdomen, conocida como fúrcula, sujeta por un tenáculo, que al liberarla les permite saltar (Cisternas *et al.*, 1990; González, 1989; Artigas, 1994). Algunos taxónomos consideran este grupo de invertebrados una clase distinta a Insecta (Toro *et al.*, 2004).

Pulga saltona, *Sminthurus viridis* L. (Collembola: Sminthuridae)

Distribución: Insecto de origen europeo presente en Chile desde las regiones de Bio Bio a Los Lagos (Prado, 1991).

Apariencia y hábitos: Insecto pequeño, de 2 a 3 mm de largo, cuerpo globoso, verde amarillento. Cabeza hipognata, con ojos negros simples destacables. Tórax con segmentación poco diferenciada; patas delgadas algo pilosas que terminan en una uña. Abdomen ancho, con pilosidad notoria pero dispersa, segmentos poco visibles, con la apariencia de estar íntimamente unidos al tórax.

Especie ovípara. Huevos esféricos de 0,3 mm de diámetro, amarillentos, depositados en el suelo, agrupados, cubiertos con una sustancia mucilaginosa excretada por la zona anal. La postura la ubican en la base de las plantas, de preferencia donde existe abundante hojarasca húmeda. Los huevos eclosionan después de 15 a 20 días y sus ninfas alcanzan su adultez a los dos meses (González, 1989; Artigas, 1994).

Hospederos: En Chile fue detectado en alfalfa y ha sido conocido desde entonces como pulga saltona de la alfalfa (Cisternas *et al.*, 1990). Posteriormente fue registrado en avena, ballica, betarraga, cebada, lupino, melón remolacha, trébol, trigo y malezas (Prado, 1991; Artigas, 1994).

Con su aparato bucal masticador raspan las hojas y folíolos, haciendo orificios irregulares. En ocasiones suelen dejar la lámina foliar solo con su venación al consumir el parénquima de la hoja. Excretan en la superficie foliar, dejando manchas negras en los sectores donde se alimentaron.

Control natural: *Nabis punctipennis* (Blanchard) es un chinche depredador observado en alfalfa como enemigo natural de *S. viridis* en La Araucanía, especialmente durante el verano.

Además de la pulga saltona se registran en Chile otros colémbolos asociados a praderas y cultivos suplementarios: *Bourtiella bortensis* (Fitch) (Collembola: Sminthuridae); *Ceratophysella armata* (Nicolet) (Collembola: Hypogastruridae) (Artigas, 1994; Prado, 1991).

Control artificial de colémbolos: Su presencia en praderas no constituye un peligro que amague económicamente a las especies hospederas, por lo tanto, no se justifica utilizar medidas de control artificial. La población máxima contabilizada en alfalfa no sobrepasa los 16 ejemplares/m² entre septiembre y noviembre en la zona sur, comparado con los 3.000 colémbolos/m² registrados en Australia (Klein *et al.*, 2005). Si por algún desbalance en el agroecosistema la población de la pulga saltona aumenta considerablemente se podría utilizar un insecticida de ingestión y contacto de baja toxicidad correspondiente al grupo IV de etiqueta verde.

Langostas

Las langostas son insectos pertenecientes al orden Orthoptera cuya característica son sus alas rectas dirigidas hacia atrás cuando están en reposo. La cabeza de estos insectos está bien desarrollada con un poderoso aparato bucal masticador. Tienen las antenas filiformes, por lo general cortas, no sobrepasando la mitad del tórax. Tórax bien desarrollado con las patas anteriores más cortas que las medias y posteriores, estas últimas se caracterizan por tener el fémur ensanchado, apto para saltar y los tarsos, de todas ellas, con tres segmentos. El macho atrae a la hembra con su canto, que emite frotando las patas posteriores con las alas anteriores que son coriáceas y angostas, denominadas tégmenes. Las alas posteriores son membranosas, protegidas por las anteriores. Abdomen de 11 segmentos, con sus órganos de la audición ubicados en los costados del primer

segmento abdominal; las hembras poseen al término del abdomen un poderoso y fuerte aparato ovipositor, denominado oviscapto, con el cual entierran sus huevos en el suelo durante el verano. Se alimentan de plantas y suelen ser muy voraces. Para alimentarse muerden los bordes de las hojas o las consumen totalmente, también cortan los tallos tiernos. Invernan al estado de huevo bajo la superficie del suelo y son insectos comunes en verano. En periodos calurosos y secos, algunas especies de langostas suelen causar daños severos a las plantas hospederas (Artigas, 1994; González, 1989).

Langosta ocrea, *Trimerotropis achraceipennis* (Blanchard) (Orthoptera: Acrididae)

Distribución: Especie nativa, de amplia distribución en Chile, desde la región de Arica y Parinacota a la región de Magallanes. También existen registros de su presencia en el archipiélago de Juan Fernández (Prado, 1991; Artigas, 1994).

Apariencia y hábitos: La langosta ocrea mide hasta 35 mm de largo y es parda amarillenta. Sus alas anteriores se caracterizan por presentar tres bandas transversales oscuras. Las antenas sobrepasan el protórax. Los ejemplares de langosta ocrea aparecen a inicios de primavera y los adultos sobreviven hasta el otoño. Sus hábitos son similares a los de la langosta araucana y langosta rayada. En periodos secos y calurosos causan daños a la pradera. Se la encuentra conviviendo con la langosta araucana y langosta rayada (Figura 11.1)



Figura 11.1. *Trimerotropis achraceipennis* (Blanchard)

Hospederos: Ñilhue, pasto miel, tabaco. En verano se alimentan del follaje produciendo daños en los bordes de las hojas (Artigas, 1994). Es calificada como plaga secundaria.

Control natural: Como enemigos naturales de la langosta ocrea se menciona a *Epicauta pilme* (Molina) (Coleoptera: Meloide); *Aceridiophaga caridei* (Bréthes), *Protodexia quaesita* (Hall) (Diptera: Sarcophagidae); *Ceracia dentata* (Cocquerell) (Diptera: Tachinidae); *Sphex latreillei* Lepeletier de Saint Fargeau (Hymenoptera: Sphecidae) y el hongo *Entomophaga grylli* (Fresen) (Prado, 1991; Artigas, 1994).

Langostón, *Shistocerca cancellata* (Serville) (Orthoptera: Acrididae)

Distribución: Se registra su presencia desde las regiones de Arica y Parinacota a La Araucanía. Su distribución también incluye Argentina, Bolivia, Brasil, Paraguay y Uruguay (Prado, 1991).

Apariencia y hábitos: Es una langosta grande, mide 6 cm de largo. Cuerpo castaño. Cabeza castaño, más oscura en la frente, con ojos grandes y antenas amarillentas que alcanzan el sector posterior del protórax. Las alas anteriores o tégmenes sobrepasan el largo del abdomen, con manchas negras en el sector anterior y desde el medio hasta el extremo posterior con bandas oscuras transversales, difusas; las alas posteriores membranosas, claras, rosado amarillentas. Patas anteriores y medias más cortas que las posteriores; patas posteriores adaptadas para saltar, fémur prominente, engrosado, con manchas y puntos negros, espinas cortas dirigidas hacia atrás; tibias largas con espinas. Abdomen castaño, cubierto por los tégmenes cuando el insecto está en reposo (Figura 11.2)

Las hembras, después del apareamiento, que ocurre a inicios del verano, colocan sus huevos de preferencia en las laderas expuestas al sol. Para ello introducen su abdomen y con la ayuda de su oviscapto, depositan más de 100 huevos en una ooteca enterrados en el terreno a unos 6 a 8 cm de la superficie. Las ninfas emergen

a los 75 días de efectuada la postura y alcanzan su forma adulta a los dos meses, después de pasar por cinco estadios, cambiando de color a medida que transcurre su desarrollo. Después de una diapausa de siete meses los adultos adquieren su madurez sexual para reiniciar su ciclo anual o univoltino. En Chile no se desarrollan poblaciones migratorias, pero en algunas ocasiones se ha informado de migraciones gregarias de langostón desde Argentina, causando daños severos en cultivos a su paso por Lonquimay, Pucón, Villarrica, Temuco, Pitrufquén, Loncoche, Valdivia, Lautaro, Purén, Victoria, Chillán y más al norte en Vallenar (Artigas, 1994).



Figura 11.2. *Shistocerca cancellata* (Serville)

Hospederos: Alfalfa, arveja, avellano nativo, ballica, canelo, falaris, festuca, frutales, maitén, ornamentales, papa, pasto ovillo, poroto, tréboles y malezas. Los daños los causa en hojas y tallos (Artigas, 1994).

Control natural: Como enemigos naturales entomófagos se menciona a *Cotopteryx gayi* (Blanchard) (Orthoptera: Mantidae); *Epicauta pilme* (Molina) (Coleoptera: Meloide); *Podisus nigrolimbatus* (Spinola) (Hemiptera: Pentatomidae); *Protodexia quaestia* Hall, *P. liebermanni* Blanchard, *Acridophaga ebi* (Hall), *A. caridei* (Brethes) (Diptera: Sarcophagidae); *Ceracia dentata* (Coquillett) (Diptera: Taquinidae); *Sphex latreillei* Lepeletier, *Pryonix spinolae* (Smith) (Hymenoptera: Sphecidae); *Entomophaga grylli* (Fresenius) (Fungi) (Prado, 1991; Artigas, 1994).

Langosta araucana, *Dichroplus elongatus* Giglio-Tos. (Orthoptera: Acrididae)

Distribución: La langosta araucana está presente desde la región de Antofagasta a la región de Los Lagos. También se registra en Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay (Artigas, 1994).

Apariencia y hábitos: La langosta araucana mide 35 mm de largo. Los machos son más pequeños. Ambos ejemplares con tonalidades verdes en los lados (Figura 11.3). Dorso castaño claro. Patas del mismo color, con la cara interna del fémur pardo amarillento o verdoso. Las alas del estado adulto sobrepasan el largo del abdomen cuando están en reposo. Abdomen castaño verdoso con algunas manchas oscuras. Son abundantes desde el comienzo del verano, especialmente cuando la primavera se presenta con escasas lluvias y algo calurosa. La hembra coloca sus huevos durante febrero. Las ninfas se ven en octubre y el estado adulto desde fines de diciembre. Su desarrollo de huevo a adulto dura un año, siendo por lo tanto un insecto univoltino (Artigas, 1994).



Figura 11.3. *Dichroplus elongatus* Giglio-Tos

Hospederos: Alfalfa, arroz, trébol, papa (Artigas, 1994; Prado, 1991). Los ejemplares de *D. elongatus* suelen atacar plantas jóvenes, cortándolas a escasos centímetros de la superficie del suelo, particularmente en periodos secos y calurosos, precedidos de una primavera con escasas precipitaciones. En pleno verano los ejemplares adultos de la langosta araucana se alimentan del follaje, ocasionando daños en los bordes de las hojas y folíolos. En periodos frescos y húmedos no suele causar daños importantes. Es una plaga considerada secundaria (Artigas, 1994).

Control natural: Se puede ejercer mediante un enemigo natural entomófago conocido de la langosta araucana que corresponde a otro ortóptero de la familia Mantidae, *Coptopteryx gayi* (Blanchard) (Prado, 1910). También podrían ejercerlo *Epicauta pilme* (Molina) (Coleoptera: Meloidae); *Protodexia quaesita* (Hall) (Diptera: Sarcophagidae); *Ceracia dentata* (Coq.) (Diptera: Tachinidae); *Sphex latreillei* Lep. (Hymenoptera: Sphecidae) y el hongo *Entomophthora grylli* (Fres.) (Artigas, 1994).

Langosta rayada, *Dichroplus vittiger* (Blanchard) (Orthoptera: Acrididae)

Distribución: Desde la región de Coquimbo a la región de Los Lagos. Además, se registra su presencia en Argentina (Prado, 1991; Artigas, 1994).

Apariencia y hábitos: Los adultos de la langosta rayada tienen el cuerpo pardo amarillento, de 20 mm de largo y con antenas café (Figura 11.4). Las alas se extienden un poco más allá del término del abdomen. Patas del mismo color del cuerpo; fémures posteriores rojizos por el lado interno y las tibias con gran cantidad de espinas. Abdomen castaño oscuro. Sobre el ciclo biológico de la langosta rayada no existen antecedentes, pero se asume que también las hembras ponen sus huevos enterrados en el suelo. Las ninfas nacerían en primavera y después de una quinta muda alcanzarían su pleno desarrollo en verano, con capacidad para volar. Los días secos y calurosos son óptimos para su actividad (Artigas, 1994).



Figura 11.4. *Dichroplus vittiger* (Blanchard)

Hospederos: Alfalfa, arroz, avena, ballica, cebada, falaris, festuca, pasto ovillo, poroto, tréboles, trigo (Prado, 1991). Los daños de la langosta rayada son similares a los efectuados por *D. elongatus* y se considera también una plaga secundaria. Es simpátrida con la langosta araucana y la langosta ocrea.

Control natural: Como entomófago se menciona al díptero *Acridiophaga ebi* (Hall) (Diptera: Sarcophagidae) y al himenóptero *Pryonix spinola* (Smith) (Hymenoptera: Sphecidae).

Langosta brava, *Dichroplus maculipennis* (Blanchard) (Orthoptera: Acrididae)

Distribución: Región de Coquimbo a Los Lagos. Presente en Argentina, Brasil, Perú y Uruguay (Prado, 1991).

Apariencia y hábitos: Langosta pequeña de 3 cm de largo. Cuerpo castaño amarillento con manchas negras (Figura 11.5). Cabeza con ojos compuestos, grandes, ubicados detrás de las antenas. Tórax con pronoto con bandas anchas en los costados y también en el sector medio superior. Patas anteriores más cortas que las posteriores, estas últimas con el fémur engrosado y con manchas negras; tibias largas con espinas fuertes y cortas; tégmenes con puntos oscuros que sobrepasan el largo del abdomen. Abdomen manchado en cada segmento. Las hembras colocan sus huevos amarillos dispuestos verticalmente en una ooteca soterrados durante enero y en cada postura depositan entre 30 a 40 huevos. Las ninfas emergen en primavera y después

de 150 días, pasando por cinco estadios, sin diapausa sexual, se aparean con los machos y se reanuda su ciclo univoltino (Artigas, 1994).



Figura 11.5. *Dichroplus maculipennis* (Blanchard)

Hospederos: Alfalfa, avena, ballicas, cáñamo, cebada, festuca, fromental, lenteja, maíz, pasto ovillo, tréboles, trigo, vid y malezas. Ninfas y adultos consumen follaje y tallos de plantas herbáceas. Considerada especie cuarentenaria para USA (Prado, 1991; Artigas, 1994).

Control natural: Los entomófagos *Acridiophaga abi* (Hall) y *Protodexia liebermanni* Blanchard (Diptera: Sarcophagidae) (Prado, 1991). En el sur de Chile dos aves importantes se alimentan de langostas: el tiuque, *Mihago chimango* (Vicillot) y la bandurria, *Theristicus caudatus* (Boddaert). Además, se incluyen los mismos entomófagos mencionados para la langosta araucana (Artigas, 1994).

Otra especie de langosta asociada a praderas y cultivos suplementarios que se menciona en Chile asociada a praderas corresponde a *Dichroplus porteri* Liebermann, además de otras tres especies que tienen los tégmenes de igual longitud o más corto que el abdomen, como *Dichroplus democraticus* (Blanchard), *Elasmoderus wagenknechti* (Liebermann) y *Scyllinops signipennis* (Blanchard). De éstas, por consideración del autor, es interesante mencionar como caso especial a *Elasmoderus wagenknechti* (Liebermann) (= *Philipiachris rabiosus* Liebermann). Esta especie conocida en el norte de Chile como la langosta de Combarbalá ha aparecido algunos años irrumpiendo con poblaciones que han amagado cultivos de las regiones de Atacama y Coquimbo, especialmente zonas precordilleranas (Cepeda *et al.*, 2007; Cigliano, 1989; Cigliano *et al.*, 1989; Liebermann, 1943; Liebermann, 1944; Toro, 1972; Elgueta *et al.*, 1999; Artigas, 1994).

Control artificial de langostas: Si fuese necesario controlar langostas se puede recurrir al control químico tradicional, asperjando insecticidas de las familias de los órganos fosforados, carbamatos o piretroides, sean éstos de ingestión o de ingestión y contacto, considerando el periodo de carencia de los productos a utilizar antes de cosechar la pastura o introducir el ganado a pastar.

Pulgones o Áfidos

Los pulgones o áfidos son insectos pequeños, suaves y blandos, de variados colores según las especies. Pertenecen al orden Hemiptera y hace años se consideraban como orden Homoptera, siendo actualmente esta última categoría sistemática ubicada como sub orden. Las especies de pulgones se agrupan en la familia Aphididae, de donde deriva su nombre castellanizado de áfidos.

Se caracterizan por tener algunas especies las antenas igual a la longitud de su cuerpo, otras más largas que éste, o también más cortas no alcanzando la mitad del cuerpo del insecto. Poseen cuatro alas membranosas, existiendo generaciones ápteras en una misma especie. Un carácter morfológico característico de los pulgones o áfidos lo constituyen los siphunculi, sifones o cornículos en el sector súpero posterior del abdomen y en el extremo del mismo una estructura nominada cauda cuya forma es variable según la especie. Algunas especies de estos diminutos insectos tienen ciclos de vida complejos, con ejemplares alados y no alados, generaciones sexuadas y no sexuadas y hospederos diferentes según la época del año; aquellas especies que tienen ciclos sexuados y asexuados se denominan holocíclicos y anholocíclicos solo los que tienen generaciones asexuadas. Las especies que desarrollan sus ciclos en un solo hospedero se denominan monoicos y dioicos los que migran a otra especie vegetal para invernar, estableciéndose para éstas las denominaciones de hospederos secundarios y primarios. Los pulgones viven en colonias y secretan un líquido incoloro por los cornículos y una substancia líquida azucarada por el extremo del abdomen, comúnmente conocida como mielecilla. Debido a la presencia

de mielecilla suele aparecer un hongo gris negruzco llamado fumagina que cubre la superficie de las hojas. El ataque de pulgones provoca daños directos con su aparato picador chupador y la incorporación de toxinas a la savia, produciendo descoloración de las hojas y enrollamiento, lo que disminuye la capacidad de fotosíntesis de la planta y provoca caída de hojas. También los áfidos se ubican en tallos y pedúnculos florales. Además, los pulgones son importantes porque algunas especies son vectores de virus, produciendo enanismo en las plantas atacadas. En Chile se mencionan varias especies de pulgones o áfidos en plantas forrajeras. Algunas especies atacan gramíneas, otras leguminosas y algunas viven, indistintamente, en ambos grupos de plantas, incluyendo aquellas consideradas malezas en la pradera (Zúñiga, 1967; Artigas, 1994; González, 1989).

Pulgón verde de la alfalfa, *Acyrtosiphon pisum* (Harris) (Hemiptera: Homoptera: Aphididae)

Distribución: Áfido cosmopolita. En Chile se distribuye desde las regiones de Arica y Parinacota a Aysén (Prado, 1991).

Apariencia y hábitos: Cuerpo verde claro o en algunas ocasiones rosado. Los ejemplares tanto ápteros como alados miden de 3 a 4 mm de largo. Cabeza café claro con los ojos rojo oscuro; antenas más largas que el cuerpo con el ápice oscuro en los ejemplares ápteros. Tórax castaño claro; patas con los ápices de las tibias oscuras, tarsos totalmente oscuros. Abdomen globoso verde claro con manchas laterales oscuras, sifones o cornículos el doble de largo comparados con la cauda, abombillados, superficie aparentemente imbricada o arrugada, ápice oscuro; cauda larga angostándose desde la base al ápice con cerdas en los costados: tres o cuatro en las hembras aladas, dos en las no aladas (Figura 11.6)



Figura 11.6. *Acyrtosiphon pisum* (Harris)

En primavera emergen las ninfas ápteras, que dan origen a hembras partenogénicas, vivíparas, repitiéndose el ciclo asexual por varias generaciones hasta fines del verano; para colonizar otras plantas de la misma especie, suelen aparecer hembras aladas, también partenogénicas, para migrar. En otoño, dependiendo de las condiciones ambientales, aparecen hembras y machos alados que vuelan a plantas distintas a las que habitaban en primavera y verano. Copulan y las hembras grávidas oviponen para pasar el invierno al estado de huevo, reiniciándose los ciclos asexuales a inicios de la primavera, por más de siete generaciones (Artigas, 1994).

Hospederos: Alfalfa, arveja, garbanzo, haba, lenteja, lotera, papa, poroto, tréboles y vicia (Prado, 1991).

Control natural: El control natural biótico de *A. pisum* es ejercido en Chile por los siguientes enemigos naturales entomófagos: *Adalia angulifera* Mulsant, *A. bipunctata* (L.), *Cycloneda sanguinea* (L.), *Eriopis chilensis* Hofmann, *E. eschscholtzii* Mulsant, *Harmonia axyridis* (Pallas), *Hippodamia convergens* Guérin-Ménéville, *H. variegata* (Goeze), *Hyperaspis sphaeridioides* Mulsant, *Scymnus bicolor* (Germain). Las especies *Coleomegilla maculata limensis* (Philippi & Philippi) y *E. concordia* González solo están presente en la región de Arica y Parinacota registradas en alfalfa (Coleoptera: Coccinellidae). *Aphidoletes aphidomyza* (Rondani), *A. cucumeris* (Lintner) (Diptera: Cecidomyiidae);

Allograpta hortensis (Philippi), *A. pulchra* Shannon, *Carposcalis fenestrata* (Macquart), *Syrphus octomaculatus* Walker, *S. reedi* Shannon, *Toxomerus calceolatus* (Macquart), *T. octoguttatus* (Jaenicke) (Diptera: Syrphidae); *Aphelinus abdominalis* Dalman; *Aphidius ervi* (Haliday), *A. smithi* Shao-Rao, *Praon volucre* Haliday (Hymenoptera: Aphididae) y el hongo *Entomophthora aphidis* (Hoffman) (Prado, 1991; Artigas, 1994; Zúñiga, 1967; Caltagirone, 1957).

Pulgón azul de la alfalfa, *Acyrtosiphon kondoi* Shinji (Hemiptera: Homoptera: Aphididae)

Distribución: Se registra su presencia en Chile, desde las regiones de Arica y Paríacota a Aysén. Pulgón o áfido cosmopolita (Prado, 1991).

Apariencia y hábitos: Cuerpo verde azulado, con apariencia cerosa, de 2 a 3 mm de largo. Cabeza azul pálido o castaño claro; antenas más largas que el cuerpo con antenitos terminales oscuros. Tórax azul pálido o castaño claro, patas largas con el ápice de la tibia y tarsos oscuros. Abdomen verde azulado con los cornículos o sifones delgados, con aspecto rugoso desde la base al ápice, casi la mitad del largo oscuros y el doble de largo comparados con la cauda de aspecto rugoso con tres pares de cerdas laterales de forma lenguada, con la base más ancha y angostándose hacia el ápice (Figura 11.7).



Figura 11.7. *Acyrtosiphon kondoi* Shinji

El pulgón azul de la alfalfa es anholocíclico, presentando solo hembras ápteras que forman abundantes colonias en tallos y brotes terminales. Cuando la planta evidencia amarillamiento aparecen hembras aladas en la colonia, las cuales migran a colonizar otras plantas para formar nuevas colonias de hembras ápteras. La reproducción es asexual y por lo general *A. kondoi* se comporta como una especie monoica, invernando en el mismo hospedero hasta el estado adulto para dar origen, por viviparidad, a ninfas que se transforman, después de pasar por cinco estadios, en hembras adultas ápteras o aladas según la condición de la planta. Cuando las condiciones ambientales son favorables para la especie, puede haber más de siete generaciones durante una temporada (Artigas, 1994).

Hospederos: Alfalfa es su principal hospedero, siendo los pretérminos cultivares Alta Sierra, Moapa y Lohantan los más susceptibles a *A. kondoi*. Otros hospederos para este pulgón o áfido corresponden a arveja, galega, lenteja, lotera, tréboles y vicia (Prado, 1991; Artigas, 1994).

Control natural: Los enemigos naturales entomófagos corresponden a las mismas especies mencionadas para el pulgón verde de la alfalfa.

Pulgón negro de la alfalfa, *Aphis craccivora* Koch (Hemiptera: Homoptera: Aphididae)

Distribución: Pulgón o áfido cosmopolita. En Chile se encuentra desde la región de Arica y Paríacota a Aysén e Isla de Pascua (Prado, 1991; Artigas, 1994).

Apariencia y hábitos: Pulgón o áfido pequeño de 1,5 a 2 mm de largo. Cuerpo negro brillante. Cabeza con ojos rojo oscuro; antenas con longitud menor de tres cuartas partes de la longitud del cuerpo. Tórax negro brillante; patas con el ápice de los fémures oscuros, tibias claras y tarsos oscuros. Abdomen del mismo color que el tórax, con los cornículos o sifones cortos y negros. Cauda negra con tres pares de cerdas, ápice redondeado con la base más ancha (Figura 11.8).

A. craccivora es anholocíclico y sus colonias se establecen, de preferencia, en los brotes. Las hembras partenogénicas aladas aparecen para migrar a otras plantas hospedadas. El pulgón de las crucíferas inverna al

estado de hembra adulta partenogénica en praderas leguminosas o praderas asociadas con leguminosas (Artigas, 1994; González, 1989).



Figura 11.8. *Aphis craccivora* Koch

Hospederos: Acacia blanca, alcachofa, alcayota, alfalfa, camote, espárrago, frambuesa, haba, jojoba, lenteja, lotera, lino, maíz, manzano, maravilla, naranjo, papa, pepino, peral, poroto, repollo, sandía, tabaco, trébol, tuna, zapallo y algunas malezas (Prado, 1991; Artigas, 1994).

Control natural: El control natural por entomófagos es ejercido por *Adalia deficiens* Mulsant, *Eriopis chilensis* Hofmann, *Hippodamia convergens* Guérin-Meneville, *H. variegata* (Goeze), *Scymnus bicolor* (Germain) (Coleoptera: Coccinellidae); *Allograpta pulchra* Shannon, *Syrphus octomaculatus* Walker (Diptera: Syrphidae); *Aphidius colemani* Viereck, *Lysiphlebus testaceipes* (Cresson), *Praon volucre* Halyday (Hymenoptera: Aphidiidae) y el hongo *Entomophthora* sp. (Prado, 1991; Artigas, 1994; Zúñiga, 1997; Caltagirone, 1957).

Pulgón de las crucíferas, *Brevicoryne brassicae* (L.) (Hemiptera: Homoptera: Aphididae)

Distribución: En Chile aparece desde la región de Arica y Parinacota a Magallanes e Isla de Pascua. Insecto considerado cosmopolita (Prado, 1991; Artigas, 1994; González, 1989).

Apariencia y hábitos: *B. brassicae* tiene el cuerpo gris verdoso, de aspecto ceniciento pulverulento con manchas oscuras, de 2,5 mm de largo. Cabeza oscura con ojos rojo oscuro o negros; antenas más cortas que el largo del cuerpo, alcanzando hasta la mitad del mismo, oscuras, con los antenitos cerca de la base, claros. Tórax negro, patas del mismo color. Abdomen grisáceo verdoso con manchas transversales, cornículos o sifones oscuros a negros, cortos como la cauda, abultados en el sector central. Cauda triangular, del mismo color de los sifones, con dos pares de cerdas laterales.

El pulgón de las crucíferas en zonas de clima templado se comporta como una especie anholocíclica; sin embargo, en climas fríos su ciclo estacional es sexuado, con machos alados, e hibernando al estado de huevo en plantas crucíferas silvestres, cultivadas y malezas.

Las hembras aladas partenogénicas, como en otras especies de pulgones o áfidos, aparecen en primavera para colonizar sus hospederos, sucediéndose varias generaciones de hembras vivíparas ápteras asexuadas hasta el otoño (González, 1989; Prado, 1991; Artigas, 1994).

Hospederos: Brócoli, col forrajera, coliflor, mostaza, nabo forrajero, rábano, raps, raps forrajeros, remolacha, repollo, repollo de Bruselas y rutabaga (González, 1989; Prado, 1991; Artigas, 1994).

Control natural: Los enemigos naturales registrados para el pulgón de las crucíferas corresponden a: *Eriopis chilensis* Hofmann, *Hippodamia convergens* Guérin-Meneville, *H. variegata* (Goeze), *Scymnus bicolor* (Germain) (Coleoptera: Coccinellidae); *Aphidoletes aphidimyza* (Rondani) (Diptera: Cecidomyiidae), *Allograpta hortensis* (Philippi), *A. pulchra* Shannon, *Carposcalis chalconota* (Philippi), *C. fenestrata* (Macquart) (Diptera: Syrphidae); *Diaeretiella rapae* (McIntosh) (Hymenoptera: Aphidiidae) y el hongo *Entomophthora* sp. (Prado, 1991; Artigas, 1994; Zúñiga, 1997; Caltagirone, 1957).

Pulgón verde manchado de la avena, *Rhopalosiphum padi* (L.) (Hemiptera: Homoptera: Aphididae)

Distribución: Desde la región de Arica y Parinacota a Magallanes e Isla de Pascua. Insecto cosmopolita

(González, 1989; Prado, 1991; Artigas, 1994).

Apariencia y hábitos: Pulgón globoso a ovalado, verde algo oliváceo, de 2 mm de largo. Cabeza pardo amarillenta; ojos rojizos, antenas con el ápice negro, más cortas que el cuerpo, casi alcanzando la base de los cornículos o sifones. Tórax verde oscuro, patas cerdosas con bandas oscuras. Abdomen verde oliva con manchas amarillentas y un área pardo rojiza en el área de los sifones; cornículos largos, cilíndricos, con el borde apical oscuro o negro, labiado. Cauda angosta, más corta que los sifones, aguda con tres pares de cerdas laterales (Figura 11.9).



Figura 11.9. *Rhopalosiphum padi* (L.)

* Solo en la región de Arica y Parinacota en alfalfa.

** Solo en la región de Arica y Parinacota en maíz.

El ciclo de vida es anholocíclico en gramíneas, atacando desde la macolla a la floración en tallos y hojas sucediéndose varias generaciones en la temporada, apareciendo tempranamente en otoño. Es un peligroso transmisor del virus que produce enanismo con amarillez en las plantas. Durante el verano se refugia como hembra áptera en raíces de manzanos, perales y ciruelos sin provocar daños en estos frutales (Artigas, 1994).

Hospederos: *Agrostis*, arroz, avena, ballicas, bromo, cebada, centeno, maíz, pasto bermuda, sorgo trigo y malezas gramíneas (Prado, 1991; Artigas, 1994).

Control natural: *Chrysoperla* sp. (Neuroptera: Chrysopidae); *Adalia bipunctata* (L.), *A. deficiens* Mulsant, *Cycloneda arcuata* (Erichson)*, *C. sanguinea* (L.), *Coleomegilla maculata limensis* (Philippi & Philippi)*, *Eriopsis chilensis* Hofmann, *E. concordia* González* *Hippodamia convergens* Guérin-Ménéville, *H. variegata* (Goeze), *Neda patula* (Erichson)***, *Scymnus bicolor* (Germain) (Coleoptera: Coccinellidae); *Aphidoletes aphidomyza* (Rondani) (Diptera: Cecidomyiidae); *Allograpta hortensis* (Philippi), *A. pulchra* Shannon (Diptera: Syrphidae); *Aphidius colemani* Viereck, *A. ervi* Haliday, *A. matricariae* Haliday, *A. rhopalosiphii* De Stephani-Peres, *Diaeretiella rapae* (McIntosh), *Lysiphlebus testaceipes* (Cresson), *Praon gallicum* Stary (Hymenoptera: Aphididae) y los hongos *Entomophthora aphidis* (Hoffman) y *Pandora neoaphidius* (Remaudière & Hennebert).

Pulgón verde oscuro de la avena, *Sitobion avenae* (Fabricius) (Hemiptera: Homoptera: Aphididae)

Distribución: Pulgón o áfido cosmopolita. La distribución en Chile comprende desde la región de Coquimbo a Los Lagos (González, 1989; Prado, 1991; Artigas, 1994).

Apariencia y hábitos: Pulgón de tamaño mediano, tres mm de largo, verde oscuro, a veces brillante verde amarillento, algo rojizo. Cabeza oscura con antenas negras y largas de longitud similar a la del cuerpo; ojos oscuros. Tórax con manchas negras; alas anteriores con parte del estigma negro; patas con el extremo de los fémures, tibia y uñas negras. Abdomen verde oscuro, algo globoso, con manchas y cerdas cortas pareadas entre las máculas; sifones o cornículos negros, largos, de lados paralelos, algo imbricados especialmente en el tercio apical y más largos que la cauda; cauda corta, pequeña, espatulada con tres pares de cerdas laterales y dos muy cortas en el ápice (Figura 11.10).

Especie monoica y anholocíclica en praderas con gramíneas perennes. En cultivos de gramíneas anuales cuando comienzan a madurar los granos aparecen ejemplares alados, machos y hembras, que migran a malezas donde las hembras oviponen para pasar parte del invierno al estado de huevo y luego volver a las gramíneas cultivadas

después de la macolla y antes de aparecer la hoja bandera. *S. avenae* transmite el virus causante del mosaico y enanismo de las gramíneas (González, 1989; Artigas, 1994).



Figura 11.10. *Sitobion avenae* (Fabricius)

Hospederos: *Agrostis*, arroz, avena, ballicas, bromus, cebada, centeno, falaris, pasto ovillo y trigo (González, 1989; Artigas, 1994).

Control natural: El pulgón verde oscuro de la avena registra los mismos enemigos naturales entomófagos y hongos mencionados para *R. padi*.

Pulgón manchado de la alfalfa, *Therioaphis trifolii* (Monel) (Hemiptera: Homoptera: Aphididae)

Distribución: Desde la región de Valparaíso a la región de Los Lagos. Presente en los cinco continentes (Prado, 1991).

Apariencia y hábitos: Pulgón pequeño de 1,5 mm de largo, amarillo pálido, café muy claro o café amarillento. Cabeza con ojos rojizos; antenas casi tan largas como el cuerpo. Tórax con patas del mismo color del cuerpo, con el tercio inferior de las tibias y el tarso más oscuro; alas con venación simple pero muy marcada. Abdomen con seis hileras de manchas oscuras en el dorso; las dos hileras centrales hasta la mitad llevan dos cerdas romas insertas en un pequeño tubérculo; las manchas más pequeñas llevan una sola cerda roma (Figura 11.11).



Figura 11.11. *Therioaphis trifolii* (Monel)

Sifones poco notorios; la cauda, en su extremo apical, tiene dos cerdas largas; a ambos lados de la cauda están las placas anales, con tres cerdas cada una.

Especie partenogénica, ovovivípara. Las ninfas mudan cuatro veces antes de alcanzar su estado adulto. Los ciclos de vida son más cortos en verano y en invierno se alargan a más de 45 días, permaneciendo los ejemplares en la superficie del suelo, bajo la hojarasca.

En climas fríos suele aparecer una generación sexuada para invernar al estado de huevo. En la parte aérea de la vegetación los pulgones se presentan a mediados de octubre, decreciendo la población en enero para aumentar rápidamente, alcanzando la cúspide en abril para llegar a su mínimo en junio.

El ataque de este áfido provoca manchas rojizas en los folíolos, los cuales posteriormente se secan. También puede provocar enanismo en las plantas (Zúñiga & Aguilera, 1989).

Hospederos: Alfalfa, trébol blanco y trébol rosado (Prado, 1991; Artigas, 1994).

Control natural: *Eriopis connexa chilensis* Hofmann, *Hippodamia convergens* Guérin-Ménéville, *H. variegata* (Goeze) (Coleoptera: Coccinellidae) y *Allograpta* sp. (Diptera: Syrphidae) (Prado, 1991; Artigas, 1994).

Otros pulgones asociados a praderas y cultivos suplementarios: *Aphis fabae* (Scopoli), *Aphis gossypii* Glover, *Amphicercus* sp., *Aulacorthum solani* (Kaltenbach), *Brachycaudus belichrysi* (Kaltenbach), *Diuraphis noxia* (Mordvilko), *Macrosiphum euphorbiae* (Thomas), *Metapolophium dirhodum* (Walker), *Myzus ornatus* Laing, *Myzus persicae* (Sulzer), *Rhopalosiphum maidis* (Fitch), *Schizaphis graminum* (Rondani) (Prado, 1991; Artigas, 1994; Zúñiga, 1967).

Control artificial de pulgones: En general, considerando la actividad de los agentes naturales entomófagos de control para pulgones en praderas, las aplicaciones de control artificial químico deben efectuarse de manera selectiva y en casos justificados, con productos de acción sistémica, translaminar o reguladores del crecimiento, solamente cuando las poblaciones de pulgones recrudecen y alcanzan niveles críticos, dependiendo de la especie de pulgón.

Para el pulgón azul de la alfalfa, cuando la planta tiene entre 9 a 12 cm el nivel crítico es de 10 a 13 ejemplares por tallo y con 30 cm de altura la población crítica es de 40 a 50 pulgones por tallo.

Para el pulgón verde de la alfalfa la población crítica estimada es de 40 a 50 ejemplares cuando la planta tiene menos de 30 cm y más de 100 cuando la planta alcanza sobre los 60 cm.

En el caso del pulgón manchado de la alfalfa la población crítica depende de la estación del año: 40, 20 y 70 pulgones por tallo en primavera, verano e invierno respectivamente, y 20 pulgones por tallo si se trata de una resiembra.

No se recomienda aplicar insecticidas en ningún caso si al efectuar golpes de red, en una pradera, aparece una chinita o más por cada cinco a diez pulgones, o tres o más larvas de chinitas por cada 30 a 40 pulgones (Aguilera *et al.*, 1996).

Barrenadores de plantas

Los barrenadores de las plantas, corresponden a insectos del orden Coleoptera, Lepidoptera o Diptera, de pequeño tamaño, con actividad principalmente nocturna. El estado larvario perfora los tallos de plantas jóvenes y su daño les causa la muerte por desecación. En algunas especies de estos órdenes el ataque a las plantas comienza cuando la semilla está germinando y luego perforan el tallo, otras en cambio perforan la raíz de la planta en desarrollo. Por lo general los adultos tienen hábito crepuscular o nocturno, prácticas alimenticias diferentes al estado larvario y no provocan la muerte de la planta.

Gorgojo de la ballica, *Listronotus bonariensis* (Kuschel) (= *Hyperodes bonariensis* Kuschel) (Coleoptera: Curculionidae).

Distribución: En Chile, desde la región de Coquimbo a Magallanes. Presente en Argentina, Australia, Bolivia, Brasil, Nueva Zelanda y Uruguay (Prado, 1991; Artigas, 1994).

Apariencia y hábitos: Adulto pardo grisáceo, cuerpo cubierto de escamas grises, pequeño, de 3 mm de largo. Cabeza con antenas geniculadas, largas; rostro prolongado con las piezas bucales en el extremo anterior;

ojos alargados ubicados lateralmente. Pronoto más ancho que la cabeza y levemente más ancho que largo, puntuado, granuloso, de bordes redondeados con pilosidad corta dirigida hacia el sector anterior del cuerpo, dorsalmente con tres estrías longitudinales blancas o cremosas, la central más corta que las laterales, estas últimas se prolongan a los élitros hasta un tercio de su longitud. Élitros más anchos que el pronoto en el margen anterior, borde anterior escotado; área humeral redondeada, bordes laterales semiparalelos en dos tercios de su longitud, pilosidad erecta corta. Escutelo visible, redondeado, blanco cremoso, dándole continuidad a la estría central del pronoto. Patas del mismo color del cuerpo, coxas anteriores y medias globosas, posteriores no globosas; las anteriores muy juntas, medias algo separadas y posteriores separadas; trocánteres escasamente visibles; fémures robustos; tibias alargadas con pilosidad blanca con fórmula tarsal 4-4-4 con uñas simples y curvas (Figura 11.12).



Figura 11.12. Adulto de *Lissonotus bonariensis* (Kuschel)

El huevo mide de 0,3 a 0,5 mm de largo, curvo, gris oscuro. La larva plenamente desarrollada mide de 3 a 5 mm de largo con la cabeza café oscura; cuerpo blanco cremoso con cerdas poco notorias café claro ubicadas a lo largo del dorso y los costados, destacándose las que se encuentran en los últimos dos segmentos posteriores del abdomen. La pupa mide de 2,5 a 3 mm de largo, es blanca cremosa, exarata con sus apéndices expuestos.

El estado adulto tiene capacidad para volar y vivir hasta nueve meses, pudiendo subsistir seis semanas sin alimentarse. Tiene hábito nocturno; durante el día se esconde en la base de los tallos, cerca de la superficie del suelo. Cuando está activo sobre las plantas hospederas y percibe molestia externa se deja caer al suelo, aparentando estar muerto. La hembra inicia la postura de huevos en septiembre y puede continuar hasta noviembre con una activa dispersión en periodos secos y calurosos. Los huevos son depositados en grupos de tres a cinco, preferentemente bajo el primer nudo de los hospederos gramíneos cubiertos por la hoja basal. Cada hembra alcanza, en promedio, una postura de 125 huevos. Los huevos eclosionan a los 20 días y las larvas se introducen en el tallo alcanzando su pleno desarrollo entre las siete y ocho semanas. En el interior de cada tallo de ballica se encuentra, por lo general, una larva, que puede migrar a otro tallo, dejando un orificio, cuando su alimento no es suficiente para continuar su desarrollo. Este, en promedio, se completa a los 60 días. Al cumplirse este periodo, la larva abandona el tallo, horadándolo y se deja caer al suelo para enterrarse un par de centímetros para pupar. En estado de pupa permanece alrededor de 15 días. Después emerge el adulto para iniciar una segunda generación, que se completa en marzo con la emergencia de nuevos adultos. Estos entran en diapausa para pasar el invierno y reanudar su actividad nuevamente en septiembre (Aguilera & Marín, 1994; Artigas, 1994).

Hospederos: Alfalfa, avena, ballica, bromo, cebada, chéptica, festuca, maíz, pasto ovido, repollo, trébol y trigo (Prado, 1991; Artigas, 1994). El daño del gorgojo de la ballica se acrecienta de norte a sur, siendo las regiones de La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos las más afectadas por este insecto.

Control natural: *Microctonus hyperodae* Loan (Hymenoptera: Braconidae); *Patasson atomaria* (Brethes) (Hymenoptera: Mymaridae) (Prado, 1991). Algunos cultivares de ballica tienen un hongo endofítico, *Neotyphodium lolii* (Latch & Samuels) *Epichloe festucae* var. *lolii* Leuchtman, Schardl & M.R. Siegel, que puede controlar la larva de

L. bonariensis dependiendo de su concentración en la planta (Galdames, 1993; Demanet, 2008).

Otra especie de *Listronotus* asociada a praderas y cultivos suplementarios es *Listronotus minutus* (Blanchard), que se controla naturalmente con los mismos agentes bióticos de *L. bonariensis*.

Barrenador del maíz, *Elasmopalpus angustellus* Blanchard (Lepidoptera: Pyralidae)

Distribución: Desde la región de Arica y Parinacota a La Araucanía; también está presente en las Islas de Juan Fernández (Prado, 1991; Artigas, 1994).

Apariencia y hábitos: El estado adulto es una mariposa pequeña de 2,0 cm de expansión alar. Cabeza con antenas filiformes. Tórax con las alas anteriores grises y con manchas oscuras en el centro, margen lateral claro; las alas posteriores son claras, con venación destacada y una línea parda antes del borde lateral y posterior; borde lateral, posterior y anal blanco cremoso, con apariencia deshilachada. Abdomen con el último segmento visible más angosto y largo que los anteriores, con apariencia pilosa. Huevos blanco cremosos o blancos verdosos. Las larvas plenamente desarrolladas son castaño verdosas de 2,0 cm de largo. La pupa se encuentra envuelta en un capullo sedoso con adherencias del terreno donde habita.

La postura de huevos ocurre en primavera y son depositados por la hembra en los tallos y hojas de su planta hospedera; también pueden oviponer en el suelo. Al cabo de una semana emergen las larvas que, inicialmente, se alimentan en las hojas y posteriormente se introducen en el tallo haciendo una galería para alimentarse y a través de un orificio en el cuello de la planta, van tejiendo un capullo sedoso protector externo donde se refugian cuando no se alimentan. La galería que construyen es limpia debido a que sus excrementos los adosan a la pared externa al capullo con material diverso (Figura 11.13).



Figura 11.13. Orificio y capullo de *Elasmopalpus angustellus* Blanchard

El estado de larva concluye 20 días después de la eclosión de los huevos, pasando al estado de pupa o crisálida, que se mantiene en el interior del capullo durante otros 15 días. Los adultos, machos y hembras, rompen el capullo para salir al exterior y reanudar el ciclo. Inverna en cualquier estado, menos como huevo (González, 1989; Artigas, 1994).

Hospederos: Alfalfa, espárrago, falaris, frutilla, garbanzo, lenteja, linaza, lupino, maíz, poroto, maravilla, melón y sorgo (González, 1989; Prado, 1991; Artigas, 1994).

Por efecto de su alimentación se altera el crecimiento de su hospedero, pudiendo provocar la muerte de las

plantas jóvenes, lo que se aprecia como espacios vacíos (raleo) en las hileras de siembra.

Control natural: No hay registros en Chile de enemigos naturales entomófagos específicos para *E. angustellus*. Los parasitoides que se mencionan en algunos registros corresponden a *E. lignosellus* (Zeller), especie que no estaría presente en Chile (Artigas, 1994; Prado, 1991).

Control artificial de barrenadores de plantas: Para el control artificial de insectos perforadores de las plantas se debe recurrir a la aplicación de insecticidas.

En lugares donde es frecuente el ataque de algunas de las especies de perforadores se pueden aplicar preventivamente insecticidas a la semilla para evitar el daño temprano de las larvas.

Si se detectan daños de adultos, conjuntamente con larvas y dependiendo de la intensidad de ataque, se pueden aplicar insecticidas al follaje, de preferencia aquellos que tienen formulación en mezcla de un insecticida de ingestión más un sistémico. Así se controla simultáneamente al adulto en el follaje y las larvas en el interior de la planta. Según las circunstancias, puede ser necesario efectuar una segunda aplicación a los 15 días después de la primera. Los adultos barrenador del maíz no causan daños, solamente las larvas.

En general para el control de estos insectos es conveniente tener en cuenta el ciclo vital, estacional y el hábito de vida de los mismo, además de efectuar previamente un monitoreo de la plaga para decidir la mejor acción de control artificial.

Fitófagos de raíces

Los insectos fitófagos de raíces en praderas y cultivos suplementarios corresponden a especies, mayoritariamente, del orden Coleoptera pertenecientes a las familias Curculionidae, Elateridae, Scarabaeidae y Scolytidae. También especies del orden Diptera de las familias Stratiomyidae y Tipulidae, entre las más importantes, con metamorfosis holometábola y ciclo vital univoltino.

De todos los estados, el daño más significativo de estos fitófagos es causado por el estado de larva, de hábito subterráneo y cuyos adultos consumen follaje, algunos en las mismas especies de plantas y otros en especies vegetales distintas a las de sus larvas.

Dependiendo de las especies de insectos, las larvas se alimentan externamente de las raíces otras lo hacen en el interior haciendo galerías e, independiente de la forma de ataque, en la pradera se produce pérdida de plantas que, en casos graves, obliga a la resiembra o al cambio de cultivo.

En praderas del sur de Chile estos insectos fitófagos son los más importantes y los que causan mayores daños, siendo complejo y difícil el control artificial. Este a veces es económicamente injustificable cuando el estado larvario se encuentra en pleno desarrollo, próximo a la pupación.

San Juan verde, *Hylamorpha elegans* (Burmeister) (Coleoptera: Scarabaeidae)

Distribución: El San Juan verde se encuentra presente desde la región de Valparaíso a Los Lagos (Saíz *et al.*, 1989; Cisternas, 1986; González, 1989; Prado, 1991; Artigas, 1994).

Apariencia y hábitos: El insecto adulto del San Juan verde mide en promedio 1,7 cm de largo y 0,80 cm de ancho máximo. Tiene el dorso verde, brillante, con escasa pilosidad blanca. La cabeza es verde con un reborde oscuro en el sector anterior; las antenas son de color café claro. Tórax con el pronoto y escutelo del mismo color de la cabeza; élitros verdes, algo dorados en el sector humeral y también en el sector posterior de los mismos; patas verdes con dorado y pelos blancos; las hembras con las patas anteriores más oscuras, de color café y dentadas. La parte ventral del cuerpo tiene pilosidad blanca. Huevo prácticamente redondo, de 0,25 cm de largo y 0,24 cm de ancho, de color blanco cremoso, liso y brillante (Figura 11.14).

El ciclo vital del San Juan verde dura un año, por lo tanto, es un insecto univoltino. Su periodo de pleno vuelo ocurre desde mediados de diciembre a la segunda semana de enero. Excepcionalmente y de manera esporádica algunos ejemplares vuelan después de la segunda semana de septiembre. Machos y hembras se congregan en los robles o hualles para alimentarse del follaje y copular. Las hembras fecundadas vuelan durante el crepúsculo y anochecer para depositar sus huevos en el cultivo, enterrados a unos 5,0 cm en el suelo. Entre los 15 a 25 días después de la postura ocurre la eclosión, iniciándose el estado larvario subterráneo durante

el cual son conocidos como gusanos blancos. La larva pasa por tres estadios, soterrada a 10 ó 15 cm de profundidad, alimentándose de las raicillas y raíces de su hospedero. Es del tipo escarabaeiforme, en forma de la letra C cuando está en reposo, con pelos ralos y castaños; cabeza expuesta, notoria, color café, con fuertes mandíbulas; patas blancas con pelos. Su cuerpo es plumoso, algo transparente y abultado en su extremo posterior. Plenamente desarrollada y próxima a terminar su estado es amarillo cremoso, de 2,5 cm de largo y 1 cm de ancho. La larva del San Juan verde se distingue por la abertura anal, ubicada en el sector del ráster, presentándose como una línea arqueada con sus extremos hacia el interior, rodeada de pelos largos y cortos bien destacables. A finales de octubre comienza el periodo de pupación de los primeros ejemplares, el cual se intensifica en noviembre. La pupa es del tipo exarada, ovalada, de 2 cm de largo, de color castaño claro, con su exuvia larval cubriendo el cuerpo, pero algo abierta longitudinalmente por el dorso. En diciembre emergen los adultos del suelo para reiniciar el ciclo anual. El adulto del San Juan verde también suele alimentarse del follaje de otras plantas ajenas al roble, conociéndose más de 30 hospederos. El consumo de follaje por los adultos de este insecto no es económicamente importante, no así el daño que podría causar el estado larvario al consumir raicillas y raíces (González, 1989; Artigas, 1994; Cisternas, 1986; Aguilera *et al.*, 1986).



Figura 11.14. Larvas y adulto de *Hylamorphia elegans* (Burmeister)

Hospederos: Arándano, abedul, acacia, avellano europeo, cerezo, coigüe, eucaliptos en viveros, fresno, raulí, roble, achicoria, alfilerillo, arvejilla, ballica, cebada, centeno, chamico, cola de zorro, diente de león, duraznillo, fromental, hierba del chanco, hualputra, pasto miel, pasto ovillo, peonía, pino insigne en viveros, raps, siete venas, tréboles y trigo (Artigas, 1994).

Control natural: Como agentes de control natural están los entomófagos *Calosoma* sp., *Ceroglossus* sp., *Pterostichus* sp. (Coleoptera: Carabidae); *Psilocephala* sp. (Diptera: Therevidae); *Cratopoda* sp. (Diptera: Asilidae); *Morphodexia barrosi* (Brethes) (Diptera: Tachinidae) y *Elaphoroptera* sp. (Hymenoptera: Tiphidae). Entre los entomopatógenos se encuentran los hongos *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) y *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin (Fungi: Deuteromycotina: Hyphomycetes) y al nematodo *Pristionchus* sp. (Rhabditida: Diplogasteridae), que es un nematodo entomopatógeno adaptado a suelos fríos de La Araucanía (Prado, 1991; Artigas, 1994; Aguilera *et al.*, 2001).

Pololo café o pololo carmelita, *Phytolaema herrmanni* Germain (Coleoptera: Scarabaeidae)

Distribución: El pololo café o carmelita se encuentra presente desde la región del Maule a Los Lagos (Prado, 1991).

Apariencia y hábitos: El estado adulto de *P. herrmanni* mide, en promedio, 15 mm de longitud y 7 mm de ancho máximo. El cuerpo es de color café, puntuado, con pilosidad corta y erecta. Cabeza café oscura, excepto el clipeo que es más claro; antenas lameladas del mismo color del clipeo; ojos negros ubicados lateralmente. Tórax con el pronoto café oscuro y escutelo triangular del mismo color; élitros café claros; patas del mismo color de los élitros con las tibias, tarsos medios y posteriores más largos que los anteriores; tibias anteriores espolonadas (Figura 11.15). Larvas escarabeiformes en forma de C, blandas de 15 mm de longitud cuando se encuentran plenamente desarrolladas; la cabeza de color café. Huevos blancos lechosos.

Insecto univoltino. Los adultos del pololo café o también conocido como pololo carmelita, inician sus vuelos en octubre emergiendo del suelo al crepúsculo o al anochecer para aparearse. Las hembras fecundadas se introducen en el suelo para poner sus huevos. Los machos después de la copula mueren y al igual que las

hembras no se alimentan, por lo que la vida como adulto es corta y el periodo de vuelo alcanza, en promedio 15 días, siendo muy abundante los primeros días, a una altura no superior a 100 cm del suelo.

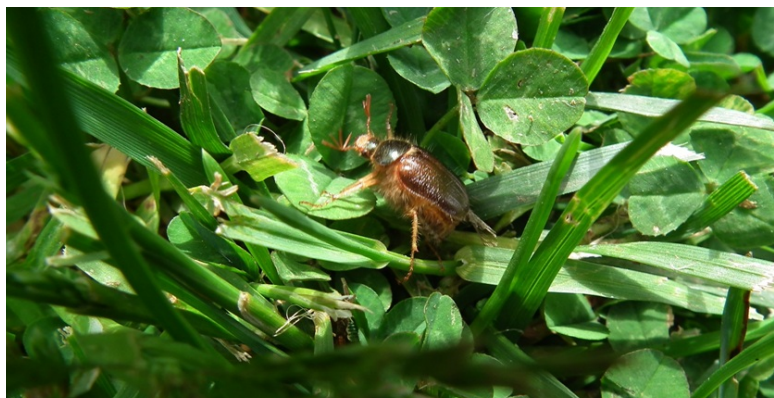


Figura 11.15. *Phytolaema hermanni* Germain

Los huevos eclosionan en noviembre y las larvas neonatas se encuentran en el suelo a 20 cm de profundidad y plenamente desarrolladas en invierno alcanzan los 40 cm soterradas. Durante el estado de larva consumen ávidamente raíces causando graves daños a la pradera, consumiendo los pastos nobles y dejando solamente malezas y el terreno con abundantes orificios por metro cuadrado. Las larvas se transforman en pupa a comienzos de primavera y después de 25 a 30 días emergen los adultos del suelo para iniciar sus vuelos con un nuevo ciclo vital y estacional (Artigas, 1994; Cisternas, 1986; Aguilera *et al.*, 1996; González, 1989).

Hospederos: Praderas, trigo (Artigas, 1994).

Control natural: Como enemigos naturales de *P. hermanni* se menciona a *Morphodexia barrosi* (Brethes) (Diptera: Tachinidae) y al hongo *Matarbizium anisopliae* (Metschnikoff) (Prado, 1991).

Pololos de patas largas, *Sericoides* sp. (Coleoptera: Scarabaeidae)

Distribución: Los pololos de patas largas pertenecientes al género *Sericoides* comprenden especies típicamente del sur de Chile; sin embargo, se encuentran desde la región Metropolitana a Los Lagos (Prado, 1991).

Apariencia y hábitos: El género *Sericoides* registra alrededor de 50 especies siendo las más comunes en Chile *S. convexa* Germain, *S. germaini* DallaTorre, *S. obesa* Germain, *S. viridis* Solier y *S. ruficola* Solier.

Los pololos de patas largas son alargados, con los bordes casi paralelos, pequeños, de entre 0,5 a 0,8 cm de largo por 0,3 a 0,4 cm de ancho. Los ejemplares adultos son de color castaño rojizo o verde brillante, oscuros (Figura 11.16). Tienen la cabeza dirigida hacia abajo, con ojos divididos por la prolongación de la frente. Antenas lameladas y pilosas. Escutelo pequeño y triangular. Protórax más ancho que largo. Élitros alargados, con el sector humeral redondeado, puntuaciones no muy definidas. Patas largas, especialmente las metatorácicas, con el tarso igual o más largo que la tibia.



Figura 11.16. *Sericoides* sp

Algunos aspectos de la biología de las especies de pololos de patas largas son poco conocidos, aunque, en general, es similar a la de otros escarabaeidos. Son univoltinos y los adultos colocan los huevos enterrados a profundidades variables, a aproximadamente 20 cm. Los huevos son depositados desde finales de septiembre hasta diciembre, son casi redondos, opacos, no transparentes, con un periodo de incubación cercano a los diez días. Las larvas son del tipo escarabaeiforme, blancas, con pelo y cabeza de color café. Pasan el invierno consumiendo raíces y en su desarrollo pleno alcanzan los 0,8 cm de largo en siete meses. Cumplido este periodo, las larvas cambian su estado a pupa, permaneciendo como tales de 30 a 35 días, para posteriormente dar paso a la emergencia de los ejemplares adultos, que inician un nuevo ciclo vital a partir de octubre (González, 1989; Artigas, 1994; Cisternas, 1986; Aguilera *et al.*, 1996) (Figura 11.17).

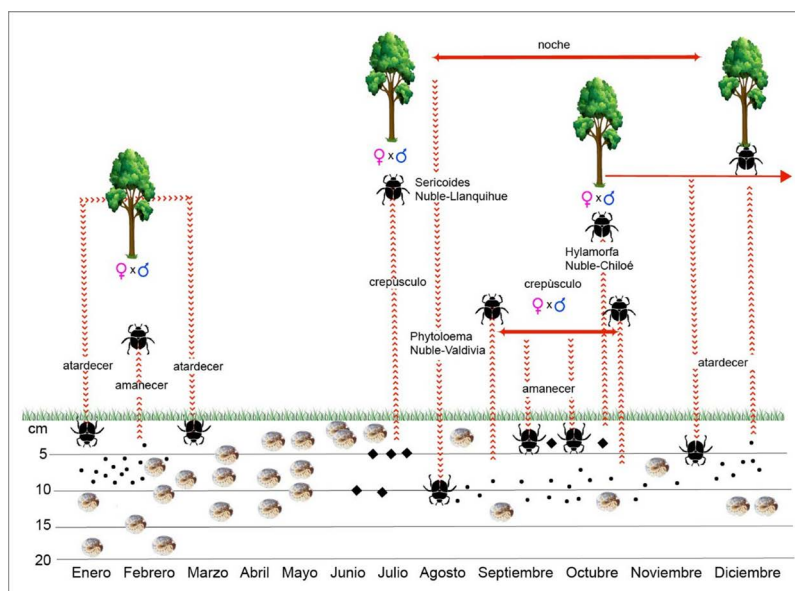


Figura 11.17. Esquema del vuelo y ciclo de los Scarabaeidae comunes en praderas.

Hospederos: Arándano, avena, ballica, cebada, encino, festuca, pino insigne en viveros, roble y trigo (Artigas, 1994; Prado, 1991).

Control natural: No hay registros de insectos entomófagos para estas especies de pololos de patas largas (Prado, 1991); sin embargo, sí que se han aislado para ellas cepas del hongo *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) y de *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin (Gerding *et al.*, 2002).

Otros escarabaeidos fitófagos asociados a praderas y cultivos suplementarios: *Athlia plebeja* (Burmeister), *A. rustica* Erichson, *Brachyterus prasinus* Guérin-Méneville, *B. viridis* Solier, *Hylamorpha cilindrica* Arrow, *Tomarus villosus* (Burmeister), *Phytolaema mutabilis*, *Schizochelus breviventrus* Philippi, *Schizochelus serratus* Philippi (Cisternas, 1986; Cisternas & Carrillo, 1989).

Gusano blanco del poroto, *Naupactus leucoloma* Boheman (= *Graphognatus leucoloma* (Boheman) (Coleoptera: Curculionidae)

Distribución: En Chile se ha descrito desde la región de Arica y Parinacota a Los Lagos e Isla de Pascua. Su distribución incluye Argentina, Australia, USA, Nueva Zelanda, Perú, Sudáfrica y Uruguay (Prado, 1991; Artigas, 1994; González, 1989; Elgueta, 1993).

Apariencia y hábitos: El adulto es un insecto gris claro de 0,8 a 1,5 cm de largo con pilosidad blanca y erecta en el dorso, especialmente en la parte posterior del cuerpo. Cabeza de base ancha, con un surco central y el rostro prolongado, característica de los curculiónidos; antenas acodadas más largas que la cabeza, acabando con el segmento terminal anterior o capítulo abultado; ojos sobresalientes, algo ovalados, negros, ubicados lateralmente en la cabeza y sobre ellos una línea blanca cremosa. Tórax con el protórax más ancho que largo, bordes redondeados y tres franjas escamosas longitudinales blanquecinas, las laterales algo curvas y la central

recta (Figura 11.18). Escutelo pequeño, triangular y escamoso. Élitros más largos que el resto del cuerpo, con una línea blanca bien definida en sus costados. Patas caminadoras y pilosas. Huevos de color blanco amarillentos, ovalados. La larva de *N. leucoloma* es blanca cremosa, un tanto pilosa, con la cabeza algo retraída siendo nítidamente visibles las mandíbulas de color café, esclerotizadas y apoda. Pupa del tipo exarata, blanca cremosa en su inicio y al final de su desarrollo oscura.



Figura 11.18. *Naupactus leucoloma* Boheman

El gusano blanco del poroto es una especie de curculiónido partenogénica telitoca, por lo tanto, todos los ejemplares son hembras fértiles, desconociéndose la existencia del macho. Es un insecto univoltino y en verano los ejemplares adultos se alimentan del follaje, depositando sus huevos en el suelo en lugares protegidos. Un ejemplar puede colocar, en una postura, sobre 20 huevos, adheridos entre sí y al substrato por una substancia mucilaginoso que emite el insecto al oviponer, pero dejando los huevos visibles. Se estima que una hembra adulta puede poner sobre 1.000 huevos. La larva emerge a las dos o tres semanas, enterrándose en el suelo, cerca de la superficie donde se alimenta de las raicillas. Soterrada en el transcurso de diez a 18 meses se desarrolla pasando por varios estadios llegando a contabilizarse 11. En invierno lo pasa en este estado de manera activa. El periodo de pupa ocurre soterrada a 20 cm de profundidad, desde finales de la primavera a finales del verano. Los adultos comienzan a emerger a inicios de diciembre, produciéndose la mayor emergencia en pleno verano, reanudando así su ciclo, el cual puede durar entre uno y dos años, dependiendo de las condiciones ambientales. Como adultos invernan pocos ejemplares, los cuales ponen sus huevos tempranamente en la primavera e inicios del verano (González, 1989; Artigas, 1994; Elgueta, 1993; Aguilera *et al.*, 1996).

Hospederos: El gusano blanco del poroto es un curculiónido muy polífago, registrándose más de 400 especies de plantas hospederas que son atacadas por este insecto, tanto en estado adulto como de larva. Entre sus hospederos comunes destacan: alfalfa, arándano, avena, frutilla, lenteja, limonero, lupino, naranjo, maíz, papa, pimiento, poroto, remolacha, tréboles y trigo (Artigas, 1994; Prado, 1991).

Control natural: No se tiene registro de entomófagos para *Neupactus leucoloma*, según la bibliografía consultada.

Otros curculiónidos asociados a praderas y cultivos suplementarios: *Asynonychus cervinus* (Boheman), *Atrichonotus minimus* (Blanchard), *A. pacificus* Kuschel, *Cylindrorhinus* sp., *Listroderes costirostris* Klug, *L. subcinctus* Boheman, *Naupactus ruiji* (Brethes), *Otiobrychus rugosostriatus* (Goeze), *O. sulcatus* (Boheman), *Sitona discoidens* Gyllenhal (Elgueta, 1993; Elgueta & Marvaldi, 2006; Elgueta, 1993).

Barrenador de la raíz del trébol rosado, *Hylastynus obscurus* (Marsham) (Coleoptera: Scolytidae)

Distribución: Presente desde la región del Maule a Los Lagos. Originario de Europa e introducido también en el norte de África y EE.UU. (Prado, 1991).

Apariencia y hábitos: El insecto adulto alcanza una longitud de 3 mm. Cuerpo oval, de color café claro cuando está recién emergido y posteriormente se torna café oscuro (Figura 11.19). El huevo es blanco, ovoide, de 0,7 mm de longitud. Larva ápoda, cabeza café, cuerpo blanco engrosado en el sector medio, de 1 a 3 mm de largo. Pupa exarata, blanca con ojos rojos de 2,7 mm de longitud.



Figura 11.19. *Hylastinus obscurus* (Marsham)

El ciclo vital, considerado desde la ovoposición efectuada en primavera, tiene un periodo de 12 meses, se trata, por lo tanto, de un insecto univoltino. El vuelo de dispersión ocurre entre octubre y diciembre. El huevo es colocado en la raíz, introducido individualmente en una celdilla, de donde nace la larva para horadar la raíz. Cumplido el periodo larvario y de pupa, se han contabilizado hasta 39 adultos por planta (Carrillo & Mundaca, 1994; Castillo & Vender, 1973; Cisternas & Norambuena, 1991; Aguilera *et al.*, 1996).

Hospederos: En Chile solamente se ha descrito en trébol rosado. El daño lo causan larvas y adultos, que se alimentan de la raíz. El adulto construye celdillas para poner sus huevos y las larvas consumen el interior de la raíz, manifestándose en la planta atacada debilitamiento, escaso arraigo y finalmente su muerte. El ataque de *H. obscurus* puede alcanzar a aproximadamente el 70% de las plantas durante el segundo y tercer año de establecimiento de la pradera y la cantidad de ejemplares en el interior de la raíz depende del diámetro de la misma, a mayor diámetro más insectos por raíz, con un promedio de cinco ejemplares. En otros países, además de estar en trébol rosado, se ha descrito en raíces de alfalfa y espinillo (Carrillo & Mundaca, 1974; Aguilera *et al.*, 1996).

Control natural: No hay determinaciones de entomófagos para este insecto en Chile.

Control artificial: El control químico para larvas de *Hylastinus obscurus* es, por lo general, ineficiente debido a lo complejo de la biología del insecto; sin embargo, a pesar de que el estado adulto puede encontrarse durante todo el año, para un eventual control es necesario considerar el vuelo de dispersión del insecto. Este ocurre de octubre a diciembre, por lo que una aplicación de insecticida podría efectuarse a mediados de octubre y otra a mediados de diciembre, utilizando un insecticida de ingestión y contacto con efecto residual de dos semanas o más. Habría que tener la precaución de considerar la carencia antes de cortar el trébol.

Si la siembra se efectúa en el periodo de febrero a marzo o de septiembre a octubre, no es necesario aplicar el insecticida hasta la siguiente temporada. La rotación del cultivo es otra posibilidad de eludir el ataque de este insecto cuando el estado de la pradera está muy deteriorado. En este caso es conveniente que, al romper la pradera a finales de la primavera, exponer las raíces a la intemperie por un tiempo para eliminar larvas y, posteriormente, preparar el terreno para una siembra de trébol blanco, cuando se requiere praderas de larga duración.

Gusanos alambre, *Bedresia nigra* (Solier) (= *Grammophorus niger* (Solier) y *Bedresia deromecoides* (Schwartz) (= *Medonia deromecoides* Schwarz) (Coleoptera: Elateridae)

Distribución: *B. nigra* se encuentra desde la región de Coquimbo a Aysén y *B. deromecoides* desde La Araucanía a Los Lagos (Prado, 1991; Artigas, 1994).

Apariencia y hábitos: Los adultos de *B. deromecoides* y *B. nigra* son de cuerpo alargado, duros, aplanados dorsoventralmente, de lados paralelos con el extremo posterior redondeado, oscuros, con velloso rala amarillenta, de 8 a 15 mm de largo, comúnmente conocidos como salta pericos por dar un salto cuando se colocan en la palma de la mano en posición invertida para recuperar su posición normal. La cabeza está parcialmente cubierta por el protórax, con ojos visibles, negros; antenas filiformes (Figura 11.20). Protórax puntuado, más ancho que la cabeza, en *B. nigra* con un surco longitudinal en el centro, con espinas laterales en el sector posterior proyectadas levemente sobre los élitros y borde posterior muy emarginado en *B. nigra*. Escutelo triangular, oscuro. Élitros con estriás longitudinales, más alargados en *B. deromecoides* con lados paralelos, redondeados en el extremo posterior. Patas caminadoras con tibia delgadas y tarsos pentámeros. Abdomen cubierto por los élitros.



Figura 11.20. *Bedresia nigra* (Solier)

Larvas cilíndricas, alargadas, notoriamente segmentadas, conocidas como gusanos alambre, de 15 a 20 mm, blanco amarillentas. Cabeza color café. Tórax con patas de cuatro segmentos, poco visibles. Abdomen con nueve segmentos visibles, el último con una placa dura, esclerotizada cuya morfología sirve para distinguir entre *B. deromecooides* y *B. nigra*.

Los adultos, con luminiscencia, vuelan de noche durante noviembre. Consumen algo de follaje y las hembras ponen sus huevos en el suelo. La larva se alimenta de raíces o penetra en raíces suculentas para comer. Las pupas permanecen enterradas a unos 5 cm por unos 25 a 30 días, luego emergen los ejemplares adultos en la primavera siguiente para iniciar un nuevo ciclo anual. Insecto univoltino.

En Chile estas especies no se han estudiado a cabalidad y con detalle su ciclo vital, estacional y desarrollo (González, 1989; Artigas, 1994; Aguilera *et al.*, 1996).

Hospederos: Acelga, alcachofa, alfalfa, arándano, crucíferas, espárrago, maíz, papa, praderas de ballica con trébol blanco, rábano, remolacha, repollo, trigo y zanahoria. También se encuentran atacando malezas (Prado, 1991; Artigas, 1994).

Control natural: En Chile no se tiene registro de enemigos naturales entomófagos.

Otros elatéridos asociados a praderas y cultivos suplementarios: *Conoderus chilensis* (Shwartz), *C. rufangulus* Gillet (Artigas, 1994).

Mosca tonta, *Chiromyza paulseni* (Philippi) (= *Tana paulseni* (Philippi)) (Diptera: Stratiomyiidae)

Distribución: Su distribución comprende las regiones de Bio-Bio a Los Lagos (Prado, 1991; Artigas, 1994).

Apariencia y hábitos: El estado adulto de este insecto es una mosca de color café grisáceo; la hembra mide 2 cm de longitud, el doble que el macho, con el abdomen que sobrepasa el largo de las alas. Cabeza oscura, antenas cortas y negras, con tres segmentos; ojos rojizos. Tórax algo brillante, oscuro, con pilosidad rala, amarillenta. Las alas son oscuras, transparentes, ahumadas (Figura 11.21).

Los huevos miden 1 mm de largo, blancos y alargados. Las larvas son de color café claro, alargadas, algo aplanadas. La apariencia de la pupa es similar a la de las larvas, de 10 a 15 mm de largo y la de menor tamaño corresponde al macho.

Las moscas se caracterizan por sus movimientos lentos, siendo fácilmente capturarlas con la mano, de donde deriva el nombre común de moscas tontas. La hembra coloca sus huevos en grupos de 15 a 20, levemente enterrados en verano, hasta completar una postura total de más de 100 huevos. Las larvas nacen a comienzos del otoño y este estado se prolonga de diez a once meses, alimentándose de las raicillas de las plantas y provocando la amarillez y muerte de las mismas. El periodo al estado de pupa dura 25 días. Los adultos emergen en verano para comenzar nuevamente su ciclo univoltino (Durán, 1963 y 1976; Artigas, 1994; Aguilera *et al.*, 1996).



Figura 11.21. *Chiromyza paulseni* (Philippi) (= *Tana paulseni* (Philippi))

Hospederos: Arándano, ballica, chépica, festuca, pasto ovilla, pasto cebolla, raps y trigo (Prado, 1991; Artigas, 1994).

Control natural: No hay descripciones de enemigos naturales entomófagos.

Control artificial de fitófagos de raíces: El control artificial de fitófagos de raíces es particularmente complejo debido al hábito de vida de las especies implicadas en praderas y los periodos en que causan el mayor daño, que coinciden con el menor desarrollo de las plantas.

Antes de decidir una acción de control es recomendable efectuar un chequeo en la pradera para determinar la o las especies presentes y su cantidad. En el caso que se detecte una población crítica, o en nivel de daño económico debería efectuarse un control temprano. Las larvas de escarabaeidos, comúnmente conocidas como gusanos blancos, se encuentran presentes durante todo el año, pero el mayor daño lo causan durante el periodo invernal, coincidente con el tercer estadio de las larvas que es el más voraz. El nivel crítico o de daño económico para *Phytolaema* se establece en una población de 25 larvas por metro cuadrado y para *Hylamorph* se eleva a 50 larvas por metro cuadrado.

El control químico de los gusanos blancos debería considerar el periodo de postura de las hembras adultas y después de 30 días efectuar la aplicación para reducir tempranamente la población del primer estadio larvario. Esto se puede hacer con un insecticida de ingestión y contacto perteneciente a la familia de los fosforado orgánicos de síntesis o un carbamato, considerando las propiedades físicas y biológicas del producto a utilizar, especialmente la presión de vapor al estado líquido, solubilidad en agua, efecto residual en el suelo, su persistencia y, principalmente, la carencia.

Para larvas de *Phytolaema* y *Sericoides* la aplicación de un insecticida debería efectuarse a finales de noviembre y para *Hylamorph* a finales de enero.

Al término del invierno o comienzo de la primavera es la época más aconsejable para la aplicación de control biológico con entomopatógenos, debido a que las condiciones de temperatura del suelo son más apropiadas para el posterior desarrollo de microorganismos, aunque un daño importante a la pradera ya se habrá producido, el control será notorio en la siguiente temporada al reducir la población de larvas. Para el control biológico con entomopatógenos, especialmente con hongos, es importante considerar la especie de gusano blanco implicado debido a la especificidad que presentan, existiendo cepas que son formuladas como insecticida para *Hylamorph* y otras para *Phytolaema* o *Sericoides*. A modo de ejemplo, para un pololo de patas largas, *Sericoides* sp., se han aislado cepas que alcanzan una efectividad del 90% como son la Qu M 363, Qu M 430 y Qu B 428, caracterizadas en Chile por INIA Quilamapu, Chillán (Gerding *et al.*, 2002).

Los nematodos entomopatógenos de los géneros *Steinernema* y *Heterorhabditis* también se pueden usar en control biológico. Son más generalistas en relación a la especificidad para los gusanos blancos, siendo también más efectivos en primavera y comienzos del verano (Aguilera *et al.*, 2001). La aplicación de hongos y nematodos

entomopatógenos se debe efectuar en días frescos y con baja incidencia de rayos UV.

Para el control químico de los adultos de escarabajidos o pololos es importante conocer el periodo de emergencia desde el suelo, cuando se inicia el vuelo de los ejemplares: septiembre para *Sericoidea*; octubre para *Phytolaema* y *Schizochelus*, octubre a diciembre para *Hylamorphia*. En la pradera es aconsejable utilizar insecticidas con muy buena acción de contacto durante el periodo de vuelo de los pololos, considerando que los adultos no se alimentan en la pradera y solo van allí las hembras para poner sus huevos soterrados.

Para el control químico de los gusanos alambre y las larvas de las moscas tontas se puede considerar la sugerencia indicada para el gusano blanco *Hylamorphia elegans*.

Es conveniente reiterar que para la aplicación de un insecticida debe respetarse el periodo de carencia y tener presente el efecto residual, antes de ingresar ganado a la pradera o el corte de la pastura para alimentarlo.

En general para el control de estos insectos es muy conveniente tener en cuenta el ciclo vital, estacional y el hábito de vida de los mismos, además de efectuar previamente un chequeo de la plaga para decidir la mejor acción de control artificial.

Polillas

El término polilla se refiere a insectos adultos, del orden Lepidoptera de tamaño pequeño, conocidos como micro lepidópteros, pertenecientes a las familias Tortricidae, Gelechiidae y Gracillariidae, que al estado larvario atacan hojas y tallos de plantas componentes de la pradera.

Los ejemplares adultos de polillas tienen antenas filiformes, cuerpo con las alas grises, pardo grisáceas o café claro, generalmente con manchas claras u oscuras en las alas anteriores. Las alas posteriores son más claras, con o sin manchas y venación destacada. Patas, en algunas especies, con espinas en las tibias. Las larvas viven construyendo galerías en las hojas.

Polilla del poroto, *Crosidosema* (= *Epinotia*) *aporema* (Walsingham) (= *Epinotia opposita* Heinrch) (Lepidoptera: Tortricidae)

Distribución: En Chile habita desde la región de Arica y Parinacota hasta el Bio-Bio e Isla de Pascua (Artigas, 1994). Es probable que se encuentre en la parte norte de la provincia de Malleco, en la región de La Araucanía. También está presente en América Central y otros países del sur de América.

Apariencia y hábitos: El insecto adulto corresponde a una mariposa pequeña, de color café claro con tonos grises y manchas oscuras de diferentes tamaños, que con sus alas anteriores extendidas mide aproximadamente 15 mm (Figura 11.22). En reposo mantiene sus antenas plegadas hacia atrás sobre las alas anteriores. Las alas posteriores, de color castaño más claro con venación visible y los bordes con pilosidad corta más oscura en su origen. Huevos blanco-amarillentos, algo aplanados de 0,25 mm de diámetro. La larva recién emergida mide 0,90 mm de largo, de color blanca cremosa y plenamente desarrollada es de color verdosa, alcanzando a medir 14 mm de longitud. Pupa del tipo obtecta de 6,5 a 7,0 mm de longitud, de color café oscuro, con dos hileras de espinas en cada segmento.



Figura 11.22. Polilla del poroto, *Crosidosema*.

La hembra de la polilla del poroto coloca sus huevos cerca de los brotes de la alfalfa, durante la primavera en el envés de los folíolos a lo largo de la nervadura central, individualmente uno al lado del otro. A veces suelen colocarlos en grupos de tres a nueve por hoja. También en otros cultivos, en las flores y vainas nuevas o en maduración. La larva sale del huevo, después de tres a cuatro días de incubación y se alimenta del corión del huevo; luego se moviliza para ubicarse en el brote apical de la alfalfa e introducirse en el interior del tallo donde construye su hábitat protegido con tela sedosa. Cuando el brote se deshidrata y seca, la larva se traslada a otro brote inferior descolgándose mediante la producción de un hilo sedoso. Después de cuatro estadios, tras unos 20 a 25 días, estando próxima a cambiar al estado de pupa, la larva plenamente desarrollada se descuelga con la emisión del hilo sedoso para crisalidar en el cuello de la planta o levemente enterrada en el suelo, donde permanece una semana. El adulto emerge para reiniciar una segunda generación cuyo ciclo vital se desarrolla en 30 días, para invernar como pupa. Cuando la larva ataca la vaina, penetra en ella para alimentarse de los granos en formación y semimaduros, produciendo el “apolillamiento” de los granos.

La polilla del poroto es una plaga primaria en la región de Arica y Parinacota, principalmente en los valles costeros, donde el ciclo vital se reinicia más de tres veces. También el ataque de la polilla del poroto es importante entre Atacama y Coquimbo y algunos sectores de la zona central; más al sur su importancia es menor, y es considerada como plaga secundaria u ocasional, con un ciclo vital más largo que alcanza los 50 días en el periodo de otoño e invierno (Graña, 1976; Guerrero, 1981; Ripa, 1981; Aguilera *et al.*, 1996; Artigas, 1994; González, 1989).

Hospederos: Alfalfa, arveja, galega, haba, maní, poroto, trébol (Artigas, 1994).

Control natural: *Nabis punctipennis* Blanchard (Hemiptera: Nabidae); *Eucelatoria australis* Townsed (Diptera: Tachinidae); *Encarsia porteri* (Mercet) (Hymenoptera: Aphelinidae); *Agathis* sp., *Apanteles* sp. (Hymenoptera: Braconidae); *Campoplex perdistinctus* (Viereck) (Hymenoptera: Ichneumonidae); *Trichogramma achae* Nagaraja and Nagarkatti, *Trichogramma brasiliensis* (Ashmead) (Hymenoptera: Trichogrammatidae); *Streptococcus* sp. (Bacteria: Streptococcaceae) y un virus *Baculovirus* (Prado, 1991).

Polilla del trébol blanco, *Porphyrosela mimnuta* Clarke. (Lepidoptera: Gracillariidae)

Distribución: Se distribuye desde la región de Valparaíso a Los Lagos. Está presente también en Argentina y Uruguay (Prado, 1991; Artigas, 1994).

Apariencia y hábitos: El estado adulto, conocido también como polilla negra del trébol blanco, con las alas extendidas mide 5 mm; cuerpo de color café oscuro. Cabeza cubierta con un penacho de pelos; ojos oscuros; antenas más cortas que el cuerpo, con los segmentos terminales blanco cremoso, amarillentos. Tórax con manchas dorsales plateadas en las alas anteriores, las posteriores angostas; patas largas, oscuras. Abdomen cobrizo con los últimos segmentos plateados. Huevos ovales, finamente ornamentados, blancos verdosos, de 0,30 mm de longitud. La larva neonata mide 0,45 mm, es blanca amarillenta y plenamente desarrollada mide 3,5 mm, con la cabeza café, protórax café claro y resto del cuerpo verde amarillento. Pupa sub cilíndrica, café, de 2,5 mm de largo.

Los adultos tienen hábito nocturno, aunque suelen volar durante el día. La hembra deposita sus huevos aislados durante la noche, adheridos al haz de los folíolos del trébol. Después de cinco días aparecen las larvas, cuyo desarrollo pasa por cinco estadios construyendo galerías bajo la epidermis de la hoja y dejando a su paso las fecas verde oscuras. Antes de pupar la larva une parte del folíolo con un hilo de seda y la pupa se forma en el interior de la galería durante cinco días y luego emerge el adulto para iniciar un nuevo ciclo. La hembra nuevamente deposita unos 70 huevos durante sus ocho a diez días de vida. El insecto es multivoltino, con varias generaciones durante el año, alargando su ciclo vital desde marzo hasta la primavera (Aguilera *et al.*, 1996; González, 1989; Artigas, 1994).

Hospederos: Preferentemente trébol blanco, pero también se ha detectado en trébol rosado (Aguilera *et al.*, 1996).

Control natural: *Apanteles* sp. (Hymenoptera: Braconidae); *Trichogramma minutum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae) (Aguilera *et al.*, 1996; Prado, 1991).

Polilla pinta rosa, *Fernadocrambus horoscopus* Bleszynski (Lepidoptera: Pyralidae: Crambinae)

Distribución: Aparentemente se encuentra desde la región de Valparaíso, incluyendo el archipiélago Juan Fernández de la isla Más Afuera o Robinson Crusoe, a La Araucanía (Gates-Clarke, 1965). De esta última región es de donde se tienen los mayores antecedentes biológicos de la especie por observaciones realizadas por el autor y que en este capítulo se presentan por vez primera.

Apariencia y hábitos: Polilla adulta de 10 a 15 mm de longitud, blanca cremosa (Figura 11.23). Cabeza con antenas filiformes, con los palpos labiales proyectados hacia adelante. Tórax con una envergadura alar entre 25 y 30 mm, con el primer par de alas alargadas con fondo pajizo, recorridas por una franja longitudinal blanca plateada y margen con fleco blanco plateado. Alas posteriores hialinas, también rodeadas por un fleco blanco plateado; patas largas. Huevo ovalado de 0,4 mm de longitud, con la base más ancha que el ápice, surcos longitudinales, blanco recién puesto cambiando a anaranjado antes de eclosionar. Larva eruciforme, de color café claro con manchas transversales rosadas a algo rojizas, cerdas dorsales, tres pares de patas torácicas y cuatro espuripedios pardos en el abdomen. Plenamente desarrolladas miden de 15 a 18 mm de longitud. La pupa o crisálida mide entre 10 y 15 mm, de color café claro a amarillento, con espiráculos café oscuro.



Figura 11.23. *Fernadocrambus horoscopus* Bleszynski

En la pradera los ejemplares adultos se presentan pasivos, quietos durante el día y solo vuelan cuando se les molesta hacia los ápices de las plantas. Normalmente se encuentran posados en el suelo, siendo nocturna su actividad habitual.

La hembra tiene una capacidad de postura superior a 200 huevos. El ciclo vital se inicia en octubre. Los adultos vuelan alrededor de 12 días y las hembras ponen los huevos a mediados de mes, eclosionando unos 10 a 15 días después. Las larvas emergen en primavera y completan su desarrollo en 60 días, después de pasar por ocho estadios. El periodo de pupa o crisálida, en el interior de la planta, se cumple en 15 días.

El ciclo vital de la segunda generación ocurre en verano, con inicios de vuelo a finales de enero, durante siete días, pasando el invierno en estado de larva para pupar a comienzos de primavera. El adulto inicia nuevamente su vuelo en octubre, siendo por lo tanto un insecto bivoltino.

Si se considera el ciclo estacional de *F. horoscopus*, los adultos se encuentran desde octubre a abril; los huevos desde noviembre a mediados de abril; las larvas desde finales de noviembre a mediados de octubre del año siguiente y las pupas desde mediados de octubre a inicios de marzo.

El daño es ocasionado por la larva y se inicia cuando esta se alimenta en la base de las primeras hojas y luego horada el tallo, en dirección opuesta al ápice, hacia el cuello de la planta, provocando deshidratación con amarillamiento y finalmente la muerte de la planta.

Hospederos: Ballica, chépica, festuca, pasto ovillo. En observaciones efectuadas en la región de La Araucanía, el 40% de las larvas se encontró en ballica, un 30% en festuca, un 25% en chépica y un 5% en pasto ovillo.

Control natural: No hay registros de enemigos naturales entomófagos.

Control artificial de polillas: Las polillas adultas en praderas no causan daños directos a la vegetación. El daño es efectuado por las larvas y para su control es posible la aplicación de insecticidas de diversos grupos como fosforados, carbamatos y nicotenoides. Estos insecticidas pueden afectar a la fauna benéfica, por ello es necesario observar si los parasitoides están regulando la población con un buen resultado. Si el ataque es severo

necesariamente se tiene que recurrir a estos insecticidas y se debe tener muy en cuenta el periodo de carencia que tenga el producto.

Los reguladores del crecimiento, como las acylureas, actúan como veneno estomacal de ingestión. Una alternativa para no dañar los enemigos naturales entomófagos es el uso del insecticida biológico a base de *Bacillus thuringiensis*.

Para que los productos reguladores del crecimiento e insecticidas biológicos actúen eficientemente deben asperjarse cuando las larvas se encuentren en sus primeros estadios. Cuando las larvas se encuentran plenamente desarrolladas, próximas a pupar, el regulador del crecimiento tiene baja efectividad, al igual que un insecticida biológico.

Gusanos y cuncunillas

Se denomina gusanos y cuncunillas a la mayoría de las larvas de lepidópteros pertenecientes a las familias Noctuidae y Hepialidae, que causan daños notorios en las praderas, concurriendo varias especies, algunas con grandes poblaciones.

Los gusanos, por lo general, son ocreos, grises, de aspecto grasoso, con pocos pelos o cerdas y de hábitos nocturnos; a su vez las cuncunillas son de color verde claro, de color verde oscuro o negras, con vellosidad erecta o decumbente y bandas blancas o amarillentas en el dorso y en los costados. Tienen tres pares de patas torácicas y tres pares de pseudópodos en el abdomen. Son mayoritariamente de hábitos nocturnos, aunque algunas especies son diurnas (Angulo & Wiegert, 1975).

Los adultos de gusanos y cuncunillas corresponden a mariposas de tamaño mediano, con antenas filiformes y a veces en los machos plumosas; tienen de 2,5 a 5,0 cm de expansión alar, vuelan al crepúsculo o durante la noche, siendo atraídas por la luz artificial. Las alas anteriores son escamosas, grises, pardas u oscuras, con manchas o puntos amarillos, o blanco cremoso y a menudo con bandas más oscuras. Las alas posteriores son blanquecinas, casi transparentes, sin escamas y con notoria venación longitudinal y algunas con bifurcaciones. Los adultos se alimentan de néctar de las flores y no causan daño a la pradera.

Los noctuidos asociados a praderas son más de 30 especies y alguna de ellas se encuentra solamente en el extremo norte del país. Estas tienen ciclo multivoltinos por las condiciones climáticas de los valles costeros del desierto, provocando daños considerables en alfalfa y otros cultivos (Angulo *et al.*, 1990; Aguilera, 1992; Aguilera & Gerding, 1990; Parra *et al.*, 2014; Vargas, 1967; Cortés, 1976; Cortés *et al.*, 1972).

Cuncunilla negra de las praderas, *Dalaca pallens* (Blanchard) (Lepidoptera: Hepialidae)

Distribución: Desde la región de Coquimbo a Aysén. Presente también en Argentina (González, 1989; Prado, 1991; Artigas, 1994).

Apariencia y hábitos: El estado adulto corresponde a una mariposa denominada mariposa fantasma, con una expansión alar de 30 mm. Cuerpo robusto, grisáceo, pardo claro o castaño oscuro. Cabeza pequeña con antenas cortas, pectinadas. Tórax piloso con las alas largas, los anteriores de color castaño claro con manchas variables y oscuras, las alas posteriores castaño grisáceas; patas delgadas, pilosas. Abdomen castaño oscuro, algo grisáceo. Huevos esféricos, negros, brillantes, pequeños de 0,5 mm de diámetro. Las larvas recién emergidas del huevo miden 1 mm de largo y plenamente desarrolladas miden 50 mm de largo. Tienen la cabeza oscura, globosa; el cuerpo cilíndrico, rugoso, oscuro casi negro, con pilosidad rala blanca amarillenta; patas torácicas desarrolladas con cerdas, cuatro pares de espirupedios abdominales, más un par en el noveno segmento. Pupa cilíndrica con espinas en el dorso y en la zona ventral.

D. pallens es una especie univoltina, de hábito nocturno. Los ejemplares adultos inician sus vuelos en enero hasta marzo. La hembra durante la noche esparce sus 2.000 huevos durante el vuelo, la mayoría quedan retenidos en las hojas ayudados por el rocío, otros caen al suelo. La eclosión de los huevos ocurre después de 30 días de su postura y en marzo las diminutas larvas se entierran a unos 5 cm de profundidad, iniciando la construcción de una cavidad sedosa donde habitan, individualmente, saliendo durante la noche a consumir la vegetación circundante. Durante el desarrollo y crecimiento las larvas van profundizando verticalmente la galería sedosa hasta alcanzar cerca de 25 cm en un periodo de diez meses. La larva, cada vez que sale de su galería sedosa para alimentarse, expelle un hilo de seda a medida que avanza, y al amanecer vuelve por el mismo camino, guiada por

su hilo dejado en la noche, para esconderse durante el día en su propia galería tapizada de seda (Figura 11.24). La larva cambia al estado de pupa o crisálida en su galería a comienzos de noviembre y el nuevo adulto emerge nuevamente a comienzos de enero para iniciar su ciclo univoltino (Castillo, 1975; Cisternas, 1987; Cisternas & Torres, 1990; Aguilera *et al.*, 1996; González, 1989; Artigas, 1994).



Figura 11.24. *Dalaca pallens* (Blanchard)

Otra especie asociada a las praderas del sur de Chile es *D. chiliensis* (Viette), cuyo ciclo, también univoltino, lo inicia con sus vuelos más tardíos, a mediados de marzo a junio. Por ello es posible encontrar larvas de cuncunillas en distintos estadios de desarrollo a través de todo el año (Aguilera *et al.*, 1996).

D. pallens y *D. chiliensis* consumen la vegetación durante su largo periodo de desarrollo diezmando la pradera. Los adultos prácticamente no se alimentan y son atraídos por la luz artificial (Aguilera *et al.*, 1996; Artigas, 1994).

Hospederos: Alfalfa, arándano, ballica, festuca, frambueso, pasto miel, pasto ovillo, trébol y trigo (Artigas, 1994; Cisternas, 1987; Prado, 1991).

Control natural: La cuncunilla negra puede ser controlada de forma natural por varios agentes bióticos como las aves, destacando entre ellas tiuques y bandurrias; los entomófagos *Notodytes aurea* Aldrich y *N. variabilis* Aldrich (Diptera: Tachinidae), además de coleópteros carábidos, dípteros asílidos y microorganismos entomopatógenos como hongos, bacterias y virus (Prado, 1991; Cisternas, 1987; Carrillo, 1986).

Como control natural también se considera el hábito de canibalismo que presenta la larva que se acentúa notablemente a medida que crece (Aguilera *et al.*, 1996).

Dalaca variabilis Viette: otra cuncunilla de la familia Hepialidae asociada a praderas y cultivos suplementarios (Cisternas, 2000).

Cuncunilla de la pradera, *Pseudaletia punctulata* (Blanchard) y cuncunilla de los pastos, *Pseudaletia impuncta* Guenée (Lepidoptera: Noctuidae)

Distribución: Estas especies se distribuyen desde la región de Arica y Parinacota a Aysén e isla de Robinson Crusoe, del archipiélago de Juan Fernández. *P. punctulata* también se ha detectado en Argentina, Brasil y Perú y *P. impuncta* solo en Argentina (Prado, 1991; Artigas, 1994; González, 1989).

Apariencia y hábitos: El estado adulto de ambas mariposas es de mediano tamaño, con alas extendidas mide de 35 a 40 mm. *P. punctulata* tiene el cuerpo castaño claro. Cabeza del mismo color del cuerpo; ojos negros y antenas filiformes. Tórax castaño y piloso; alas anteriores castaño claro, margen externo con flecos cortos y en el centro una pequeña mancha blanca rodeada de otra mácula oscura, el segundo par de alas más claras, oscurecidas hacia los márgenes con flecos cortos y venas longitudinales (Figura 11.25). Abdomen cubierto de pilosidad castaño clara, dejando visibles los segmentos cuando las alas están extendidas. La mariposa adulta de *P. impuncta* tiene el cuerpo más claro con las alas anteriores castaño amarillentas, claras, sin máculas, las posteriores blancas cremosas con sus venas marcadas y márgenes con pilosidad corta blanquecina; el abdomen con pilosidad castaño más oscura que el tórax, en ambas especies con cinco esperipideos (Figura 11.26). El huevo de ambas especies mide 0,5 mm de diámetro. Son blancos y brillantes. Las larvas plenamente desarrolladas miden de 30 a 35 mm de largo; de pardas a verde oscuro, con tres líneas en el dorso y una lateral amarillenta en

P. punctulata. En *P. impuncta* las larvas son verde amarillentas, con dos bandas oscuras en el dorso y una lateral. Las pupas en ambas especies son obtectas, de color café oscuro de 20 mm de largo y con dos espinas en el extremo abdominal y dos cerdas cortas a cada lado de las espinas. Los adultos de la primera generación inician sus vuelos en primavera, durante la noche. Las hembras colocan los huevos en las hojas, agrupados en gran cantidad, unos 400 huevos en masa, en hileras seguidas, muy juntos, en una sola capa. Entre los siete y 15 días los huevos eclosionan y numerosas larvas se alimentan del follaje durante 25 a 30 días, amagando la pradera y cultivos hospederos. En su desarrollo las larvas pasan por siete estadios, sin presentar canibalismo, y antes del término del último estadio se dejan caer al suelo, descolgándose por un hilo sedoso, y se entierran pasando por un periodo de pre pupa durante tres días; luego pupan enterradas, por dos semanas, en una celda construida con seda y tierra. Al cumplirse este periodo emergen los adultos para iniciar un nuevo ciclo, repitiéndose por cinco o más generaciones durante el año, siendo por lo tanto un insecto multivoltino (González, 1989; Artigas, 1994; Angulo & Weigert, 1975).

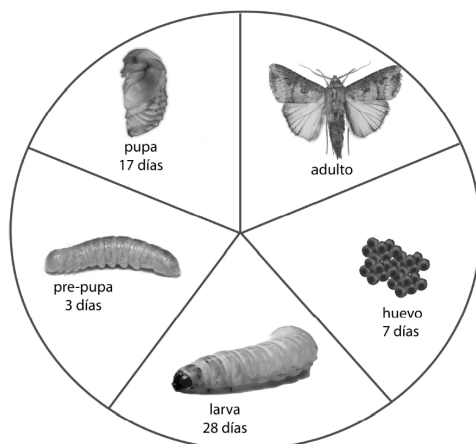


Figura 11.25. Ciclo vital de *Pseudaletia punctulata* (Blanchard)



Figura 11.26. *Pseudaletia punctulata* (Blanchard)

Hospederos: Ajo, alfalfa, arroz, avena, ballica, cebada, cebolla, festuca, kiwi, lino, maíz, papa, pasto ovillo, poroto, remolacha, sorgo, tomate, trébol y trigo (Artigas, 1994; Prado, 1991).

Control natural: Se registran tres parasitoides entomófagos taquinidos (Diptera): *Architas pilifrons* (Schiner), *A. scutellatus* (Macquar) y *Prosopochaeta anomala* Aldrich (Prado, 1991), cuyas larvas consumen las cuncunillas.

Cuncunilla de las chacras, *Copitarsia decolora* (Guenée) (Lepidoptera: Noctuidae)

Distribución: Se distribuye desde la región de Arica y Parinacota a Aysén. En América se encuentra desde México hasta el sur (Prado, 1991; Artigas, 1994).

Apariencia y hábitos: El estado adulto es una mariposa. La mariposa mide hasta 4 cm de ancho con las

alas extendidas. Las alas anteriores son de color castaños a gris, con tres bandas angostas más oscuras que las recorren irregularmente desde el margen anterior al posterior; en el centro tienen tres manchas circulares claras. Las alas posteriores son grises, con el margen externo blanco cremoso y notoria venación que se divide en la mitad de su recorrido. Cabeza oscura con antenas filiformes. Tórax y abdomen oscuros. Los adultos, de hábito crepuscular o nocturno, comienzan a volar en octubre. Las hembras depositan sus huevos en las hojas, limpios, sin pelos ni escamas. La hembra tiene la capacidad de colocar unos 700 huevos, en masa, no alineados y aislados unos de otros.

A los siete días los huevos eclosionan y las numerosas larvas se dispersan por la planta y comienzan a comer las hojas (Figura 11.27). Las larvas de la cuncunilla de las chacras varían de color, según el hospedero que consumen. Por lo general son verdes con una banda blanca amarillenta en el costado inferior y a lo largo del cuerpo; después de seis mudas alcanza 4 cm de longitud (Figura 11.28). Antes de terminar su último estadio desciende al suelo y se entierra para pupar o crisalidar. La crisálida es de color café y este estado dura aproximadamente 30 días. Luego emerge el adulto y se reanuda el ciclo de tres a cuatro veces en el año, invernando como crisálida. Por lo tanto, se trata de un insecto trivoltino o polivoltino, según sean las condiciones ambientales en las que se desarrolla (González, 1989; Artigas, 1994; Angulo & Weigert, 1975).

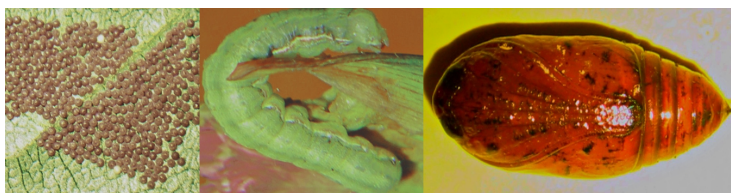


Figura 11.27. Huevos, larva y pupa de *Copitarsia decolora* (Guenée)



Figura 11.28. *Copitarsia decolora* (Guenée)

Hospederos: Ajo, alcachofa, alfalfa, ballica, cebolla, clavel, espárrago, frambueso, frutilla, garbanzo, gladiolo, jojoba, kiwi, lilium, maíz, manzano, maravilla, papa, peonía, pistacho, raps, remolacha, repollo, tabaco, trigo, tulipán y vid (Artigas, 1994).

Control natural: *Atelognathus ruficornis* Aldrich, *Incarnia chilensis* Aldrich, *Winthemia ignobilis* (Wulp.) (Diptera: Tachinidae); *Trichogramma brasiliensis* (Ashm.), *Trichogramma evanescens* Westwood, *Trichogramma fasciatum* (Perkins) (Hymenoptera: Trichogrammatidae); *Thymebatis bichinsi* Porter (Hymenoptera: Ichneumonidae); *Zoophtora radicans* (Brefeld) (Fungi) (Prado, 1991).

Cuncunilla verde de la papa, *Syngrapha gammoides* (Blanchard) (Lepidoptera: Noctuidae)

Distribución: En Chile se encuentra desde la región de Arica y Parinacota a Los Lagos, incluida la isla Robinson Crusoe del archipiélago Juan Fernández. Está también registrada en Bolivia y Perú (Prado, 1991; Artigas, 1994).

Apariencia y hábitos: El estado adulto es una mariposa que puede alcanzar 5 cm con las alas extendidas. Su cabeza es poco destacable, con antenas filiformes. Cuerpo gris piloso de 2 cm de largo. Alas anteriores oscuras, con colores poco definidos, levemente brillantes, algo bronceadas con una mancha dorada semejante a la letra griega gamma, ubicada casi en el centro, con una mácula algo rojiza en la base, hacia el margen posterior; margen lateral levemente aserrado. Alas posteriores pardas oscuras hacia el margen lateral y posterior, este último con una débil franja cremosa o blanquecina. La actividad del adulto se inicia en octubre con vuelos al crepúsculo y durante las primeras horas de la noche visitando las plantas, buscando flores para libar el néctar. A diferencia de varios otros noctuidos que colocan sus huevos agrupados, la hembra adulta de *S. gammoides* pone sus huevos aislados, de uno a tres en el envés de las hojas, son blancos, estriados, algo achatados, de 0,05 a 0,06 cm de diámetro. La eclosión de los mismos se produce a los siete días. La larva neonata de primer estadio tiene la cabeza negra, de 0,03 cm de diámetro máximo y en su cuerpo cremoso destacan pequeños tubérculos a lo largo del mismo con pelos blanquecinos insertos en el dorso; se desplazan casi juntando las patas negras del tórax con el primer par de espuripedios negros de los tres pares que posee en la tagma abdominal. La cabeza es de color negra y después de cinco a seis mudas de piel alcanza su pleno desarrollo, midiendo su cápsula cefálica 0,2 cm de diámetro. El desarrollo larvario se completa entre 20 a 25 días, alcanzando 3,5 cm de largo (Figura 11.29). Luego entra en un periodo inactivo de prepupa durante dos días, que se caracteriza por un encogimiento y engrosamiento de la larva; posteriormente se envuelve en un capullo sedoso adherido a las hojas, a través del cual se puede observar su transformación al estado de crisálida, que es de color café o verde oscuro. En este estado permanece entre 17 a 20 días, para luego emerger como adulto e iniciar un nuevo ciclo. Se trata de un insecto polivoltino, estimándose que durante una temporada puede alcanzar hasta cinco generaciones, invernando como crisálida (González, 1989; Artigas, 1994; Angulo & Weigert, 1975).



Figura 11.29. Larva y adulto de *Syngrapha gammoides* (Blanchard)

Hospederos: Achicoria, alcachofa, aliso, alfalfa, chinilla, crepis, diente de león, espárrago, maravilla, papa, peonía, poroto, raps, remolacha, tomate, trébol blanco y trébol rosado (Prado, 1991).

Control natural: Por los entomófagos parasitoides *Gonia pallens* Wiedemann, *Incamyia chilensis* Aldrich, *Siphona geniculata* (DeGeer), *Siphonopsis brasiliensis* Townsend (Diptera: Tachinidae).

Cuncunilla verde del poroto, *Rachiplusia nu* (Guenée) (Lepidoptera: Noctuidae)

Distribución: En Chile habita desde la región de Arica y Parinacota a Los Lagos e isla Robinson Crusoe del archipiélago Juan Fernández. Está también presente en Argentina, Bolivia, Brasil, Paraguay, Perú y Uruguay (Prado, 1991; Artigas, 1994; González, 1989).

Apariencia y hábitos: El estado adulto es una mariposa de 1,5 a 2,0 cm de largo y con una envergadura alar de 3,5 cm (Figura 11.30). Cabeza con abundante pilosidad bronceada; antenas filiformes; ojos castaño oscuros. Tórax con las alas anteriores de color café con bandas transversales más oscuras y en el centro una mancha blanco-amarillenta con la forma de la letra griega gamma. Las alas del segundo par son amarillentas, con el borde externo más oscuro y flecos cortos en los márgenes. Abdomen piloso de un color semejante a las alas posteriores. Los huevos son blancos amarillentos de 0,5 mm de diámetro. Las larvas plenamente desarrolladas son verdes, de 3,0 cm de largo con la cabeza, patas torácicas y tres pares de esperupedios del mismo color. Pupa

obtecta, castaño verdoso oscura, de 1,5 cm de largo; el segmento terminal del abdomen tiene una proyección lobulada y dos espinas muy delgadas dobladas hacia el exterior, con la abertura anal como un ojal pequeño cerrado.



Figura 11.30. Larva, pupa o crisálida y adulto de *Rachiplusia nu* (Guenée)

Rachiplusia nu es un insecto polivoltino con cuatro o más generaciones en un año. A principios de primavera se inicia el vuelo de los adultos. Es una de las pocas especies de mariposas noctuidas que vuelan en pleno día y el crepúsculo, libando néctar de las flores para alimentarse. La hembra oviposita en las hojas y después de cinco días salen las larvas, que durante 25 a 30 días se alimentan activamente de las hojas, comenzando por los bordes y avanzando como midiendo su camino juntando las patas torácicas con el primer par de pseudópodos del abdomen. Para pupar la larva del último estadio, al término de su periodo, construye un capullo sedoso; a veces junta las hojas con los hilos del mismo capullo. Así protegida pasa 10 a 15 días y luego sale el adulto para iniciar, en promedio, un nuevo ciclo vital de 35 días. Después de cumplir varias generaciones pasa el invierno como pupa, desde el otoño a inicios de primavera (González, 1989; Artigas, 1994; Angulo & Weigert, 1975).

Hospederos: Acelga, alcachofa, alfalfa, arveja, coles, espárrago, espinaca, garbanzo, lino, maravilla, menta, papa, pepino de ensalada, poroto, raps, tomate, trébol, zapallo; además de plantas ornamentales y malezas (Artigas, 1994; Prado, 1991).

Control natural: El control natural por entomófagos es ejercido por las siguientes especies: *Nabis punctipennis* Blanchard (Hemiptera: Nabidae); *Hippodamia variegata* (Goeze), *Eriopis chilensis* Hofmann (Coleoptera: Coccinellidae); *Carcelia balliana* Cortés, *Incarnyia chilensis* Aldrich, *Voria ruralis* (Fallen) (Diptera: Tachinidae); *Encarsia porteri* (Mercet) (Hymenoptera: Aphelinidae); *Rogas nigriceps* Bréthes (Hymenoptera: Braconidae); *Copidosoma bakeri* (Howard); *Campoletis* sp., *Coccygomimus fuscipes* (Brullé) (Hymenoptera: Ichneumonidae); *Trichogramma brasiliensis* (Ashmead), *T. minutum* Riley, *Trichogramma rojasi* Nagaraja & Nagarkatti (Hymenoptera: Trichogrammatidae) y un virus polidrico (Prado, 1991).

Gusano cortador de las chacras, *Agrotis ipsilon* (Hupfanegel) (Lepidoptera: Noctuidae)

Distribución: El gusano cortador de las chacras es un insecto cosmopolita y en Chile está presente desde la región de Arica y Parinacota a Aysén. También se ha mencionado en Isla de Pascua (Prado, 1991; Artigas, 1994; González, 1989).

Apariencia y hábitos: El estado adulto es una mariposa de 3 a 5 cm de ancho con las alas extendidas. Su cabeza es gris oscuro con antenas filiformes. El tórax es oscuro con las alas anteriores de color castaño oscuro y el tercio apical algo más claro, alas posteriores más claras, con la venación destacable. Abdomen piloso más claro que el tórax (Figura 11.31).



Figura 11.31. Larva, pupa y adulto de *Agrotis ipsilon* (Hupfanegel)

La larva plenamente desarrollada mide hasta 4,5 cm de longitud con la cabeza de color café rojizo; cuerpo gris, opaco, de aspecto grasoso, con una línea media dorsal amarillenta y dos bandas laterales menos notorias, con el sector ventral verdoso amarillento, oscuro. Se enrosca cuando es molestada. La pupa es de color café, desnuda, obecta. La hembra pone gran cantidad de huevos de color blancos, dispersos en grietas o en la superficie del suelo, aunque también en las hojas de las plantas. Las larvas nacen a los cinco o diez días, según la temperatura promedio del ambiente; se introducen en el suelo y construyen una celda terrosa para protegerse, de la cual

salen en la noche para comer raicillas y cortar el cuello de plantas jóvenes y plántulas. El periodo de larva dura 25 días, aunque se puede extender a más de un mes a medida que baja la temperatura. Después de seis mudas comienzan a pupar, estado en el que permanecen alrededor de 15 días para dar paso a la emergencia del adulto. Insecto trivoltino a polivoltino, según las condiciones ambientales en las que se desarrolle (González, 1989; Artigas, 1994; Angulo & Weigert, 1975).

Control natural: Ejercido por los entomófagos *Architis cirphis* Curran, *Bonnetia compta* (Fallen), *Carcelia formosa* (Aldrich & Webber), *Chaetogaedia monticola* (Bigot), *Eucelatoria armigera* (Coquillett), *Euphorocera claripennis* (Macquart), *Gonia longipulvilli* Tothill, *Gonia sequax* Williston, *Lespesia archippivora* (Riley), *Madremyia saundersii* (Willoston), *Sysiropa eudryae* (Townsend), *Tachinomyia panaetius* (Walker), *Prosopochaeta fidelis* (Reinhard) (Diptera: Tachinidae); *Apanteles bourquini* Blanchard, *Macrocentrus collaris* Spinola; *Meteorus rubens* Nees (Hymenoptera: Braconidae); *Amblyteles* sp., *Ophion* sp. (Hymenoptera: Ichneumonidae) (Prado, 1991; Artigas, 1994).

Gusano cortador variegado, *Peridroma saucia* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae)

Distribución: En Chile se encuentra desde la región de Arica y Parinacota a Magallanes. Es cosmopolita (Prado, 1991; Artigas, 1994; González, 1989).

Apariencia y hábitos: El adulto es una mariposa de 45 mm con las alas extendidas. Cuerpo castaño grisáceo con algunas manchas claras (Figura 11.32). Cabeza con antenas filiformes, ojos negros. Tórax con las alas anteriores de color café, con una banda clara, angosta, sinuosa en el margen lateral externo y manchas más claras en diversos sectores; alas posteriores blancas, con venación destacada, oscurecidas hacia los márgenes y bordes con flecos blancos, densos y cortos.



Figura 11.32 *Peridroma saucia* (Hübner)

Las mariposas vuelan al anochecer y colocan sus huevos, de 0,5 mm de diámetro, grises y estriados, en grupos variables, en las plantas y otros lugares del campo. Después de cinco a siete días los huevos eclosionan y las larvas, inicialmente, se alimentan del corion de los huevos. Después se dispersan por el vegetal, alimentándose de las hojas durante el día. En pleno desarrollo miden 4,0 cm, son de aspecto suave, oscuras, moteadas, con una mancha clara, amarillenta, en el tórax e inicios del abdomen y una banda lateral amarillo cremoso. Se comportan como un verdadero gusano cortador, de hábito nocturno, enterrándose durante el día y alimentándose cortando las plantas. El estado de larva dura 30 días, para posteriormente pupar, enterradas, en una celda terrosa, durante 20 días; luego nuevamente emergen los adultos pasando el invierno en estado de larva de último estadio o como pupa. *P. saucia* tiene voltinismo variable, de una a cinco o más generaciones. En localidades cálidas no invernán, por lo tanto, no presentan diapausa (González, 1989; Artigas, 1994; Angulo & Weigert, 1975).

Hospederos: Alcachofa, alfalfa, apio, arveja, betarraga, cebolla, coles, espárrago, frutilla, haba, lechuga, maíz, papa, poroto, remolacha, tabaco, tomate, trébol, zanahoria, zapallo y malezas (Artigas, 1994; Prado, 1991; González, 1989).

Control natural: *Euphorocera peruviana* Townsed (Diptera: Tachinidae) (Prado, 1991).

Gusano del choclo, *Heliothis zea* (Boddie) (Lepidoptera: Noctuidae)

Distribución: Habita desde la región de Arica y Parinacota hasta Los Lagos, además de estar presente en toda América (González, 1989; Prado, 1991; Artigas, 1994).

Apariencia y hábitos: El adulto es una mariposa con una expansión alar de 3,5 cm (Figura 11.33). Cuerpo marrón claro, alas anteriores café, grisáceas, claras, con una banda más clara en el margen lateral externo y manchas más oscuras en el sector medio de las alas hacia el margen anterior; las alas posteriores son blancas, oscurecidas en el margen del tercio posterior, con notorias venas longitudinales. Los adultos vuelan en octubre, al anochecer, para alimentarse del néctar de muchas flores distintas. Las hembras depositan los huevos, de 0,5 mm de diámetro, blancos amarillentos en diversos órganos de las plantas, aislados y dispersos. Tienen capacidad para dejar más de 800 huevos distribuidos en las plantas. En el maíz, en concreto, la oviposición se efectúa en los pelos de la mazorca. La eclosión ocurre en una semana, dando origen a las larvas. Estas se dispersan por la planta para alimentarse del follaje. En el maíz se introducen en la mazorca para alimentarse de los granos tiernos, lechosos. Por su hábito eminentemente caníbal es común encontrar una larva plenamente desarrollada por mazorca, que se presenta como un gusano de 5 cm de largo por 0,7 cm de ancho. La larva presenta tonalidad variable, según el alimento que consuma, pudiendo ser verde, verde oscuro, verde amarillento, amarillo anaranjado o muy oscura, casi negra, con una línea dorso central destacada a lo largo del cuerpo y otra lateral. Después de pasar por seis estadios, en 20 días, se deja caer al suelo para iniciar el periodo de pupa o crisálida, que tiene una coloración semejante a la de otros noctuidos. Después de tres semanas vuelven a salir los adultos para iniciar otro ciclo vital. En el maíz el estado de pupa suelen pasarlo en la mazorca o la larva, al término de su último estadio, hace un orificio a través de las chalas para descolgarse al suelo y enterrarse. Es un insecto trivoltino, aunque en zonas cálidas y templadas alcanzan cinco generaciones en el año (González, 1989; Artigas, 1994; Angulo & Weigert, 1975).



Figura 11.33. *Heliothis zea* (Boddie)

Hospederos: Alfalfa, arándano, arveja, avena, cebolla, clavel, frutilla, garbanzo, haba, lino, maíz, poroto, sorgo, tabaco y tomate (Artigas, 1994; Prado, 1991; González, 1989).

Control natural: El control natural debido a entomófagos lo ejercen las siguientes especies: *Actinoplusia koehleri* Blanchard, *Archytas scutellatus* (Macquard), *Gonia pallens* Wiedeman, *Incamiya charlini* Cortés, *I. spinicosta* Aldrich, *Peleteria pygmaea* (Macquard) (Diptera: Tachinidae); *Meteorus chilensis* Porter (Hymenoptera: Braconidae); *Campoletis flavicincta* (Ashmead) (Hymenoptera: Ichneumonidae); *Trichogramma brasiliensis* (Ashmead), *T. minutum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae) (Prado, 1991, Artigas, 1994).

Control artificial de gusanos y cuncunillas: Dependiendo del desempeño que tengan los enemigos naturales entomófagos y aves insectívoras como queltehués, tiuques y gaviotas, se puede recurrir al uso de insecticidas, en lo posible que tengan solamente acción de ingestión o estomacal, para proteger, en la medida de lo posible a los entomófagos presentes. También se pueden usar insecticidas biológicos, como *Bacillus thuringiensis* o reguladores del crecimiento del grupo de las acylureas. Estas últimas, para ser eficaces deben aplicarse cuando las larvas de las cuncunillas están en sus primeros estadios, para evitar que continúe el proceso de formación de quitina. El uso de control biológico con liberaciones de *Trichogramma* es otra alternativa para el control de huevos de aquellas especies que los ponen desnudos en una sola capa. *Trichogramma* no es eficaz frente al noctuido *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith), de la región de Arica y Parinacota, que coloca sus huevos en dos capas y cubiertos con escamas y si lo sería para *Spodoptera eridania* (Cramer), cuya hembra coloca los huevos desnudos en una sola capa (Loo & Aguilera, 1983).

El uso de insecticidas piretroides es otra opción, pero estos deben aplicarse al atardecer para evitar que el sol mediante los rayos UV deteriore el producto

Para gusanos cortadores se puede recurrir a un cebo que se prepara mezclando 1,5 kg de un insecticida formulado como WP, de ingestión y contacto perteneciente al grupo fosforado o carbamato, más 50 kg de afrecho, más 1 kg de azúcar y agua hasta formar grumos; luego se aplica la mezcla a voleo en una hectárea en siembra compacta o en la hilera, en cultivos suplementarios.

En lo que respecta a la cuncunilla negra, se ha determinado que con una población de 50 o más larvas por metro cuadrado se deberían aplicar medidas de control químico de mayo a junio. Posteriormente la cuncunilla negra se hace más resistente a los insecticidas. Además, que el acentuado canibalismo que presentan los estadios avanzados reduce considerablemente la población. Una medida cultural que puede utilizarse es pasar una rastra de ramas por la pradera, poco antes del amanecer, para destruir los hilos sedosos que la cuncunilla deja al salir de su galería en la noche para marcar su camino de retorno. De esta manera las larvas se convierten en vagabundas y posteriormente las aves insectívoras actúan, como control natural, alimentándose de ellas (Cisternas, 1992; Carrillo, 1986).

Moscas minadoras

Este grupo de insectos, en general, es conocido en diversos países como importantes plagas de plantas de interés agrícola, incluyendo las que forman las praderas, bajo la común denominación de moscas o larvas minadoras.

En Chile se conocen siete géneros de estos dípteros o mosca pertenecientes a la familia Agromyzidae con 21 especies. Esta familia está distribuida por todo el país, desde el nivel del mar hasta los 4.000 m de altura, afectando a una gran diversidad de especies vegetales, tanto cultivadas como silvestres. Los ejemplares adultos son moscas pequeñas, de 3 mm de largo, algunas totalmente negras, otras con manchas amarillas en el cuerpo y cerdas en la cabeza y tórax. Presentan dos alas transparentes o ahumadas, destacándose en el margen anterior una vena negra, bien marcada denominada Costa que está cortada antes de unirse a la siguiente conocida como Subcosta; tienen patas amarillas o negras, del tipo caminadoras, largas en relación al tamaño del insecto; abdomen negro, brillante, a veces con los costados amarillos o cenicientos. Los huevos son pequeños, algo traslúcidos. Las larvas viven haciendo galerías serpenteadas o lagunares en el parénquima de las hojas o minan los tallos herbáceos, estolones o raíces. El estado de pupa, que es de color café, se desarrolla enterrado en el suelo, a pocos centímetros de la superficie (Spencer, 1973; González, 1989; Artigas, 1994).

En las praderas de Chile se registran tres géneros, con ocho especies de agromícidos: *Cerodonta flavifrons* (Philippi), *Liriomyza cruciata* (Blanchard), *Liriomyza huidobrensis* (Blanchard), *L. lolii* Spencer, *L. marginalis* (Malloch), *Liriomyza sativae* Blanchard, *Melanogromyza gibsoni* (Malloch) y *M. tetrae* (Malloch) (Spencer, 1982). También se conoce como mosca minadora a *Scaptomyza multispinosa* Malloch, especie de Drosophilidae que ataca a rábano, raps y repollo, y que suele confundirse con Agromyzidae (Artigas, 1994).

Minador de las chacras, *Liriomyza huidobrensis* (Blanchard) (Diptera: Agromyzidae)

Distribución: En Chile está presente desde la región de Arica y Paríacota a Aysén, y también en Isla de Pascua e isla Robinson Crusoe del archipiélago Juan Fernández. Se ha mencionado en todo América (Prado, 1991; Artigas, 1994).

Apariencia y hábitos: Entre las moscas agromícidas mencionadas, *L. huidobrensis* es una de las más comunes y polífagas (Figura 11.34). Los ejemplares adultos miden de 1,5 a 2,0 cm de largo por 0,6 cm de ancho con el cuerpo negro y brillante. La cabeza presenta sectores amarillos, antenas con una cerda negra en el tercer antenito; ojos de color café rojizo. Tórax negro, dorso con cerdas y los costados amarillos, escutelo amarillo; alas algo ahumadas, patas oscuras, con la coxa amarilla. Abdomen negro, brillante, con seis segmentos visibles en la hembra, el último acuminado y cinco segmentos abdominales visibles en el macho. Los adultos vuelan, prácticamente todo el año durante el día, siendo su mayor actividad en los periodos frescos. La hembra deposita los huevos individualmente, bajo la epidermis, preferentemente en el envés de las hojas, son blancos, opalescentes, levemente arrionados, de 0,28 mm de largo por 0,15 mm de ancho. Las hembras no solo perforan la epidermis para colocar los huevos, sino también para alimentarse del jugo savial, que fluye por la acción mecánica que implica pinchar o picar las hojas. El macho aprovecha también el fluido para alimentarse. Las picadas no contienen huevos y se encuentran mayoritariamente en el haz de las hojas. Tanto la ovoposición, como las picadas, lesionan las células foliares, apreciándose manchas necróticas circulares deprimidas. La larva emerge después de tres a cinco días, siendo el estado que causa el mayor daño, incrementando este con el desarrollo y cantidad de larvas por hoja o foliolo. La larva es blanca, algo traslúcida, activa y para alimentarse consume el parénquima de las hojas haciendo galerías serpenteantes que se van haciendo más notorias con el desarrollo y crecimiento del ejemplar. Su desarrollo se completa entre seis y siete días pasando por tres estadios. Los daños más significativos lo ocasionan en otoño, finales de invierno y comienzos de la primavera. En periodos cálidos el ataque se concentra en el tercio inferior de la planta. En alfalfa una larva daña el 13% de un foliolo, de tal manera que si un foliolo alberga cuatro larvas el daño se incrementa a, aproximadamente, el 50%. Con un mayor número de larvas por foliolo, el daño ocasiona caída de los foliolos. La larva, al término de su tercer estadio, se deja caer al suelo para pupar enterrada algunos centímetros. La pupa es de color café, cilíndrica, segmentada, y mide 1,9 mm de largo por 0,9 de ancho. Demora dos semanas en cumplir su transformación interna en adulto, el cual perfora el puparium para salir a volar nuevamente e iniciar un nuevo ciclo vital. Cada ciclo, en promedio, dura tres semanas, teniendo varias generaciones durante el año como insecto multivoltino (Aguilera, 1972).



Figura 11.34. Larva, pupa, galerías de *Liriomyza huidobrensis* (Blanchard) y daño en gramínea por *Liriomyza lolii* Spencer.

Hospederos: Alfalfa, apio, arveja, betarraga, cebolla, cilantro, clavel, espinaca, haba, lechuga, lenteja, melón, papa, pimentón, remolacha, trébol y tomate, entre las plantas cultivadas (Artigas, 1994).

Control natural: En *L. huidobrensis* se registran los siguientes entomófagos como enemigos naturales parasitoides: *Opus* sp. (Hymenoptera: Braconidae); *Ganaspidium* sp. (Hymenoptera: Cynipidae); *Didimotropis cercius* (Walker), *Diglyphus* sp., *Euparacrias phytomyzae* (Brethes); *Halticoptera circulus* (Walker), *H. patellana* (Dalman), *Lamprolatus tubero* Walker (Hymenoptera: Pteromalidae) (Aguilera, 1972; Prado, 1991).

Minador de estolones del trébol, *Melanagromyza tetrae* (Malloch) (Diptera: Agromyzidae)

Distribución: En Chile se encuentra desde la región del Maule a Los Lagos (Aguilera *et al.*, 1996).

Apariencia y hábitos: El insecto adulto es una mosca negra con una expansión alar de 2,8 a 3,1 mm (Figura 11.35). La hembra ovipone bajo la epidermis de los tejidos vegetales, hojas y tallos. Los huevos son oscuros, ovoides, distinguibles bajo la epidermis. La larva blanca amarillenta horada los estolones

longitudinalmente, alejándose de la corona. La pupa se desarrolla en el interior del estolón desde donde emerge el adulto. Se han encontrado larvas todo el año, pero la mayor actividad se concentra en primavera. Los daños en trébol blanco varían según la temporada entre un 25 y un 66 % (Aguilera *et al.*, 1966). Se desconocen mayores antecedentes biológicos a pesar del daño significativo que causa.



Figura 11.35. *Melanagromyza tetrae* (Malloch)

Hospederos: Trébol blanco (Aguilera *et al.*, 1966)

Control natural: Sólo se tiene registro de un micro himenóptero no determinado que emerge de la pupa (Aguilera *et al.*, 1966).

Control artificial de moscas minadoras: Para el control químico de las larvas minadoras es recomendable utilizar aspersiones de insecticidas sistémicos o translaminares al follaje cuando las larvas están iniciando su alimentación y avance en la construcción de las galerías. Si fuera necesario, hay que efectuar una segunda aplicación después de 15 días de efectuada la primera.

En cultivos suplementarios, para bajar la población de adultos se pueden utilizar bandas de plástico amarillo impregnadas con aceite, donde las moscas quedaran adheridas. En el comercio fitosanitario se expenden bandas pegajosas amarillas que pueden colocarse en los bordes o a lo largo de las hileras.

Arañitas o ácaros fitófagos

Las arañitas fitófagas son ácaros considerados plagas importantes de cultivos, incluyendo especies vegetales componentes de praderas. Consumen las células epidérmicas de las hojas y otros órganos de las plantas hospederas, produciendo decoloración y afectando de esta forma el proceso de fotosíntesis, llegando a secar sectores de la planta o toda la vegetación. Dependiendo de la densidad de población se puede apreciar la presencia de telas por donde deambulan los diminutos ácaros rojos o verde oscuros. Su dispersión se produce por sus propios medios, pero mayoritariamente ayudadas por el viento o las aves. Estas últimas, al posarse en las plantas, los ácaros se les suben a las patas y así se dispersan a grandes distancias.

Los ácaros muestran preferencia por determinadas especies de plantas, pero también existen especies polífagas. En ambientes favorables se reproducen activamente y en poco tiempo la planta presenta altas poblaciones.

Como pertenecientes a la clase Arachnida no tienen mandíbulas estando reemplazadas por los quelíceros, que en los ácaros fitófagos se funden para formar el estilóforo, aparato bucal con el cual succionan la savia de las plantas para alimentarse; no tienen antenas, carecen de ojos compuestos, y tampoco tienen alas, pero sí ocho patas divididas en cinco segmentos y el cuerpo dividido en cefalotórax y abdomen, aunque suele ser poco visible la segmentación externa, apreciándose solo un surco que separa dos regiones del cuerpo, denominadas prosoma la anterior y opistosoma la posterior. Se reproducen por huevos, de los cuales emergen las ninfas que, en breve tiempo, tras pasar por tres estadios, adquieren su condición de adultos (González, 1989; Aguilera *et al.*, 1996).

Los ácaros de importancia agrícola en Chile se clasifican en nueve familias y en las praderas se han detectado seis especies de ácaros fitófagos, pertenecientes todas ellas a una única familia (Tetranychidae): *Bryobia cristata* (Duges), *Petrobia latens* (Muller), *Tetranychus cinabarinus* (Boisduval), *T. desertorum* Banks, *T. ludeni* (Zacher) y *T.*

urticae (Koch) (Prado, 1991), siendo las dos más importantes las que se detallan a continuación.

Araña bimaculada, *Tetranychus urticae* (Koch) (Acari: Tetranychidae)

Distribución: Especie cosmopolita. En Chile se encuentra desde la región de Arica y Parinacota hasta Magallanes e Isla de Pascua (González, 1989; Prado, 1991).

Apariencia y hábitos: La araña bimaculada adulta tiene forma ovalada y mide aproximadamente 0,5 mm de largo, con dos manchas oscuras, a veces granuladas, en los costados del cuerpo verdoso o verdoso amarillento en verano y en invierno los ejemplares son anaranjados o rojizos, con setas blancas dorsales no implantadas en tubérculos (Figura 11.36). Los ejemplares machos son más esbeltos y pequeños que las hembras. Los huevos son esféricos con un diámetro medio de 0,1 mm, traslúcidos recién puestos, pero gradualmente se van opacando a medida que avanza el desarrollo del embrión.



Figura 11.36. *Tetranychus urticae* (Koch)

El ejemplar que nace del huevo es una ninfa, sin embargo, se le denomina larva porque posee seis patas. Posteriormente la araña muda, pasando al segundo estadio de ninfa, adquiriendo la forma característica con sus ocho patas, denominada protoninfa. Después nuevamente muda pasando al estadio de deutoninfa y finalmente sucede otra muda para transformarse en el ácaro adulto.

T. urticae inverna como hembra adulta, rojiza y agregada. En primavera las arañas comienzan a alimentarse y poner sus huevos en las hojas. Las ninfas en sus diversos estadios van formando colonias y cambiando el color de su cuerpo al verde amarillento. Cuando las colonias de arañas son abundantes se nota la presencia de tela.

El ciclo de huevo a adulto se cumple en dos semanas. Así, en una temporada pueden sucederse más de ocho generaciones, viéndose favorecido su ciclo con la temperatura del verano.

La araña bimaculada al alimentarse produce amarillez, broceado o plateado de las hojas debido a que la picadura de su aparato bucal o estilóforo rompe la pared celular para ingerir el contenido de las células. Esta actividad, cuando se producen ataques intensos, debilita la planta, produce desecación, caída de hojas y, finalmente, la muerte de la planta (González, 1989).

Hospederos: Ají, alfalfa, almendro, apio, arándano, berenjena, camote, cerezo, chirimoyo, ciruelo, clavel, crisantemo, damasco, duraznero, guindo, frambueso, frutilla, kiwi, limonero, maíz, maní, manzano, melón, nogal, pepino dulce, pepino de ensalada, papa, peral, pimentón, poroto, remolacha, rosál, trébol y vid, además de arbustos, árboles ornamentales y malezas (Prado, 1991; González, 1989).

Control natural: En Chile la araña bimaculada posee varios enemigos naturales acarífagos, entre los que destacan *Scolothrips sp.* (Thysanoptera: Thripidae), *Stethorus bistrio* (Chazeau) (Coleoptera: Coccinellidae), *Oligota pigmaea* Solier (Coleoptera: Staphelinidae), *Aphidoletes sp.* (Diptera: Cecidomyiidae) y los ácaros acarífagos Phytoseiidae, *Euseius fructicolus* (González & Schuster), *Galendromus occidentalis* (Nesbitt), *Neoseiulus chilensis*

(Dozze) y *Phytoseius decoratus* González y Schuster (Prado, 1991).

Araña de la alfalfa, *Tetranychus desertorum* Banks (Acari: Tetranychidae)

Distribución: Araña cosmopolita. En Chile está registrada desde la región de Arica y Parinacota al Maule (González, 1989; Prado, 1991).

Apariencia y hábitos: Esta especie de araña o ácaro es semejante a *T. urticae*, pero difiere de ésta por ser siempre roja y de mayor tamaño, pero es parecida al estado invernante de la anterior. La araña adulta mide 0,6 mm de largo, siempre de color rojo verdoso. Secreta abundante tela que une las hojas y sobre la cual pone los huevos. En la zona norte es una plaga frecuente en alfalfa, especialmente en periodos de sequía, ocasionando desecamiento y muerte de plantas. Además de su semejanza morfológica con *T. urticae*, son afines en su ciclo vital (González, 1989) (Figura 11.37).



Figura 11.37. Diversos grados de ataque de *T. desertorum* en alfalfa en el norte de Chile

Hospederos: Alcapulaca, alfalfa, berenjena, poroto, sandía, trébol y malezas (Prado, 1991; González, 1989).

Control natural: *Scolothrips* sp. (Thysanoptera: Thripidae); *Eriopsis chilensis* Hofmann (Coleoptera: Coccinellidae); *Mesoseiulus longipes* (Evans), *Neoseiulus chilensis* (Dozze), *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot (Acari: Phytoseiidae) (Prado, 1991).

Control artificial de ácaros fitófagos: Cuando es necesario el control químico de arañas fitófagas se pueden aplicar acaricidas orgánicos sintéticos derivados del estaño, clorado orgánico (dicofol, kelthane), órgano sulfuroso, piretroide éster, piridazinona y avermectina, para ejemplares móviles; fenoxipirazol, thiazolidinona, quinazolina y tetrazina para estados móviles y huevos.

Babosas

Las babosas o chapas son animales invertebrados, gastrópodos, pulmonados, de amplia distribución mundial, emparentados con los caracoles. Algunas especies son estrictamente fitófagas, como las que se tratan en este capítulo, otras son omnívoras y también existen especies carnívoras que se alimentan de caracoles, gusanos, pequeños insectos y de otras babosas. Sus daños, particularmente en las praderas del sur de Chile, suelen ser atribuidos a gusanos blancos o cuncunilla negra, por lo que se pueden considerar plagas encubiertas. A esto contribuye su hábito exclusivamente nocturno y el hecho de que durante el día se entierren o se escondan bajo cualquier objeto presente en el campo. Durante enero y febrero permanecen soterradas a varios centímetros de la superficie del suelo, saliendo a veces, pero solo cuando llueve. Un ataque de babosas puede detectarse durante el día por el mucus brillante que han dejado en el vegetal o el terreno al desplazarse durante la noche (Aguilera, 2001).

En Chile se han descrito cinco especies en praderas, pertenecientes a tres familias: Limacidae: *Deroceras reticulatum* (Müller), *Deroceras laeve* (Müller) y *Limax maximus* L.; Milacidae: *Milax gagates* (Draparnaud) y Arionidae: *Arion* sp. (Aguilera, 2001).

Babosa gris chica, *Deroceras reticulatum* (Müller) (Stylommatophora: Limacidae)

Distribución: Especie de babosa cosmopolita. En Chile se distribuye desde la región de Valparaíso a Los Lagos (Aguilera, 2001)

Apariencia y hábitos: Es la especie más común de las cinco mencionadas. Los ejemplares tienen 3,5 cm de longitud, cuerpo suave, no segmentado y sin caparazón, formado por la cabeza, el cuello y el tronco (Figura 11.38). La cabeza está provista de dos pares de cornículos retractiles, un par superior que lleva los ojos y un par inferior con funciones táctiles ubicados sobre la boca. La boca situada en la parte anterior posee

dientes pequeños con los cuales raspa y corta las plantas. El tronco está formado por el manto y el pie. En el costado derecho, cerca de la cabeza se ubica el poro genital y un poco más atrás, el poro respiratorio y enseguida la abertura anal. En el vientre se encuentra el pie musculoso el cual secreta una sustancia mucosa que les facilita su desplazamiento y las protege de la deshidratación. Cada individuo tiene un sistema reproductivo mixto, masculino y femenino, por lo tanto, son hermafroditas y suele ocurrir la autofecundación. También la reproducción puede ser partenogénica, sin intervención del macho. Las babosas ponen sus huevos en sitios protegidos o los entierran. Las babosas, por lo general tienen un ciclo vital en el año, pero es factible que en ocasiones especiales, alcancen dos generaciones, con posturas en mayo y en octubre, apareciendo babosas adultas en septiembre y marzo.



Figura 11.38. Babosa gris chica, *Deroceras reticulatum* (Müller)

Cada babosa tiene capacidad para poner hasta 500 huevos, con intervalos de días o semanas, en grupos de siete a 50 cada vez. Los huevos son esféricos, de 2 a 5 mm de diámetro, transparentes, con un periodo de incubación variable entre 8 y 90 días, dependiendo de la temperatura. Los estadios inmaduros son similares a los adultos y alcanzan su adultez entre los dos y cinco meses. Cada babosa, en promedio, puede vivir hasta 18 meses. Las babosas prefieren alimentarse de plantas jóvenes, casi recién emergidas o en sus primeros estados de desarrollo, cuando ya tienen un par de hojas verdaderas (Figura 11.39). También pueden consumir la semilla cuando está hinchada o comenzando a germinar, antes de emerger a la superficie. En una siembra pueden causar pérdidas superiores al 20 % de las plántulas (Aguilera, 2001).



Figura 11.39. Huevos y daño de babosa en trébol.

Hospederos: Achicoria, ají, alcachofa, arándano, arveja, ballica, cala, cebada, eringio, espárrago, espinaca, frutilla, gladiolo, lechuga, lenteja, liliun, lupino, maíz, papa, peonía, poroto, rábano, raps, remolacha, repollo, tréboles, trigo, tulipán y zanahoria (Aguilera, 2001).

Control natural: Temperaturas por debajo de los 3°C producen una alta mortalidad de la babosa gris chica. Se menciona que algunas aves como tiuques, bandurrias y queltehués, suelen alimentarse de babosas en periodos lluviosos. Adultos de Carabidae (Coleoptera) suelen depredarlas, especialmente sus huevos y son parasitadas por bacterias, transportadas y liberadas por nematodos (Aguilera, 2001).

Control artificial de babosas: Para evitar ataques de babosas es aconsejable mantener el campo limpio de elementos que les sirven de refugio, tales como palos, tablas, troncos, restos de sacos, cartones, papeles, plásticos, restos de fardos o residuos vegetales en los bordes de los potreros.

Los excrementos del ganado que quedan en la pradera son un atractivo para las babosas; además de refugio, son un lugar óptimo para la postura de huevos. Bajo una bosta de vacuno se pueden encontrar más de 100 huevos.

El control químico se lleva a cabo con pesticidas conocidos como limacidas, helicidas o molusquicidas con el ingrediente activo metaldehído formulado peletizado en concentraciones del 4 al 5%, que es un atrayente como cebo para babosas. Algunas formulaciones tienen adicionado al metaldehído el carbamato methiocarb o metomil, ambos en concentración del 0,5%. Otros cebos llevan incorporado el carbamato thiodicarb al 4%.

En la zona sur de Chile la lluvia es un factor limitante para la aplicación de limacidas, por lo que es recomendable utilizar cebos de alta densidad, que ofrecen mayor resistencia a la alta humedad que disgrega el producto peletizado. Es aconsejable su aplicación 24 horas después de una lluvia, al voleo sobre la pradera en dosis que fluctúan entre 7 y 15 kilos por hectárea, dependiendo del producto comercial. También existen otros productos para moluscos con mezcla de sulfato de cobre, sulfato de aluminio, bórax y permanganato de potasio, pero de menor efectividad que un cebo.

En la deficiencia de los productos y la estrategia de control es importante considerar la presencia y tipos de babosa que existen en las pasturas en la zoon templada (Figura 11.40) así como también la distribución anual que estas poseen (Figura 11.41).

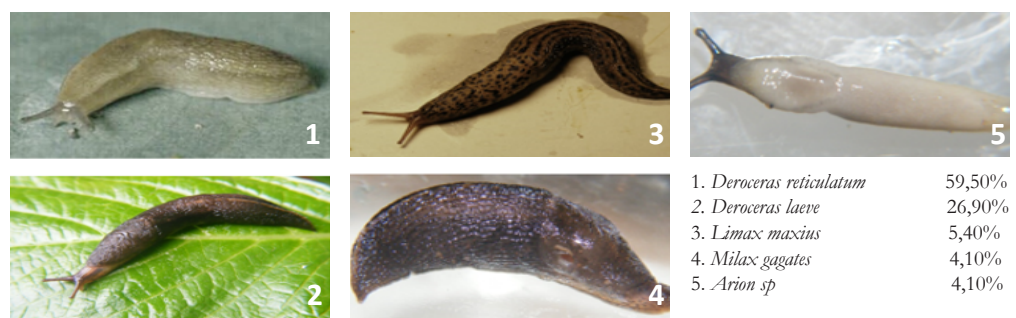


Figura 11.40. Presencia anual de babosas en praderas del sur de Chile.

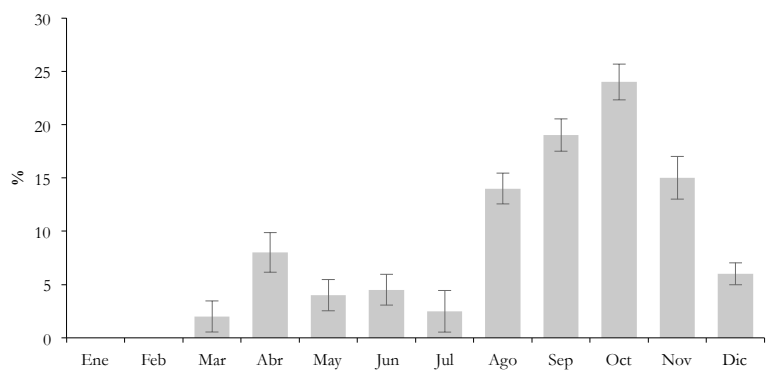


Figura 11.41. Fluctuación poblacional (%) de babosas en una pradera del sur de Chile.

Glosario

- Acarífago: insecto o ácaro que se alimenta de ácaros.
- Afidófago: insecto que se alimenta de áfidos o pulgones.
- Agroecología: disciplina agrícola que intenta integrar los múltiples factores que intervienen en un cultivo considerado como un agro ecosistema.
- Agro ecosistema: término usado para referirse a la agricultura como parte de un ecosistema que es intervenido por el hombre.
- Agroquímicos: sustancias químicas inorgánicas y orgánicas usadas en la agricultura.
- Antenito: cada segmento componente de la antena de un artrópodo.

Áptero: insecto sin alas.

Artrópodos: grupo de animales invertebrados con patas articuladas como los insectos y las arañas.

Cauda: proceso o expansión terminal del abdomen de un insecto, particularmente en áfidos o pulgones.

Cecidomíidos: moscas benéficas depredadoras de pulgones o áfidos, pertenecientes al orden Diptera, familia Cecidomyiidae.

Cefalotórax: sección indivisible de un arácnido compuesta por la cabeza y el tórax.

Chinitas: nombre común con el que se denomina a los insectos benéficos depredadores pertenecientes al orden Coleoptera, familia Coccinellidae que, dependiendo de la especie, se alimentan de pulgones, escamas, conchuelas, mosquitas blancas o ácaros fitófagos.

Coartada: tipo de pupa cuyos apéndices no están visibles y cuya última exuvia larval está endurecida protegiendo el cuerpo como si éste estuviese en el interior de un barril, como en la mayoría de los Diptera.

Control artificial: medidas fitosanitarias que el hombre adopta para controlar plagas.

Control biológico: método de control artificial en el que se utiliza uno o más organismos vivos para controlar otro organismo vivo considerado perjudicial para sus intereses.

Control etológico: método de control artificial que altera los hábitos normales de un organismo.

Control natural: sistema de control sin intervención humana.

Cornículos: estructura en forma de tubo que, en un par, se observan en la parte posterior del abdomen de los áfidos o pulgones. También se les llama sifones o siphunculi.

Diapausa: suspensión del desarrollo de un insecto en cualquier estado del mismo.

Diptera: orden de insectos con dos alas membranosas (moscas).

Eclosión: emergencia de la larva o ninfa del huevo.

Enfermedad: estado anormal de un ser vivo provocado por un patógeno, por una anomalía morfológica o una alteración fisiológica.

Entomopatígeno: organismo causante de una enfermedad en un insecto, atribuible a una especie de nematodo, hongo, bacteria, rickettsia, protozoo o virus.

Élitros: primer par de alas esclerosadas de los coleópteros.

Entomófago: insecto que se alimenta de insectos.

Entomología: especialidad que estudia los insectos.

Escutelo: tercer esclerito del meso y metanoto, visible en algunas especies también en el pronoto. También denominado escudete.

Especie: población con la capacidad de tener descendencia fértil y que permanece aislada reproductivamente de otra.

Estadio: periodo de un estado inmaduro en el desarrollo de un organismo, determinado por el cambio de muda.

Etología: estudio del hábito o modo de vida de un animal.

Exarata: estado de pupa de un insecto cuyos apéndices están libres, no encontrándose adheridos al cuerpo, como en Coleoptera.

Exuvia: piel o resto de la cutícula que deja una larva o ninfa cuando se produce una muda.

Faceta: cada una de las pequeñas superficies o áreas poligonales que constituyen el ojo compuesto de un insecto.

Familia: categoría sistemática que agrupa a los géneros.

Feromona: hormona específica de una determinada especie, que la hembra utiliza para atraer al macho.

Fitoseído: ácaro benéfico, depredador, perteneciente a la subclase Acari, familia Phytoseiidae.

Fitófago: organismo que se alimenta de un vegetal.

Fitopatología: especialidad de la Agronomía que estudia las enfermedades de las plantas y su control.

Fitosanidad: área de la Agronomía que se preocupa de la salud de las plantas cultivadas (= Sanidad vegetal).

Género: categoría sistemática que agrupa a las especies.

Himenóptero: insecto con cuatro alas membranosas pertenecientes al orden Hymenoptera.

Hipognato: insecto con la cabeza dirigida hacia abajo.

Holocíclico: especie de pulgón o áfido que durante su desarrollo a través del año presenta una generación sexual.

Larva: estado juvenil o inmaduro de un insecto que, al emerger del huevo, es morfológicamente distinto al estado adulto y que generalmente presenta hábito alimentario diferente al estado adulto.

Lepidópteros: insectos con cuatro alas escamosas pertenecientes al orden Lepidoptera.

Mesotórax: segmento medio o segundo del tórax de un insecto que tiene el primer par de alas y el segundo par de patas.

Metatórax: último segmento o tercero del tórax de un insecto que tiene el segundo par de alas y tercer par de patas.

Monoico: especie de pulgón o áfido que cumple siempre su ciclo de vida en una especie vegetal.

Ninfa: forma juvenil de un insecto con metamorfosis incompleta, que al emerger del huevo se caracteriza por su semejanza con el adulto al que

va a dar origen, aunque más pequeño, teniendo el mismo hábitat y régimen alimenticio, pero carente de alas y de madurez sexual.

Ooteca: pupa con los apéndices fuertemente unidos al cuerpo, generalmente cubiertos, en parte por una cubierta algo esclerotizada, como en Lepidoptera.

Ocelos: órganos de la visión simples, unifacetados.

Ontogenia: estudio del desarrollo de un ser vivo

Ooteca: estuche o cubierta protectora que encierra los huevos desde la postura hasta la eclosión.

Orden: categoría sistemática que agrupa a las familias.

Oviscapto: estructura genital de la hembra, por lo general esclerosada, que sirve para depositar los huevos bajo la superficie.

Oviparo: que pone huevos.

Parásito: organismo que vive a expensas de otro del que obtiene sus nutrientes y que no necesariamente le causa la muerte.

Parasitoide: insecto que pasa parte de su vida como un parásito externo o interno en un solo individuo causándole la muerte. El estado adulto tiene vida libre y un hábito alimentario distinto al que tuvo como parásito.

Partenogénica: tipo de reproducción en la cual está ausente el macho y toda la descendencia corresponde sólo a hembras. Ésta específicamente se califica como una reproducción partenogénica telitoca.

Patógenos: micro-organismos causantes de enfermedades.

Pestes: término utilizado para referirse a organismos directa o indirectamente perjudiciales al hombre.

Pesticida: sustancia química inorgánica u orgánica utilizada para controlar plagas.

Plaga: organismo animal perjudicial que causa daños directos o indirectos al hombre. Desde el punto de vista del manejo integrado de plagas, se considera como tal a una población que provoca un daño económico a un cultivo.

Plaguicida: sustancia química inorgánica u orgánica que se utiliza para controlar una plaga.

Plaga primaria o clave: aquella población de un invertebrado fitófago que está presente en la pradera y siempre requiere adoptar medidas de control artificial por sobrepasar varias veces en la temporada el nivel de daño económico.

Plaga secundaria: aquella población de un invertebrado fitófago que está presente en la pradera y podría requerir adoptar una medida de control artificial cuando alcanza su nivel de daño económico.

Plaga ocasional: aquella población de un invertebrado fitófago que no siempre está presente en la pradera y cuando lo está podría requerir adoptar alguna medida de control artificial por llegar al nivel de daño económico.

Plaga potencial: aquella población de un invertebrado fitófago que está presente en la pradera pero que por su baja población, nunca requiere adoptar una medida de control artificial porque su posición de equilibrio poblacional permanentemente está muy por debajo del umbral de daño económico.

Plaga cuarentenaria: Especie de invertebrado fitófago que, independientemente de su nivel poblacional, requiere medidas de control artificial por estar objetada su presencia para la exportación o en el interior del territorio donde no se encuentra presente.

Pronoto: área dorsal del protórax.

Protórax: primer segmento del tórax de un insecto que solo tiene al primer par de patas.

Saprófitos: organismo que se alimenta de materia orgánica en descomposición o muerta.

Simpátrida: población de una especie que al mismo tiempo comparte el espacio con otra u otras especies.

Sírfidos: moscas benéficas que al estado larvario son depredadoras de pulgones o áfidos, pertenecientes al orden Diptera, familia Syrphidae.

Taxa: plural de taxón.

Taxón: unidad taxonómica definida.

Tórax: tagma del insecto cuya función es la locomoción. En él se ubican la alas y patas, dividido en protórax, mesotórax y metatórax.

Univoltino: insecto cuyo ciclo vital es anual.

Voltinismo: término que hace referencia al número generaciones que un organismo tiene durante el año. Univoltino, una generación anual; bivoltino, dos generaciones anuales; trivoltino, tres generaciones anuales; polivoltino, más de tres generaciones al año.

Bibliografía

- Aguilera, A., 1970. Coccinélidos (Coleoptera) predadores del Departamento de Arica. *Idesia* 1: 67-74
- Aguilera, A., 1972. Biología de *Liriomyza langei* Frick (Diptera: Agromyzidae) y evaluación de los parásitos que emergen de la pupa. *Idesia* 2: 71-85.
- Aguilera, A., 1992. Insectos y ácaros asociados a la alfalfa en la IX Región de La Araucanía. Seminario Alfalfa y su utilización en la zona sur. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Estación Experimental Carillanca. Serie Carillanca. Temuco, Chile. 31: 113- 143.
- Aguilera, A., 2001. Babosas de importancia económica en Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Chile. *Tierra Adentro* 40: 40-43.
- Aguilera, A. & Gerding, M., 1990. Plagas de la alfalfa. En Producción y utilización de alfalfa zona centro sur. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Estación Experimental Quilamapu. Serie Quilamapu, Chillán. N° 24 pp: 148-183.
- Aguilera, A., Cisternas, E., Gerding, M. & Norambuena, N., 1996. Plagas de las praderas. En: Ruiz, I. (ed.) Praderas para Chile Segunda edición.

Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Santiago, Chile. pp: 309-339.

Aguilera, A. & Marín, G., 1994. El gorgojo o taladro de las ballicas en la IX Región de La Araucanía. *Investigación y Progreso Agrícola*, INIA Carillanca. Temuco. 13(2): 19-22.

Aguilera, A.; Arnold, U & Celis, L. 2001. *Pristionchus* sp. (Rhabditida: Diplogasteridae) en la IX Región de La Araucanía. *Revista chilena de Entomología* 28: 5-8

Angulo, A. & Weigert, G., 1975. Estados inmaduros de lepidópteros noctuidos de importancia económica en Chile y claves para su determinación (Lepidoptera: Noctuidae). Sociedad de Biología de Concepción, Publicación Especial N° 2, 153 p.

Angulo, A. Jana-Sáenz, C., Parra, L.E. & Castillo, E.E., 1990. Lista de lepidópteros noctuidos asociados a algunos cultivos en Chile (Lepidoptera: Noctuidae): Estado sistemático real. *Gayana Zoología* 54 (1-2): 51-61.

Araya, J., 2004. Historias entretenidas sobre los insectos. Una entomología impresionista. Allgraph Ltda. Santiago, Chile. 247p.

Artigas, J., 1994. Entomología Económica. Insectos de interés agrícola, forestal, médico y veterinario (Nativos, introducidos y susceptibles de ser introducidos). Ediciones Universidad de Concepción. Concepción, Chile Vol. I, 1229 p.; Vol 2, 943p.

Borror, D.J; Triplehorn, C.A & Johnson, N.E. 1989. An Introduction to Study of Insect. Sauders College Publishing, Philadelphia, U.S.A. 875 p.

Caltagirone, L. 1957. Insectos entomófagos y sus huéspedes anotados para Chile. *Agricultura Técnica*. Chile. 17(1):16-48

Capdeville, C., 1945. Plagas de la agricultura en Chile. Imprenta Pacífico. Valparaíso, Chile. 358p.

Carrillo, R., 1986. Plagas en praderas. Seminario Producción de Forrajes. Facultad de Ciencias Agrarias. Instituto de Producción Animal. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. pp: 74-94.

Carrillo, R. & Mundaca, N., 1974. Biología de *Hylastymus obscurus* (Marsham) Col., Scolytidae. *Agricultura Técnica* (Chile) 34 (1): 54 - 62.

Castillo, D., 1975. Control de la cuncunilla negra en las praderas. Boletín Técnico N° 7. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Estación Experimental Carillanca. Temuco, Chile. 4p.

Castillo, D. & Vender, E., 1973. Nueva plaga de praderas y semilleros. Insecto barrenador de la raíz del trébol rosado. *Investigación y Progreso Agrícola*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. 5(2): 90-91.

Cepeda-Pizarro, J., Vega, S., Vásquez, H., Elgueta, M. & Pizarro-Araya, J., 2007. Demography of two population outbreaks of *Elasmoderus wagenknechti* (Orthoptera: Tristiridae) in the semiarid region of Chile. *Neotropical Entomology* 36: 495-502.

Cigliano, M.M., 1989. Revisión sistemática de la familia Tristiridae (Insecta: Orthoptera). Boletín de la Sociedad de Biología de Concepción. Chile. 60:89-91.

Cigliano, M.M., Jones, R.L. & Ryker, L.C., 1989. Revision of the genus *Elasmoderus* Saussure (Orthoptera: Tristiridae). The Canadian Entomologist 121:225-243.

Cisternas, E., 1986. Descripción de los estados preimaginales de escarabajos asociados a praderas antropogénicas de la zona sur de Chile. Tesis para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 119p.

Cisternas, E., 1987. Biología, hábitos, ciclo y control de cuncunilla negra. Boletín Técnico N° 120. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Estación Experimental Remehue. Osorno, Chile. 15 p.

Cisternas, E., 1992. Biología y control de insectos plagas de praderas. Seminario Manejo de praderas permanentes. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Estación Experimental Remehue. Osorno, Chile. pp: 87-117.

Cisternas, E., 2000. La cuncunilla negra. Informativo Remehue N 16. Osorno, Chile. 4p.

Cisternas, E. & Carrillo, R., 1989. Ciclo estacional de *Schizoglyphus serratus* Phil. (Coleoptera: Scarabaeidae). *Revista Chilena de Entomología*. 17: 61-63.

Cisternas, E., Aguilera, A. & Gerding, M., 1990. La pulga saltona de la alfalfa, *Sminthurus viridis* L. (Collembola: Sminthuridae), fitófago detectado en Chile. *Agricultura Técnica* (Chile) 50 (4): 397-399.

Cisternas, E. & Torres, R., 1990. Comportamiento de la cuncunilla negra que incide en la profundidad de la toma de muestra. *Investigación y Progreso Agropecuario*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Estación Experimental Remehue. Osorno, Chile. 12: 22-26.

Cisternas, E. & Norambuena, H., 1991. Plagas insectiles. En Producción y utilización de trébol rosado (*Trifolium pratense* L.). Serie Remehue N° 13. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Estación Experimental Remehue. Osorno, Chile. pp: 35-44.

Cortés, R. 1976. Multicontrol of cut worms and armyworms (Noctuidae) in alfalfa in desert valley of Lluta and Camarones, Arica. Proceedings Tall Timbers Conference on Ecological Animal Control by Habitat Management (USA) N° 6: 79-85.

Cortés, R. 1979. Introducción de nuevas plagas de los cultivos. *Idesia* 5: 299-308

Cortés, R., Aguilera, A., Vargas, H., Hichins, N., Campos, L. & Pacheco, J., 1972. Las cuncunillas (Noctuidae) de la alfalfa en Lluta y Camarones, Arica-Chile. Un problema bioecológico de control. *Revista Peruana de Entomología* 15 (2): 253-226.

Demanet, R., 2008. Manual de especies forrajeras. Plan de Desarrollo Lechero Watt's. Imprenta América. Valdivia, Chile. 200p.

Demanet, R., 2014. Manual de especies forrajeras. Plan Lechero Watt's. Imprenta América. Valdivia, Chile. 164p.

Durán, L., 1963. Insectos de importancia económica para la zona austral. Ministerio de Agricultura. Santiago, Chile. 73p.

Durán, L., 1976. Problemas de la entomología agrícola en Chile Austral. *Agro Sur* 4 (2): 119-127.

Elgueta, M., 1993. Las especies de Curculionioidea (Insecta: Coleoptera) de interés agrícola en Chile. Publicación ocasional N° 48. Museo Nacional de Historia Natural. Santiago, Chile. 79 p.

Elgueta, M., Cammoussiegh, A. & Carbonel, C., 1999. Catálogo de Orthoptera (Insecta) de Chile. Publicación Ocasional N° 54. Museo Nacional de Historia Natural. Santiago, Chile. 60 p.

Elgueta, M. & Marvaldi, M., 2006. Lista sistemática de las especies de Curculionioidea (Insecta: Coleoptera) presentes en Chile, con su sinonimia.

- Boletín del Museo Nacional de Historia Natural. Santiago, Chile. 55: 113-153
- Galdames, R., 1993. Presencia del hongo endófito de la ballica. *Investigación y Progreso Agrícola*, INIA Carillanca. Temuco, Chile. 12 (28):29-32.
- Gates-Clarke, J.F., 1965. Microlepidoptera of Juan Fernandez Island. Proceedings of the United State National Museum. Smithsonian Institution. Washington, D.C. 117 (3508): 1-106.
- Gerding, G.M; France, A. & Gerding, P.M. Control de plagas con hongos entomófagos. *Tierra Adentro*. Chile. 43:45-47.
- González, G. 2018. Coccinellidae de Chile. www.Coccinellidae.cl
- González, R. 1989. Insectos y ácaros de importancia agrícola y cuarentenaria en Chile. Ed. Ograma. Santiago, Chile. 310p.
- González, R., Arretz, P. & Campos, L. 1973. Catálogo de las plagas agrícolas de Chile. *Publicación de Ciencias Agrícolas* N 2. Facultad de Agronomía, Universidad de Chile. Santiago, Chile. 68 p.
- Graña, F., 1976. Estudio de la biología y control químico de la polilla del frejol *Epinotia aporema* (Walshingam) (Lepidoptera: Olethreutidae) en alfalfa. Arica, Chile. Tesis para Ingeniero de Ejecución Agrícola, Universidad de Chile. 55p.
- Guerrero, J., 1981. Control selectivo de la polilla del frejol (*Epinotia aporema* Wals.) y utilización del método de muestreo secuencial en semilleros de alfalfa (*Medicago sativa* L.) Tesis Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agrarias y Veterinarias. Escuela de Agronomía, Universidad de Chile. Santiago, Chile. 74p.
- Klein, C., Rebolledo, R., Cerda, C. & Aguilera, A., 2005. Variación de la densidad poblacional de *Sminthurus viridis* (L.) (Collembola: Sminthuridae) en la IX región de La Araucanía, Chile. *Gayana* 69(2): 260-265
- Klein, C. & D. F. Waterhouse, 2000. Distribution and importance of arthropods associated with agriculture and forestry in Chile. (Distribución e importancia de los artrópodos asociados a la agricultura y silvicultura en Chile). ACIAR. Canberra, Australia. Monograph 68. 631 p.
- Liebermann, J., 1943. Sobre la importancia económica de las especies chilenas del género *Dichroplus* Stal (Orth. Acrid. Cyrtacanth). Con algunas consideraciones acerca de su biogeografía. *Revista Chilena de Historia Natural* 46-47:241-247.
- Liebermann, J., 1944. Los Acridoideos de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 48:161- 316.
- Loo, E. & Aguilera, A., 1983. Multiplicación de *Trichogramma brasiliensis* (Ash.) en la IV Región de Chile. *Idesia* 7: 45-52
- Metcalf, R.L. & Luckman, W.H. 1975. Introduction to Insect Pest Management. John Wiley & Sons. N.Y., U.S.A. 587p.
- Norambuena, H. & Aguilera, A., 1988. Plagas de las praderas. Ruiz, I. (ed.) Praderas para Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Santiago, Chile. pp: 229-250.
- Peña, L. 1987. Introducción a los insectos de Chile. Ed. Universitaria. Santiago, Chile. 256 p.
- Prado, E. 1991. Artrópodos y sus enemigos naturales asociados a plantas cultivadas en Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. *Boletín Técnico* 169. Santiago, Chile. 203 p.
- Parra, L., Angulo, A., Medel, V., Aguilera, A., Marín, G. & R. Rebolledo., 2014. Especies y abundancia estacional de noctuidos con especial referencia a las especies de importancia agrícola en la Región de La Araucanía, Chile (Lepidoptera: Noctuidae). SHILAP. *Revista de Lepidopterología* 42 (165): 97-109.
- Ripa, R., 1981. La polilla del frejol y alfalfa. *Investigación y Progreso Agrícola* La Platina 4: 12-14
- Saiz, F.; Solervicens, J. & Ojeda, P. 1989. Coleópteros del Parque Nacional La Campana y Chile Central. Ediciones Universitarias de Valparaíso. Universidad Católica de Valparaíso, Chile. 124p.
- Spencer, K.A., 1973. Agromyzidae (Diptera) of economic importance. W. Junk B&V, Publishers, The Hage. 418p.
- Spencer, K.A., 1982. Agromyzidae (Diptera) in Chile. Stuttgarter Beiträge zur Naturkunde. Serie A. Biologie N°357. 55p.
- Toro, H., 1972. Notas biológicas sobre la langosta de Combarbalá (*Philippiacris rubiosus* Phil.). *Idesia* 2: 133-136.
- Toro, H., Chiapa, E. & Tobar, C., 2004. Biología de insectos. Ediciones Universitarias de Valparaíso. Universidad Católica de Valparaíso, Chile. 244p.
- Vargas, H., 1967. Plagas y enfermedades de los cultivos de Azapa. Rev. Universidad del Norte. Chile 2: 1-24.
- Zúñiga, E., 1967. Lista preliminar de áfidos que atacan a cultivos en Chile, sus huéspedes y enemigos naturales. *Agricultura Técnica* (Chile) 27 (4):165-177.
- Zúñiga, E. & Aguilera, A., 1989. Presencia del pulgón manchado *Therioaphis trifolii* (Monel) (Homoptera: Aphididae) en Chile. *Agricultura Técnica* (Chile) 49 (2): 164-168.

Capítulo XII

Manejo alimentario y nutricional de vacas en pastoreo

Pedro Meléndez Retamal

Contenido

Introducción	478
Conceptos básicos	480
Fraciones nutricionales	480
Conceptos nutricionales y fisiológicos en ganado lechero	483
Alimentación en sistemas pastoriles	491
Bibliografía	494

Introducción

Los sistemas de producción de leche en base a pastoreo, típicos del sur de Chile y otros países como Nueva Zelandia e Irlanda, basan su filosofía en obtener la máxima productividad utilizando las praderas y pasturas, minimizando el uso de concentrados y subproductos producidos interna o externamente al predio.

Permitir que las vacas lecheras pasten, en lugar de cosechar y almacenar los forrajes, es sin lugar a dudas un medio muy económico para satisfacer algunas o todas las necesidades nutricionales de una vaca lechera. Para un rebaño en pastoreo, la cantidad de forraje que se consume puede variar mucho dependiendo del tamaño del rebaño, la superficie de la pradera, las condiciones de crecimiento o la época del año. El pastoreo se ha practicado durante siglos, pero algunas de las medidas de manejo de la pradera han ido cambiando con el tiempo. Uno de los mayores desafíos de los sistemas pastoriles es que se deben evaluar en el día a día debido al cambio del estado fenológico de la planta. Así, el movimiento de las vacas debe evolucionar constantemente y cambiar de acuerdo a la contribución de la pradera para que coincida con la disponibilidad de forrajes y el aporte de nutrientes. Este es el gran cuello de botella del pastoreo. La pradera no es la misma todos los días y para una producción de leche estable y rentable, el manejo adecuado de la pradera es esencial. Los pastos deben manejarse de modo que las vacas en lactancia consuman siempre una pradera de excelente calidad. Este es un desafío no menor y la especie forrajera elegida, junto con su madurez y valor nutricional, son esenciales para lograr las metas productivas y de rentabilidad. La madurez adecuada de la planta se logra manejando una rotación adecuada de los potreros utilizando estratégicamente cercos eléctricos. En este capítulo se analizan algunos de los componentes claves en el manejo de un sistema pastoril para un rebaño lechero de la zona templada.

1. **Rotación:** Se debe administrar una rotación eficiente de la pradera para permitir que las plantas tengan tiempo de recuperarse y volver a crecer. En el caso de las gramíneas de la zona templada (género *Lolium*) crecen a partir de los rebrotes que están cerca de la superficie del suelo; por lo tanto, es importante dejar un residuo de 6 a 8 cm para permitir este rebrote. Un pastoreo con un residuo menor aumenta el tiempo de recuperación, disminuye la capacidad de supervivencia de las plantas, especialmente durante condiciones de sequía, y disminuye el valor nutricional de las plantas.
2. **Estado vegetativo de la pradera:** Las praderas se deben consumir con plantas tiernas en estado vegetativo (Figura 12.1). En estas condiciones las plantas contienen menos fibra y por lo tanto son más digestibles. Además, contienen más azúcares solubles, energía y proteínas, lo que reducirá la cantidad de concentrado a utilizar para mantener los niveles de producción de leche. Las plantas en estados avanzados de maduración contienen más lignina y son menos digeribles en el rumen. Estos factores no solo reducen la concentración de energía del forraje, sino que también reducen el consumo de materia seca, lo que afectará de forma negativa la producción de leche y aumentará la cantidad de concentrado a utilizar en la sala de ordeño.
3. **Tiempo de pastoreo:** Las vacas lecheras pastan unas ocho horas diarias, con los períodos más intensos temprano en la mañana y más tarde en el crepúsculo. Las vacas lecheras son muy selectivas y prefieren las gramíneas sobre las leguminosas, por lo tanto, es importante considerar este factor al momento del pastoreo. Además, la vaca consume primero la parte superior de la planta que la que contiene mayor concentración de nutrientes. El siguiente trozo a consumir es el centro de la planta, en donde la concentración de nutrientes es menor que en la parte superior. La parte inferior contiene más tallo y, por

lo tanto, más fibra que las partes superiores. Se debe intentar que los animales consuman la mayor parte de la planta, dejando el tercio inferior como residuo, ya que eso resulta en un consumo más uniforme de los nutrientes que tiene la planta. El pastoreo con cercos eléctricos le permite al productor lograr este objetivo.



Figura 12.1. Vacas de alta producción pastoreando pasturas de *Lolium perenne* L. + *Trifolium repens* L. en estado vegetativo.

4. **Mantener el nivel de consumo de materia seca:** En cualquier sistema de alimentación, mantener el nivel de consumo de materia seca es fundamental. El consumo de materia seca de la pradera se determina por la velocidad de la mordida, el tiempo dedicado al pastoreo y el tamaño del bocado. El tamaño de bocado es el más variable de estos tres factores. Por lo general, el ganado es capaz de llevar a cabo 50 a 70 mascadas por minuto, emplea aproximadamente 8 horas de pastoreo al día y logra un tamaño promedio de 5 a 6 gramos por bocado. El tamaño del bocado está directamente relacionado con la densidad del forraje y la altura de la planta. Por lo tanto, debemos estimular a las vacas a que obtengan una gran cantidad de pasto por masticada (boca llena) para optimizar el consumo de forraje.
5. **Calidad del forraje:** Los programas de pastoreo deben diseñarse de modo que las vacas obtengan un forraje de alta calidad en todo momento durante el pastoreo. Los forrajes conservados se deben utilizar cuando la pradera o pastura de alta calidad no se encuentra disponible en cantidades suficientes (invierno y épocas de sequía) y, por lo tanto, no se puedan cubrir las necesidades nutricionales del rebaño.
6. **Aporte de agua:** Se debe proporcionar abundante agua fresca y limpia en cada área de pastoreo. Limitar el consumo de agua va a disminuir la producción de leche rápidamente. Las vacas lecheras, que producen 25 kg de leche al día, consumen aproximadamente 100 litros de agua diarios cuando la temperatura ambiente es de 16°C. Cuando la temperatura aumenta a 32°C el consumo de agua aumenta aproximadamente en 20 litros por día.
7. **Sombra:** Durante las horas del día se debe proporcionar sombra adecuada. La rotación de las áreas de sombra es importante para prevenir el estrés calórico y las mastitis ambientales.
8. **Proteína degradable:** La pradera tierna de invierno y primavera contiene un nivel elevado de proteína degradable en el rumen, y las plantas que la componen son, a su vez, bajas en azúcares y almidón. En las dietas en base a praderas, el nitrógeno ureico en leche es más alto que cuando se usan dietas convencionales. Por lo tanto, se deben proporcionar concentrados en base a almidón (como maíz o triticale) y fuentes de azúcares simples (melaza) que permitan que las bacterias del rumen puedan utilizar en forma más eficiente la proteína degradable. Esto permite disminuir la urea en leche, aumentar los rendimientos de producción y el contenido de sus sólidos.

El manejo alimentario de vacas en lactancia, independientemente si se trata de pastoreo, estabulación o ambos, debe estar dirigido a cubrir los requerimientos de todos los nutrientes esenciales a lo largo del ciclo productivo de la vaca. A medida que la vaca experimenta los distintos procesos fisiológicos de su ciclo (último tercio de lactancia, secado, parto, postparto temprano, peak de lactancia, lactancia intermedia, primer tercio de gestación, lactancia tardía, segundo tercio de gestación), los requerimientos de cada uno de los nutrientes esenciales (energía, fibra, proteína, minerales, vitaminas y agua) van cambiando de acuerdo a cada proceso. En ciertas circunstancias los estados fisiológicos se intercalan, por ejemplo, lactancia y gestación, y por lo tanto los requerimientos se deben integrar. Por otro lado, bajo condiciones ambientales adversas (nieve, lluvia, exceso de calor y humedad, barro, bajas temperaturas) y condiciones de bienestar animal sub-óptimas, los requerimientos de mantención aumentan, por lo tanto, estos aspectos se deben tener en cuenta a la hora de establecer un programa de manejo alimentario. Sin lugar a dudas, condiciones de estrés ambiental y bienestar animal inadecuado van a incrementar los costos de alimentación o van a determinar una menor productividad de la vaca con la consecuente menor rentabilidad del sistema.

Conceptos básicos

En cualquier especie productiva y tipo de manejo alimentario de que se trate se requiere conocer cabalmente los insumos alimenticios que se van a utilizar en el programa. A tal efecto, el análisis químico y nutricional de los alimentos es fundamental para cumplir las metas productivas establecidas.

Análisis nutricional de los alimentos: El análisis nutricional de los alimentos es fundamental para poder llevar a cabo un eficiente manejo alimentario en todas las etapas del ciclo productivo del ganado lechero. Sin embargo, para poder tomar ventaja de este procedimiento, se requiere de un conocimiento acabado de todas las fracciones químico-nutricionales de las que consta un alimento.

Existen dos tipos de análisis nutricionales, uno es en base a química húmeda y el otro es en base a espectrofotometría de rayos infrarrojos (NIRS), que es de menor costo y más rápido, pero requiere de curvas estándar y adecuada calibración del equipo. Esto hace que el NIRS sea menos exacto dentro de su precisión. La química húmeda, en cambio, puede ser más precisa y exacta, pero requiere de más tiempo y es más costosa.

Proceso de muestreo: En general, los alimentos con más humedad presentan una mayor variación en el resultado de su composición nutricional; por lo tanto, el muestreo aleatorio y representativo es fundamental para obtener un resultado preciso y exacto. En este sentido, el orden de importancia en cuanto a la variabilidad de los resultados de un análisis nutricional es, en primer lugar, los forrajes húmedos (pradera, soiling, premarchito), ensilajes, subproductos de la agroindustria con alto contenido de humedad, henos y pajas y, finalmente, los concentrados.

Fracciones nutricionales

En este acápite se presentan los factores nutricionales a determinar en un análisis de alimento según el modelo de Cornell CNCPS 6.55 (Van Amburgh *et al.*, 2015).

Humedad: Es el porcentaje de agua que contiene una muestra de alimento.

Materia Seca: Es la suma de todos los nutrientes presentes en la muestra. Todas las interpretaciones de las mediciones nutricionales se deben hacer en base al total de materia seca, que constituye el 100% de la muestra una vez eliminada el agua que contiene. Es importante conocer el contenido de materia seca de los alimentos para asegurar que el ganado reciba la cantidad adecuada de nutrientes que satisfacen sus necesidades nutricionales.

Base tal como ofrecido (TCO): Significa que los nutrientes de una muestra se están expresando en su estado natural, incluyendo el agua.

Base materia seca (MS): Los valores nutricionales de forrajes o cualquier alimento, se expresa en base a su contenido de materia seca.

Proteína Cruda (PC): Es el contenido total de nitrógeno de la muestra multiplicado por 6,25 en forrajes, 5,95 en maíz y 5,85 en cereales de grano pequeño. Por lo tanto, refleja tanto la proteína verdadera como el nitrógeno no proteico, pero no aporta nada en cuanto a la calidad de la proteína.

Urea y Amonio: Hace referencia al contenido nitrógeno, pero al de proteína verdadera. Sin embargo, en el rumen de la vaca, este nitrógeno no proteico puede ser utilizado por los microorganismos para su multiplicación y ser convertido en proteína microbiana. La urea y el amonio se incluyen dentro de la fracción proteica conocida como “proteína soluble”.

Proteína soluble (PS): Incluye las proteínas y el nitrógeno no proteico que, rápidamente (en minutos), se degradan en el rumen y son utilizadas por las bacterias ruminales.

Proteína degradable en el rumen (PDR): Bajo esta denominación se engloban todas las proteínas solubles y otras proteínas con un grado de degradabilidad intermedia (más lenta que la soluble) a nivel ruminal y que son utilizadas por las bacterias para su multiplicación.

Proteína no degradable en el rumen (PNDR): Son las proteínas que tienen una tasa muy lenta de degradación y, por lo tanto, escapan a la digestión de los microorganismos del rumen y pasan intactas al tracto digestivo posterior. También se conocen como proteínas de sobrepaso o “bypass”. Esta fracción de la proteína no degradable es digerida a nivel intestinal, al igual que en los monogástricos, incluidos el ser humano.

Proteína cruda insoluble en detergente ácido (PCIDA, en inglés ADICP): También es conocida como proteína no disponible o dañada por calor. Este tipo de fracción se origina típicamente en procesos de secado de algunos alimentos, en los que la porción proteica reacciona con los carbohidratos para formar un complejo insoluble e indigerible que no es disponible para el animal.

Proteína cruda insoluble en detergente neutro (PCIDN, en inglés NDICP): Representa toda la proteína indisoluble, no degradable e indisponible para el animal.

Fibra detergente neutra (FDN, en inglés NDF): Es una medición de la hemicelulosa, celulosa y lignina que incluye toda la parte fibrosa del forraje. Estos tres compuestos representan las paredes celulares de los forrajes y se denominan, en general, como “carbohidratos estructurales”. El contenido de FDN de las dietas o forrajes se correlaciona de forma negativa con el consumo de materia seca, en donde la FDN en exceso va a determinar un menor consumo de alimento por parte del animal.

NDFom: Esta medición se basa en medir la FDN, pero libre de cenizas o minerales. Es decir, significa que el resultado es referido solo a la materia orgánica (“om” en inglés).

Fibra detergente ácida (FDA, en inglés ADF): Se corresponde con la celulosa y la lignina. A medida que el contenido de lignina aumenta, la digestibilidad de la celulosa disminuye; por lo tanto, el contenido de FDA se correlaciona negativamente con la digestibilidad total del alimento evaluado.

Lignina: Es un componente indigerible de los forrajes. Mientras más madura es una planta, más alto es su contenido en lignina y, por ende, menos digerible.

Fibra cruda (FC): Antiguamente se utilizaba un método para cuantificar la fibra y clasificar los carbohidratos en digeribles y no digeribles. La fibra cruda incluye casi todo el contenido de celulosa y solo una porción de la lignina. Se trata de una determinación que se debería dejar de lado ya que no aporta una apreciación precisa de los carbohidratos estructurales de los alimentos.

Digestibilidad verdadera “in vitro” (en inglés IVTD): Esta determinación se basa en una fermentación anaeróbica llevada a cabo en el laboratorio para simular la digestión que ocurre en el rumen. A tal efecto, se utiliza fluido ruminal de vacas canuladas y las muestras se incuban por un periodo definido de tiempo a 39°C (temperatura corporal de la vaca). Durante este tiempo los microorganismos del líquido ruminal digieren la muestra como ocurriría en el rumen de una vaca. El resultado es una medida de la digestibilidad de la muestra que puede ser utilizada para estimar valores de energía del alimento.

Digestibilidad de la fibra detergente neutra (en inglés NDFD): Se corresponde con el porcentaje de la FDN potencialmente digerible y se determina por incubación con líquido ruminal. Sirve para hacer un ranking de los forrajes sobre la digestibilidad potencial de su fibra y para el cálculo de los valores energéticos de las muestras de forrajes.

Pectinas: Se trata de carbohidratos o polisacáridos de las paredes celulares que funcionan como aglomerantes celulares. También se conocen como fibra soluble. Se degrada más rápida que otros componentes normales de

la fibra (celulosa y hemicelulosa) y a pesar de formar parte de la FDN, sus características de degradación son más similares a la de los carbohidratos no estructurales, tales como el almidón, pero con la salvedad de que las pectinas no causan acidosis ruminal.

Almidón: Es un polisacárido rico en glucosa que se encuentra principalmente en los granos de cereales, semillas y/o raíces de las plantas. Forman parte de la fracción conocida como carbohidratos no fibrosos.

Carbohidratos solubles en agua (en inglés WSC): Incluye a los azúcares simples y algunos más complejos como los fructanos, que forman parte de muchas de las plantas que componen las praderas.

Carbohidratos no fibrosos (en inglés NFC): Son los carbohidratos que no están incluidos en la fracción de paredes celulares o fibra. Dentro de estos tenemos al almidón, azúcares simples o solubles, ácidos orgánicos y, en algunos casos, pectinas. Se calculan mediante la fórmula $NFC = 100\% - (\%PC + (\%FDN - \%NDICP) + \%grasa + \%cenizas)$.

Grasa cruda o extracto etéreo (EE): Se determina típicamente por extracción con “éter”. Las grasas son nutrientes altamente energéticos y contienen de 2,25 a 2,80 veces más energía de la encontrada en los carbohidratos.

Ácidos grasos totales (en inglés TFA): Son un tipo de grasas que se extraen con metanol y hexano y se miden por cromatografía de gas. Forman parte del extracto etéreo.

Energía: La energía es fundamental para la vida, pero su evaluación química no es intuitiva. Por ello, los valores de energía de los alimentos se obtienen por ecuaciones predictivas o fórmulas a partir de nutrientes que se determinan químicamente (carbohidratos, proteína, grasas). El distinto aprovechamiento de la energía por los animales determina que el valor energético sea diferente, por ejemplo, entre vacas y cerdos.

Nutrientes digestibles totales (en inglés TDN): Es la suma de la proteína digestible, carbohidratos no estructurales digestibles, FDN digestible y 2,25 veces el contenido de grasa o extracto etéreo digestible.

Energía bruta: Es el valor energético total del alimento antes de ser consumido por los animales. De forma gráfica se podría decir que es el calor liberado por este alimento si se le prendiera fuego hasta consumirse completamente.

Energía digestible (ED, en inglés DE): Corresponde a la energía bruta menos la energía que se pierde por las heces.

Energía metabolizable (EM, en inglés ME): Es la energía bruta menos la energía perdida en las fecas, orina y gases.

Energía neta para lactancia (ENL): Es una estimación de la energía del alimento útil para mantener al animal y para producir leche durante la lactancia y para las vacas gestantes y secas hasta el momento del parto.

Cenizas: Se refiere al contenido total de minerales de la muestra. Dentro de los minerales a medir tenemos los macrominerales, como calcio (Ca), fósforo (P), magnesio (Mg), potasio (K), sodio (Na), azufre (S), cloro (Cl) y los microminerales como hierro (Fe), zinc (Zn), cobre (Cu), cobalto (Co), selenio (Se), molibdeno (Mo), manganeso (Mn) y yodo (I).

Valor relativo del alimento (en inglés, RFV): Es un índice que clasifica a los forrajes en base a su digestibilidad y consumo potencial. Se calcula a partir del contenido de FDN y FDA. Un valor de RFV de 100 se considera como un valor estándar basado en un heno de alfalfa que contiene 41% de FDA y 53% de FDN en base materia seca. Mientras mayor sea el RFV, mejor es la calidad del alimento.

Calidad relativa del forraje (en inglés RFQ): Es un índice para el ranking de forrajes basado en un análisis más comprensivo que el RFV. Se calcula a partir de la PC, FDA, FDN, grasas, cenizas y digestibilidad de la FDN hasta las 48 horas. La valoración base también es 100 y mientras mayor sea el RFQ mayor calidad presenta ese forraje.

Nitratos (NO₃): Es un compuesto que puede llegar a ser tóxico para los animales. Ciertas plantas tienden a acumular nitratos y, por lo tanto, a veces es importante evaluar este compuesto. Algunas plantas acumuladoras son el sorgo, pasto sudan y las avenas, sobre todo en situaciones de pastoreo y estrés de la planta.

pH: Es una medición del grado de acidez de un alimento, especialmente ensilajes. Un buen ensilaje de maíz debería tener un pH entre 3,5 y 4,5 y un ensilaje de alfalfa o henilaje de entre 3,8 y 5,3.

Ácidos grasos volátiles (en inglés VFA): Primariamente son el ácido láctico, acético, propiónico y butírico producidos por un proceso de fermentación microbiana tanto en los ensilajes como en el rumen de una vaca.

Conceptos nutricionales y fisiológicos en ganado lechero

Carbohidratos y fibra

Los carbohidratos se clasifican en dos grandes grupos: fibrosos y no fibrosos. En los fibrosos tenemos aquellos carbohidratos que son solo digeridos y fermentados por los microorganismos del rumen. Entre ellos encontramos por orden de abundancia, la celulosa, hemicelulosa y carbohidratos menores (mananos, xilanos, pectinas). Entre los no fibrosos se encuentran el almidón y otros azúcares y ácidos simples. Estos últimos son rápidamente fermentados en el rumen y también pueden ser digeridos a nivel intestinal

Almidón

Es un carbohidrato o azúcar complejo que sirve como reserva energética de las plantas. Este compuesto está formado por subunidades más simples denominadas amilosa y amilopectina, que a su vez son cadenas simples de glucosa, que es el azúcar de la sangre en humanos y mamíferos. El almidón se encuentra principalmente en semillas de cereales (maíz, trigo) y en algunas raíces y tubérculos, tales como la papa.

El almidón se diferencia de los demás azúcares de la naturaleza en que se presenta en forma de gránulos. Existen dos tipos de gránulos de almidón: los grandes lenticulares y los pequeños esféricos. En la cebada, por ejemplo, los granos lenticulares se forman durante los primeros 15 días después de la polinización y los pequeños aparecen a los 18-30 días posteriores a la polinización. Los tamaños y las formas de los gránulos de almidón de los cereales varían de un grano a otro. Por ejemplo, en el trigo, cebada, maíz, y sorgo los gránulos son sencillos, mientras que los de arroz son compuestos y los de la avena pueden ser gránulos sencillos como compuestos, predominando estos últimos. Esto hace que el almidón sea fermentado y utilizado con diferentes niveles de eficiencia por parte de los rumiantes. En otras palabras, algunos cereales presentan un almidón que puede fermentar y/o digerirse a una velocidad mayor que el de otros tipos de granos y esto se debe tener en cuenta a la hora de formular raciones para vacas lecheras.

El almidón es un nutriente muy importante en la nutrición de las vacas lecheras, especialmente para aquellas de alta producción. Pertenecce a la fracción nutricional de los alimentos conocida como carbohidratos no fibrosos (CNF o NFC en inglés), junto a los azúcares simples, fibra soluble (pectinas) y β -glucanos. El almidón es la fracción más importante de los CNF (Tabla 12.1) y muchas investigaciones se han llevado a cabo para intentar determinar las concentraciones óptimas del almidón en las dietas.

Tabla 12.1. Composición de la fracción CNF de alimentos típicos en ganado lechero.

Alimento	Azúcares	Almidón	Pectinas	AGV
% de los Carbohidratos no fibrosos (CNF)				
Ensilaje de alfalfa	0,0	24,5	33,0	42,5
Heno de Gramíneas	35,4	15,2	49,4	0,0
Ensilaje de Maíz	0,0	71,3	0,0	28,7
Maíz grano molido	20,9	80,0	0,0	0,0
Pulpa de remolacha	33,7	1,8	64,5	0,0
Cebada grano	9,1	81,7	9,2	0,0
Afrecho de Soya 48% PC	28,2	28,2	43,6	0,0

AGV: ácidos grasos volátiles, Fuente: National Research Council, 2001

Los CNF se calculan de acuerdo con la siguiente fórmula: $CNF = 100 - (PC + EE + Cenizas + FDN-PIFDN)$. Donde PC: proteína cruda, EE: grasa cruda o extracto etéreo del alimento, cenizas: minerales, FDN es la fibra neutro detergente y PIFDN es la proteína insoluble ligada a la fibra neutro detergente.

La cantidad óptima de almidón en las dietas es función de muchos factores, incluyendo su degradabilidad, fuente del almidón o el tipo de grano del cual proviene, tipo de procesamiento (grano chancado vs. molido vs. fermentado), cantidad de proteína soluble, contenido de FDN o carbohidratos estructurales de la dieta, tipo de

manejo alimentario (ración completa vs. top-dressing vs. pastoreo), ambiente (dry-lot vs. cubículos vs. pastoreo) y clima (verano vs. invierno).

En general, las recomendaciones de almidón para vacas en producción varían desde un 20 a 30% de la ración en base a la materia seca, dependiendo del contenido de forraje de la dieta. La base de esta recomendación son resultados experimentales, pero también observaciones de campo y el empirismo de los nutricionistas. Es por esto, que es muy difícil definir una concentración óptima del almidón en la ración, sin considerar las otras fracciones nutricionales de la dieta.

Adicionalmente, debemos considerar la degradabilidad del almidón y las otras fracciones de los carbohidratos dietarios que son parte de la FDN, FDA, azúcares simples, pectinas y la lignina, que no es un carbohidrato. Según lo anterior, es necesario optimizar la relación entre las diferentes fracciones de carbohidratos y sus tasas de digestión para formular de forma eficiente una ración.

Dietas que contienen grandes cantidades de subproductos fibrosos tendrán un bajo contenido en almidón y un alto contenido de FDN digestible (celulosa y hemicelulosa) y habrá una limitante en el contenido energético de la dieta. En el caso del pastoreo (la pradera es baja en almidón) se debe complementar con el concentrado en la sala de ordeña para poder aportar el almidón que se necesita. No obstante, se debe buscar el justo equilibrio entre los carbohidratos solubles (almidón) y fibrosos (celulosa) de la dieta para mantener un rumen sano y así no inducir enfermedades digestivas, especialmente del tipo acidosis ruminal. Por ello el desfase entre el consumo de concentrado en la sala y el pastoreo post ordeña, es un factor de riesgo muy importante que puede explicar cuadros de acidosis ruminal subaguda en vacas en pastoreo.

El almidón proporciona una gran cantidad de energía de fácil digestión. Procede fundamentalmente de los granos de cereales y, en segundo lugar, de ensilajes de granos tradicionales, principalmente ensilaje de maíz. El contenido de almidón en los granos varía desde un 45% en la avena, a un 75% en el maíz (base materia seca). En cambio, en los forrajes el almidón varía de < 15% en la alfalfa, a valores tan altos como un 38% en ensilaje de maíz (Tabla 12.2). Por otro lado, la fermentación del almidón en el rumen es extremadamente variable, con un margen que va de <50% a > 90%, lo cual es función del tiempo de retención de las partículas que permanecen en el rumen.

Tabla 12.2. Contenido de almidón de algunos alimentos.

Alimento	Almidón (% MS)
Maíz grano	70-75
Cebada grano	50-56
Avena grano	40-44
Trigo grano	62-65
Germen de maíz	50-55
Afrecho de trigo	18-26
Harinilla de trigo	22-26
Gluten feed	14-18
Gluten meal	15-18
Ensilaje de maíz	20-45

Fuente: National Research Council, 2001

A medida que el contenido de almidón aumenta en la dieta y por ende baja el contenido de fibra, el consumo de materia seca aumenta. No obstante, se debe tener en cuenta un límite máximo de almidón que permita mantener un rumen saludable.

La medición rutinaria de los CNF de los alimentos es una técnica relativamente nueva en los laboratorios de nutrición animal. Es de suma importancia llevar a cabo un análisis nutricional completo y consistente, y contar con una cuantificación de todas las fracciones nutricionales. Es decir que no basta con medir los CNF de la ración, sino que hay que tener en cuenta también los valores de almidón y azúcares simples, lo que permite hacer el trabajo fino de un nutricionista a nivel predial. En general, el contenido de almidón del total de los CNF se encuentra en un rango de entre 53 y 74% y, por lo tanto, es lo suficientemente amplio como para obtener su valor individual. Un balance adecuado de las fracciones de carbohidratos presentados en la Tabla 12.3

debería minimizar el riesgo de acidosis ruminal, maximizar el crecimiento de las comunidades microbianas del rumen, y minimizar la necesidad de suplementos proteicos ricos en proteínas no degradables, ya que estamos maximizando la producción de proteínas a nivel ruminal. Otro aspecto a considerar es que el almidón es el único componente de los carbohidratos no fibrosos que escapa de forma substancial de la fermentación ruminal. Este escape depende del tipo de almidón, de su tipo de procesamiento, su nivel de consumo, del contenido de FDN físicamente efectiva (FDN de forrajes) y del manejo alimentario en general. Este almidón que pasa a zonas posteriores del tracto digestivo (intestino delgado y grueso) también se digiere, pero también es un proceso variable. Esta digestión puede ser de entre un 55 y 85%, para el maíz grano. La tasa de digestión más baja se observa principalmente en maíz grano seco ya sea molido o roleado, mientras que la digestión más alta se observa con el maíz en grano húmedo.

Tabla 12.3. Recomendaciones de niveles dietarios de carbohidratos para vacas lecheras.

Fracción	Cantidad
Fibra Neutro Detergente total (FDN, como % de la MS)	28-32
FDN físicamente efectiva (como % de la FDN)	20-24
FDN de forrajes (como % de la MS)	18-23
Carbohidratos No Fibrosos (CNF, como % de la MS)	30-43
Fibra soluble (como % de la MS)	4-10
Almidón (como % de la MS)	23-30
Almidón fermentable (como % del almidón)	83-86
Azúcares simples (como % de la MS)	4-8

Fuente: National Research Council, 2001

Otro punto importante a considerar, es la dificultad, cada vez mayor, de incluir el almidón en las dietas tradicionales de las vacas lecheras de alta producción, debido principalmente al elevado precio de los granos, sobre todo del maíz. Es por esto que conviene evaluar otras fuentes de energía, especialmente subproductos ricos en fibra neutro detergente soluble (pectinas), tales como pulpas de remolacha (coseta) y pulpas de cítricos, que parcialmente reemplacen el almidón procedente de granos de mucho mayor valor comercial.

Fibra

A diferencia de otros nutrientes, en los que los requerimientos se establecen en gramos por vaca al día, para un tamaño y peso específico del animal y un nivel de producción de leche determinado, los requerimientos para la fibra son recomendaciones mínimas. Estas tienen como objetivo mantener el pH ruminal dentro de márgenes normales (5,8 a 6,6), sostener una adecuada digestión ruminal, prevenir estados de acidosis subclínica y desplazamientos del abomaso, junto con mantener niveles adecuados de materia grasa en la leche. Estos son valores mínimos de fibra y máximos de carbohidratos no fibrosos y no es un valor óptimo de formulación, ya que estos valores no han sido determinados.

En el caso de rebaños en pastoreo que reciben el almidón a través del concentrado proporcionado en la sala de ordeña, que no poseen un carro forrajero, carecen de galpones de alimentación de paso a través y que no ofrecen un tamaño adecuado de partículas, con el uso de fuentes de almidón rápidamente fermentables a nivel ruminal (maíz roleado o maíz húmedo vs maíz grano seco molido, dietas ricas en base a trigo, triticale, cebada o avena molida) y/o un inadecuado manejo de comederos o la forma en cómo se entrega la dieta (cantidad de alimento y frecuencia de alimentación) deberían basar su formulación dentro de márgenes de máxima seguridad utilizando los máximos niveles permitidos de FDN y que en gran proporción (70% del total de la FDN) provengan de forrajes. Además, deben utilizar el mínimo de CNF, sin que se comprometa el objetivo productivo del rebaño.

Un adecuado tamaño de partículas en raciones completas en base a ensilajes, principalmente, debería ser aquel que logra al menos un 8 a 10% de partículas retenidas en la malla superior del sistema de Pennsylvania (sistema de 3 mallas) con menos de un 50% de partículas finas recogida en la bandeja inferior. Si la ración completa ofrecida en galpones de paso a través, previo o después de la ordeña, es principalmente en base a forrajes más toscos (heno o pajas) entonces el porcentaje de la malla superior se podría rebajar hasta un 6%, ya que este tipo de forraje es más efectivo como fuente de fibra verdadera. Finalmente, lo que va a dictaminar si estas cifras son las adecuadas es el porcentaje de vacas rumiando en cada momento y que no debería ser inferior a un 45%.

Fibra efectiva: La FDN de los subproductos ricos en fibra no es tan efectiva como la FDN procedente de los forrajes, para mantener niveles adecuados de grasa en la leche. Una excepción a esta regla podría ser el uso de semilla de algodón. La cantidad de FDN considerada como efectiva o normal para el animal es aquella capaz de mantener los niveles de materia grasa de la leche y la FDN físicamente efectiva se define como aquella que es capaz de mantener una mínima proporción de vacas rumiando a todo momento (> 45%). En base a estos supuestos, se recomienda que el valor de FDN físicamente efectiva sea del orden de 22% de la ración en base a la materia seca para mantener un promedio de pH ruminal de 6,0 y de 20% para mantener la grasa láctea sobre un 3,4% (Tabla 12.4).

Tabla 12.4. Concentraciones mínimas recomendadas (% MS) de FDN de forrajes y de CNF de dietas en base a maíz grano de una dieta ración completa según National Research Council (2001).

Mínimo FDN de forrajes	Mínimo FDN total de la dieta	Máximo CNF de la dieta ¹
19%	33%	44%
18%	31%	42%
17%	29%	40%
16%	27%	38%
15% ²	25%	36%

¹Carbohidratos No Fibrosos = 100 - (% FDN - FDNPI + %PC + %Grasa + %Cenizas). ²No recomendado debido a depresión del material graso de la leche

Proteína: Las proteínas son nutrientes esenciales tanto para las plantas como para los animales. Están formadas por unidades elementales llamadas aminoácidos. Las proteínas cumplen una serie de funciones en los seres vivos. Forman parte estructural de la piel, pelos y órganos internos. Son además un constituyente importante de la sangre y un componente esencial de la leche. De ahí la importancia de la leche en la nutrición del ser humano. Los aminoácidos, los podemos entender como las letras del abecedario y dependiendo del orden en que se ensamblen, formarán distintas palabras (proteínas). Así, las proteínas son compuestos muy complejos que cumplen diferentes funciones. Es el caso de la proteína de la leche (llamada caseína), la proteína de la piel (queratina), alguna de las proteínas de la sangre (albuminas) u otras como las globulinas entre las que se encuentran los anticuerpos de defensa de los animales. Las proteínas se pueden clasificar según su solubilidad en agua y la estructura tridimensional o forma que presentan. Así tenemos las proteínas globulares, dentro de las cuales encontramos las albúminas, globulinas, glutelinas, prolaminas, e histonas. Son solubles, pero complejas desde el punto de vista tridimensional. Por otro lado tenemos las proteínas fibrosas, tales como los colágenos, elastinas, y queratinas, que son menos complejas desde el punto de vista estructural, pero también menos solubles (Patton *et al.*, 2014).

Desde el punto de vista nutricional, la calidad de los alimentos proteicos está determinada por su contenido total de proteína verdadera y la calidad de la misma o composición en aminoácidos. En general, los alimentos proteicos de origen animal, tales como la harina de pescado, son de mejor calidad que los de origen vegetal, como la soya. No obstante, debemos recordar que el uso de insumos de origen animal del tipo harina de carne y hueso está prohibido en la alimentación de animales de producción debido al riesgo asociado a la enfermedad de las vacas locas (encefalopatía espongiforme bovina).

Los aminoácidos están compuestos de nitrógeno (N) en un promedio de 16%. Esta es la base del concepto de cómo se obtiene en los laboratorios de nutrición animal la cantidad de proteína de los alimentos. El proceso de laboratorio determina el contenido total o porcentaje de N de la muestra y lo multiplica por el factor 6,25. El problema es que no todo el N presente en el alimento es de origen proteico ya que hay otros componentes químicos que contienen N y no son proteínas, aunque estén presentes en menor proporción. De este modo, el concepto de proteína cruda obtenida por esta metodología es una aproximación grosera al contenido real de proteína del insumo alimenticio que se está analizando, ya que no dice nada sobre la calidad de la proteína. Lo importante es conocer el contenido de aminoácidos de la proteína presente en el insumo que se está analizando ya que son estos las unidades básicas que serán utilizadas por el animal para producir sus propias proteínas. En otros términos, el animal lo que hace con la proteína a nivel de su aparato digestivo es degradarla a aminoácidos para luego absorberlos hacia la sangre y utilizarlos para generar sus propias proteínas según su código genético (Sinclair *et al.*, 2014).

Metabolismo ruminal de las proteínas

En el caso de los rumiantes, según el tipo de proteína (estructura y solubilidad), ésta puede ser degradada

en el rumen por los microorganismos ruminales (proteína degradable) o puede resistir el ataque de los microorganismos y pasar intacta al intestino (proteína no degradable o by-pass). La proteína degradable se transforma principalmente en amonio (NH_3), que es utilizado por los microorganismos para producir sus propios aminoácidos y proteínas y así multiplicarse. Por lo tanto, la proteína degradable, independientemente de su cantidad y calidad o composición aminoácídica, se transforma a un mismo tipo de proteína o proteína estándar, que es la representada por los microbios del rumen. En cambio, la proteína no degradable no sufre este cambio a nivel del rumen y conserva su composición en aminoácidos, los cuales son absorbidos como tal en el intestino (Patton *et al.*, 2014).

En general la dieta de las vacas de lechería debería contener entre un 30 y un 40% de proteína no degradable y un 60 a 70% de proteína degradable, ya que para optimizar la fermentación del rumen se debe aportar proteína degradable a los microorganismos (Sinclair *et al.*, 2014).

Los microorganismos del rumen incluyen bacterias, protozoos y hongos. Las bacterias son los principales organismos asociados a la degradación de las proteínas y por ende son productores netos de amonio. A su vez algunas poblaciones bacterianas tienen la capacidad de sintetizar nuevos aminoácidos y proteínas a partir del amonio producido en el rumen. Las poblaciones productoras netas de amonio son inhibidas por los ionóforos como la lasolcid y monensina. Como los protozoos no pueden sintetizar proteínas a partir del amonio, ellos son exportadores netos de amonio. Por lo tanto, la eliminación parcial de protozoos, a través del uso de saponinas extraídas de plantas como la yuca o el quillay hace disminuir el amonio ruminal. El exceso de amonio ruminal es absorbido y llevado al hígado para ser convertido en urea, la cual difunde por todo el organismo y es excretada en la orina, saliva, y leche.

Las proteínas en el rumen tienen diferentes tasas de degradabilidad. Este concepto ha sido abordado muy detalladamente por el modelo de degradabilidad ruminal de carbohidratos y proteína desarrollado por la Universidad de Cornell (Tabla 12.5) (Van Amburgh *et al.*, 2015).

Tabla 12.5. Fracciones de carbohidratos y proteínas y su tasa de degradabilidad según el modelo nutricional de Cornell (CNCPS, Versión 6.55).

Fracción	Componentes	Tasa de degradación (kd, %/h)
CA1	Ácidos acético, propiónico y butírico	0
CA2	Ácido láctico	7
CA3	Otros ácidos orgánicos	5
CA4	Azúcares solubles	40-60
CB1	Almidón	20-40
CB2	Fibra soluble	20-40
CB3	FDN disponible	1-18
CC	FDN indisponible	0
PA1	Amonio	200
PA2	Proteína verdadera soluble	10-40
PB1	Proteína de degradación moderada	3-20
PB2	Proteína de degradación lenta, ligada a FDN	1-18
PC	Proteína indigestible	0

Fuente: Van Amburgh *et al.*, 2015.

Para que haya una adecuada síntesis de proteína microbiana debe haber una sincronización entre el amonio producido y los esqueletos carbonados procedentes de los azúcares de los alimentos (almidón y celulosa). La degradación del almidón y la proteína deben estar sincronizados y esto va a depender de los insumos utilizados en la formulación de la dieta. A modo de ejemplo, la cebada (insumo energético) y harina de semilla de algodón (insumo proteico) presentan una sincronización rápida y eficiente. El sorgo y el orujo de cerveza presentan una sincronización eficiente pero más lenta. Por otro lado, al utilizar cebada junto con orujo se observa una fermentación asincrónica. Lo mismo ocurre al utilizar sorgo conjuntamente con harina de semilla de algodón (National Research Council, 2001).

En general, una fermentación óptima a nivel ruminal desde el punto de vista de los nutrientes aportados ocurre con niveles de carbohidratos no estructurales (almidón, azúcares simples) del 39% y proteína degradable del 13%. Por lo tanto, el resto de la proteína debería ser no degradable (entre un 4 y un 6% de la ración o un 35%

de la proteína total) para optimizar la producción de leche y la fertilidad del ganado lechero. En este sentido, existen insumos alimenticios que son naturalmente ricos en proteína no degradable o bypass y otros que se tratan artificialmente para incrementar el valor de no degradabilidad de su proteína total.

Entre los alimentos naturalmente ricos en proteína no degradable encontramos la harina de pescado. Entre los alimentos tratados artificialmente tenemos productos de la soya, la cual es tratada térmicamente. Estos tratamientos disminuyen las fracciones A de la proteína e incrementan las fracciones B, pero además pueden incrementar la C, del modelo de Cornell. Si hay sobrecalentamientos puede ocurrir la indeseada reacción de Maillard, donde prácticamente la proteína se hace indisponible para el animal, además de ocurrir una gran pérdida de lisina (aminoácido esencial para la producción de leche) en el proceso (Van Amburgh *et al.*, 2015).

Proteína metabolizable y aminoácidos

La proteína que alcanza el intestino delgado y se absorbe, sea bypass o microbiana se denomina proteína metabolizable. Es un 80% digestible, es decir que por cada 100 g de proteína que alcanza el intestino, 80 g se absorbe en forma de aminoácidos, mientras que el resto se pierde en las fecas. Por lo tanto, cuando hablamos de proteína metabolizable, estamos hablando de aminoácidos, y no de nitrógeno. La proteína metabolizable o aminoácidos es usada por la vaca para sintetizar sus propias proteínas para los procesos de mantención, preñez, lactancia, y crecimiento. No obstante, existen algunos aminoácidos que son limitantes y se consideran esenciales para el animal, entre los que encontramos la lisina y la metionina. De este modo, algunos alimentos se clasifican según la disponibilidad de estos dos aminoácidos. A modo de ejemplo, el maíz y sus derivados son pobres en lisina. El poroto soya y algunas proteínas animales, en cambio son pobres en metionina. Para que se entienda mejor el concepto de aminoácidos esenciales en la Tabla 12.6 se presentan algunos ejemplos.

Tabla 12.6. Contenido de metionina y lisina de algunos insumos.

Alimentos	% MS	% PC	Metionina	Lisina
			(% de la proteína no degradable)	
Cebada	93,0	28,1	1,17	3,50
Harina de sangre	90,0	93,0	1,07	9,34
Orojo de cebada seco	92,7	29,0	1,76	2,28
Orojo de cebada húmedo	24,0	29,0	1,76	2,28
Destilado seco de maíz	90,0	33,3	1,20	2,06
Gluten meal 60%	92,7	65,5	2,09	1,24
Semilla de algodón	90,1	23,5	0,63	3,85
Harina de plumas	93,3	87,8	0,70	2,12
Harina de pescado	90,0	67,9	2,84	7,13
Harina de linaza	90,0	32,0	1,95	4,31
Lupino	93,8	34,2	1,24	5,31
Harina de carne y hueso	95,0	50,0	0,84	5,60
Harina de maní	92,0	52,0	1,10	3,14
Harina soya 44Solv	90,0	49,0	1,30	6,49
Harina soya 47 Solv	90,0	55,0	1,30	6,49
Afrecho de raps (canola)	90,0	36,0	1,40	6,67
Poroto soya	93,0	42,8	1,35	5,30
Afrecho de maravilla	93,0	48,9	2,24	3,39
Urea	99,0	281,0	0,00	0,00
Germen de trigo	91,0	25,0	1,67	5,70
Pulpa de remolacha seca	14,7	91,0	0,65	3,00
Pulpa de cítricos seca	7,0	88,6	0,65	1,60
Maíz grano	9,0	88,0	1,12	1,65
Melaza de remolacha	8,5	75,0	0,00	0,00
Avena grano	12,9	91,6	2,12	2,02
Papas	9,5	23,0	1,20	4,27
Arroz	16,0	90,0	2,70	6,15
Trigo	14,2	89,0	0,98	3,00
Harinilla de trigo	17,0	88,8	0,75	3,67
Pradera de Ballica	14,5	16,0	1,64	4,85

Si se desea formular una ración para una producción de 35 litros de leche al día y un peak de lactancia de 45 litros se requieren 3.000 gramos de proteína metabolizable al día (17% de la proteína cruda, aproximadamente), que contengan 54 g de metionina y 177 g de lisina. Pero supongamos que con los insumos utilizados solo se logra aportar 50 g de metionina, lo que limita la producción de leche a 42 en vez de 45 litros al día y 178 g de lisina, lo que si permite producir 45 litros diarios. Lo que ocurrirá es que la vaca solo podrá alcanzar una

producción de 42 litros como máximo en el peak de lactancia y no 45 como se pretende, ya que la metionina será limitante. El mensaje es que no solo se debe formular por el nivel de proteína cruda, degradable o no degradable, sino también por la disponibilidad de lisina y metionina que presentará la ración. Se ha visto que la producción de leche responde a la suplementación de lisina y metionina, especialmente en relación al contenido y porcentaje de proteína de la leche (caseína). Esto puede ser una gran ventaja para aquellos productores que se dedican a la elaboración de quesos y subproductos de la leche. Los aumentos en producción de leche son más evidentes durante la lactancia temprana y las respuestas son mayores cuando la proteína cruda es entre el 14 y 16%. (Lapierre *et al.*, 2006)

Modificación de la proteína de la leche a través del manejo nutricional

El 95% del nitrógeno de la leche corresponde a proteína verdadera, el restante 5% es nitrógeno no proteico, principalmente nitrógeno ureico (urea). De la proteína verdadera, el 78% es caseína, que está relacionada directamente con el rendimiento en la producción de quesos. Los factores nutricionales que impactan en el contenido de la proteína láctea y que han recibido mayor atención durante los últimos 25 años son los siguientes:

- ✓ **Relación forraje/concentrado:** El contenido de proteína puede incrementar en 0,4% o más si la proporción de forraje en la dieta se reduce un 10% o menos en base a materia seca. Debido a que se requiere una concentración mínima de forraje (no menos de un 40%) para evitar trastornos digestivos y metabólicos, reducir la relación forraje/concentrado no es un método práctico que consistentemente incremente el contenido de proteína en la leche. La cuestión es saber si el exceso de forraje es una causal primaria en la depresión de proteína en la leche o esta se debe a una disminución en el consumo total de energía cuando la dieta es muy rica en forrajes. Al incrementar los granos de cereales en la dieta se produce una mayor cantidad de ácido propiónico en el rumen y por ende un aumento en los niveles de insulina. Además, en general, cuando hay un aporte de proteína de muy buena calidad se produce un incremento en el porcentaje de proteína de la leche de un 10% y un incremento en la producción total de proteína en kilogramos de un 28%. Esto se explica porque dietas ricas en almidón y otros carbohidratos de rápida fermentación implican una mayor producción de ácido propiónico y proteína microbiana en el rumen, lo que lleva a la vaca a producir más kilogramos de leche y de proteína láctea (National Research Council, 2001; Van Amburgh *et al.*, 2009).
- ✓ **Cantidad y calidad de la proteína dietaria:** A diferencia del factor relación forraje/concentrado de la dieta, los efectos de la cantidad y calidad de la proteína de la dieta sobre el contenido de la proteína de la leche ha sido extensamente estudiado. Cambios dramáticos, tanto en la cantidad, como en la calidad, de la proteína de la dieta afecta en gran medida la producción y el porcentaje de proteína en la leche (Lapierre *et al.*, 2006).
- ✓ **Cantidad y tipo de grasa:** Al estudiar las grasas como fuente de energía para la producción de leche, se observó que la suplementación de grasas induce una disminución en el contenido de proteína de la leche. Por ello, el uso de grasa como fuente de suplemento dietario tiene que ser limitado en aquellos mercados en los que se paga bonificación de forma considerable por el contenido de proteína de la leche. En promedio, el contenido de proteína de la leche declina en un 0,03% por cada 100 gramos de consumo de grasas de suplemento o cerca de un 0,1 a 0,3% para los niveles más típicos de suplementación de grasas de sobrepaso. Cuando las grasas de sobrepaso son suplementadas en dietas de vacas lecheras, el porcentaje de caseína es la fracción proteica que más negativamente se afecta del total de los componentes proteicos de la leche. Los efectos de las grasas en la fracción proteica del suero han sido más inconsistentes y, en general, el nitrógeno no proteico aumenta. No obstante, debido a que las grasas de sobrepaso incrementan la producción de leche cuando se utilizan apropiadamente, la producción total de proteína en la leche permanece constante, o incluso incrementa, a pesar de que el porcentaje de proteína en la leche pueda declinar. Una explicación parcial a este efecto negativo que tienen las grasas de sobrepaso sobre el porcentaje de proteína de la leche es que los niveles elevados de ácidos grasos en sangre inhiben la liberación de somatotrofina (hormona de crecimiento), lo cual reduce la extracción de aminoácidos de la sangre por parte de la glándula mamaria. Otra hipótesis para explicar el efecto negativo de las grasas de sobrepaso sería que estos suplementos reducirían el flujo de sangre (en un 7% aproximadamente) hacia la glándula mamaria, disminuyendo así la extracción eficiente de aminoácidos desde la sangre. Sin embargo, se produce un volumen de leche, lo que puede ser debido a una menor síntesis de grasa en la glándula

mamaria, un menor uso de acetato para producción de energía y, por ende, una mayor cantidad de glucosa disponible para la formación de lactosa y en consecuencia una mayor producción de volumen de leche (Palmquist y Jenkins, 2017).

- ✓ **Urea en leche y sangre:** En los rumiantes, la proteína degradable se convierte principalmente en amonio (NH_3) y este es utilizado por los microorganismos para producir sus propios aminoácidos y proteínas. El resto del amonio es absorbido y llevado al hígado para ser convertido en urea, ya que el amonio es tóxico para el animal. La urea es transportada por todo el organismo y es excretada en la orina, saliva y leche. Además, puede llegar al útero y cuando se encuentra en exceso podría afectar los procesos reproductivos, a través de posibles efectos tóxicos sobre el óvulo, los espermatozoides y el embrión. Es por ello que el exceso de proteína en la dieta se debe evitar para lograr una fermentación ruminal eficiente y mantener una fertilidad y producción de leche adecuada. El nuevo modelo de Cornell considera dietas menos proteicas que las de antaño, lo que resulta en menos pérdidas de amonio a través de la excreción urinaria y fecal, lo que también ayuda a una menor polución ambiental. El impacto negativo del exceso de proteína dietario, especialmente cuando es rica en proteína soluble y proteínas altamente degradables ha sido bien documentado. Sin embargo, este tópico es aún controvertido, debido a que otros estudios no han encontrado un efecto negativo del exceso de proteína sobre la fertilidad del ganado (Melendez *et al.*, 2003; Van Amburgh *et al.*, 2015).

Grasas

Las grasas son un grupo amplio y heterogéneo de compuestos altamente energéticos que se encuentran en forrajes, granos y subproductos animales y vegetales para uso en nutrición animal. Los principales constituyentes de las grasas utilizadas en la nutrición de la vaca de lechería son los glicolípidos, triglicéridos y ácidos grasos libres. Los glicolípidos son el principal tipo de grasa encontrado en los forrajes. Los triglicéridos son los principales tipos de grasa que se encuentran en granos de cereales, semillas oleaginosas, grasas animales (cebo), subproductos e incluso la grasa de la leche. Están constituidos por una molécula de glicerol (azúcar de tres carbonos) y tres ácidos grasos libres (de ahí el nombre de triglicéridos). Los ácidos grasos libres también se utilizan en la fabricación de ciertos suplementos comerciales tales como jabones de calcio de ácidos grasos. Los ácidos grasos constituyen la principal forma de movilización de grasas desde el tejido adiposo a través de la sangre a otras partes del cuerpo del animal (hígado, glándula mamaria). Químicamente, los ácidos grasos son cadenas largas de átomos de carbono embebidos de átomos de hidrógeno y es su unión química en donde se encuentra almacenada la energía que utiliza el animal. Cuando los ácidos grasos son oxidados, es decir, cuando los cuerpos carbonados empiezan a perder sus átomos de hidrógeno, la energía es liberada y utilizada por las células del animal para seguir subsistiendo. Las grasas incrementan la densidad energética de la dieta debido a que reemplazan a los almidones (azúcares) y la celulosa (fibra) que son menos ricos en energía porque tienen un menor número de átomos de hidrógeno que las grasas. Además, cuando se añaden grasas a la dieta se produce menos calor de combustión en el rumen debido a que las grasas no son digeridas en el rumen propiamente dicho, sino en el intestino. Consecuentemente, las grasas pueden tener una mayor eficiencia digestiva. Sin embargo, las grasas también pueden tener un efecto negativo si no se manejan apropiadamente, disminuyendo el contenido de grasa láctea y alterando su composición de ácidos grasos. Por lo tanto, el tipo y la cantidad de grasa a suplementar son los factores más importantes a considerar (Palmquist y Jenkins, 2017).

La grasa de la leche es una mezcla de ácidos grasos de cadena corta (4 a 8 carbonos), de cadena media (10 a 14 carbonos) y de cadena larga (16 a 18 carbonos). Los ácidos grasos de cadena corta y media son ensamblados dentro de la misma glándula mamaria a partir del butirato y el acetato, que son compuestos de cuatro y dos carbonos respectivamente, producidos en el rumen y llevados por la sangre hacia la glándula mamaria. Los ácidos grasos de cadena larga son llevados directamente por la sangre a la glándula mamaria, desde el hígado, el tejido adiposo o el intestino de la vaca cuando son absorbidos después de la digestión de los alimentos.

La grasa es el sólido más variable dentro de la leche y se ve afectada tanto por factores ambientales como fisiológicos, pero también por la genética de la vaca. La nutrición es el factor no genético más importante que afecta a la producción de grasa láctea y representa una herramienta práctica para alterar la producción y la composición de sus ácidos grasos.

Desde el punto de vista nutricional, el consumo excesivo de granos puede deprimir el contenido de grasa de la leche y alterar su calidad, afectando a la composición de sus ácidos grasos. Los granos típicamente reducen la

proporción de ácidos grasos de entre 6 y 16 carbonos e incrementan la proporción de ácidos grasos insaturados (con doble enlace) de 18 carbonos. El mecanismo por el cual ocurre este fenómeno es porque los granos incrementan la producción de ácidos grasos trans-10, cis-12 (doble enlace en el carbono 10 y 12), debido a la de acidosis que se puede producir en el rumen en condiciones de un inadecuado manejo nutricional. Este fenómeno no ocurre cuando los ácidos grasos producidos en el rumen son del tipo cis-9, trans-11 (doble enlace en el carbono 9 y 11) debido a que la dieta contiene una mayor proporción de fibra efectiva, con menos almidón (granos) y, por ende, existe un menor grado de acidosis ruminal. Además, estos últimos, son ácidos grasos de mucha importancia para la salud humana, ya que se ha visto que productos lácteos ricos en estos ácidos grasos insaturados, conocidos como ácidos grasos cis-9, trans-11 CLA (ácido linoleico conjugado con 2 dobles enlaces en el carbono 9 y 11) tienen efectos anti-cancerígenos y otros efectos benéficos para la salud humana (Palmquist y Jenkins, 2017).

Manipulación de la grasa láctea a través del manejo nutricional

Diversas son las opciones que existen para inducir cambios en el contenido de grasa de la leche a través del manejo de la dieta de las vacas. Algunas opciones se mencionan a continuación.

Alimentación con granos: El uso de granos de cereales (maíz, trigo, avena, cebada, triticale, etc.) en elevadas cantidades además de estimular la producción de leche conlleva también a una disminución en el porcentaje de materia grasa y una alteración en la composición de los ácidos grasos de la leche. Los granos de cereales incrementan la producción de ácidos grasos trans-10 a nivel ruminal.

Alimentación con grasas de suplemento: La alimentación con grasas de suplemento en base a sales de calcio de ácidos grasos y productos ricos en grasas saturadas no alteran el contenido de materia grasa de la leche e incrementan el tenor energético de la dieta, a diferencia de los aceites vegetales ricos en grasas insaturadas y que no son bypass. Si se ofrecen grasas vegetales que se transforman en el rumen, con una gran cantidad de granos de cereales, las grasas se pueden modificar y desviar a la producción de los famosos CLA trans-10, cis-12, con la consiguiente disminución del contenido de materia grasa de la leche. Por lo tanto, si se quiere alterar la composición de los ácidos grasos de la leche, sin alterar el porcentaje de materia grasa de la misma, vía alimentación de grasas, éstas deben ser del tipo bypass o de sobrepaso y no en base a aceites vegetales que se modifican en el rumen (Palmquist y Jenkins, 2017).

Insumos naturalmente ricos en grasas: Algunos insumos alimenticios ricos en ácidos grasos son las semillas de oleaginosas u otros tipos de semillas tanto enteras, como roleadas, molidas, cocidas o extruidas. Dentro de estas tenemos las semillas de algodón, raps, maravilla, palma, lino, maíz, soya y triticale. Otras fuentes de grasas son el cebo animal, otros aceites vegetales, las mezclas de aceites vegetales y animales y los aceites de productos marinos (especialmente pescados). Las semillas de oleaginosas presentan una composición de ácidos grasos altamente insaturados (ricos en dobles enlaces), mientras que el cebo animal es moderadamente insaturado. Esto es muy importante porque el grado de saturación de la grasa afecta el metabolismo del rumen e, indirectamente, el contenido de grasa de la leche.

El ácido graso más abundante en los forrajes es el ácido linoléico, el cual contiene 18 carbonos y 3 dobles enlaces (18:3). En cereales y semillas oleaginosas el más abundante es el ácido linoleico, que tiene 18 carbonos y 2 dobles enlaces (18:2). En grasas animales el ácido oleico es el más común, el cual está constituido por 18 carbonos y un solo doble enlace (18:1). La leche de vaca es muy rica en ácido palmítico (16:0), el cual consta de 16 carbonos y sin doble enlaces. También es muy abundante en el aceite de palma, de ahí su nombre. Además, tanto la leche como la grasa bovina son ricas en ácido esteárico, el cual consta de 18 carbonos y no presenta dobles enlaces (18:0) (Palmquist y Jenkins, 2017).

Alimentación en sistemas pastoriles

Sistema pastoril mono-estacional con suplementación estratégica de concentrados en sala de ordeña

Este método es típico de los sistemas neozelandeses con partos de primavera. Tiene la ventaja de que el manejo reproductivo se concentra en un periodo de dos a tres meses, solo se enfrenta a una época de partos y las vacas permanecen secas desde abril a junio, para prepararse para los partos a partir de julio.

Es un sistema que optimiza el uso de la pradera durante primavera y verano, pero su producción se ve limitada por el elevado consumo de materia seca a partir de la pradera, lo que no permite una gran cantidad de

suplementación de concentrado producto de la restricción en la capacidad ruminal.

Un ejemplo de este sistema es el siguiente: si se le ofrece a una vaca una cantidad de 16 kg de materia seca de la pradera, el consumo de pasto tal como ofrecido sería del orden de 110 a 120 kg. Por lo tanto, la cantidad de concentrado a ofrecer en la sala de ordeña debería ser, como máximo, entre 2 y 4 kg. Una mayor cantidad limitaría el consumo de la pradera y la rentabilidad del sistema, que se basa en una dieta de bajo costo, debido al gran aporte de la pradera (Pulido *et al.*, 2007).

Asumiendo un consumo de 16 kg de MS de la pradera y 2 kg de concentrado se llegaría a un consumo máximo de 18 kg, según la capacidad ruminal (115 kg TCO). Esto permitiría un consumo de energía metabolizable de 51 Mcal y de proteína metabolizable de 2.050 gramos al día. Esta combinación de pradera y concentrado solo permitiría una producción de 25 a 28 litros al peak de lactancia, lo que redundaría en un promedio de 18 a 20 litros por vaca al día.

Sistema pastoril bi-estacional con suplementación estratégica de concentrados en sala de ordeña.

Este sistema se basa en dos estaciones de parto, tratando de hacer parir del 30 a 35% de las vacas desde febrero a abril (partos de otoño) y del 65 a 70% restante desde julio a septiembre (partos de primavera).

Este método busca producir más leche durante el invierno, debido al mayor precio que pagan las empresas por la leche de invierno. Sin embargo, la restricción es el crecimiento de la pradera, lo que solo permite ofrecer entre 4 y 5 kg de MS. Otros 5 a 6 kg de MS deberían ser ofrecidos como forrajes conservados (ensilaje, henilaje y heno) y/o subproductos (coqueta, coles, nabos y remolacha forrajera) que se pueden ofrecer tanto en la misma pradera como en comederos de paso a través cuando se traen las vacas a la ordeña. Junto con lo anterior, la vaca se suplementa con 2 kg de concentrados para vacas de menor producción y hasta 10 kg, para lograr optimizar el peak de producción.

Asumiendo una vaca que consume 5 kg de MS de pradera, 6 kg de MS seca de ensilaje de pradera, y 10 kg de MS de concentrado en sala, se lograrían ofrecer 60 Mcal de energía metabolizable y 2.156 gramos de proteína metabolizable, lo que equivale a un peak de entre 32 y 35 kg de leche y un promedio de rebaño de 25 a 26 litros al día. Sin embargo, las condiciones estacionales de lluvia, barro y frío, hace que la producción de otoño/invierno sea menor que la de primavera.

Para los partos de primavera se le ofrece a la vaca no más de 12 kg de MS de pradera y los mismos 10 kg de concentrado, lo que equivale a un aporte de 64,7 Mcal de energía metabolizable y 2.466 gramos de proteína metabolizable para lograr un peak de producción de 38 kg de leche o un promedio de 28 a 30 kg de leche para toda la lechería.

Este sistema requiere de más inversión en concentrados y en mano de obra, pero por otro lado es un modelo que produce más leche por vaca y por hectárea. Hay que recordar que la rentabilidad final del negocio es una combinación de la producción individual por vaca, y la producción total por hectárea. Si se logra establecer una elevada carga animal debido a un excelente manejo de la pradera y a su vez se logra optimizar la producción de leche por vaca, el resultado final será una mayor producción por hectárea.

Uno de los problemas de este sistema es la gran cantidad de concentrado que se le ofrece a algunas vacas, lo que lleva a un desfase en el proceso de fermentación ruminal y, por ende, aumenta de forma considerable el riesgo de acidosis. Esto puede generar problemas de baja concentración de materia grasa en la leche, mayor incidencia de cojeras y aumento de la eliminación de animales.

Algunos predios están utilizando este concepto para complementar el pastoreo con una ración completa antes o después de cada ordeña. El desafío en este caso es poder dar una estimación del consumo de materia seca durante el pastoreo, que debe de ser parte del proceso de formulación de raciones por el nutricionista con el fin de establecer una ración “equilibrada” (Schöbitz *et al.*, 2013).

Sistema pastoril bi-estacional con suplementación estratégica de concentrados en sala y en una ración completa.

La mejor estrategia debe ser aquella que optimiza el pastoreo, debido al bajo costo que presenta el aporte de la pradera. No obstante, la metodología se debe basar en saber cuánta pradera hay disponible, tanto para otoño-invierno como para primavera-verano, y luego establecer la diferencia que hace falta para lograr el consumo

de materia seca total estimado, según el nivel productivo que se quiera lograr. Luego, estratégicamente se debe formular una ración completa, considerando que la mayor cantidad de concentrado sea aportada en forma de ración completa y, posteriormente, utilizar un mínimo de concentrado en la sala de ordeña para diferenciar aquellas vacas de mayor producción (Figura 12.2).



Figura 12.2. Vacas consumiendo mezcla completa en sistema pastoril que combina el consumo de pasturas con mezclas completas balanceadas.

Las ventajas de alimentar de forma complementaria una ración completa son:

- ✓ Proporcionar una ración más homogénea con menos posibilidades de alterar la fermentación ruminal.
- ✓ Ayudar a controlar el consumo de materia seca de la pradera con mayor facilidad.
- ✓ Ofrecer el forraje con el concentrado en lugar de hacerlo por separado, con lo que, habrá menos posibilidades de problemas digestivos del tipo acidosis ruminal.
- ✓ Ofrecer forraje extra que proporciona fibra necesaria cuando la pradera es muy tierna y es baja en fibra efectiva.
- ✓ Una mayor producción de leche por vaca. Según investigaciones de la universidad estatal de Pennsylvania (Penn State) se concluyó que vacas en pastoreo y suplementadas con una ración completa produjeron 3,5 litros más de leche al día que las vacas en pastoreo y solo suplementadas con concentrado en la sala de ordeña (Tabla 12.7). Además, la leche fue más rica en su contenido de grasa y proteína, junto con lograr una menor pérdida de condición corporal (Bargo *et al.*, 2002).

Las desventajas de alimentar como complemento una ración completa son:

- ✓ Un mayor uso de mano de obra en la alimentación de la dieta completa
- ✓ Los costos de alimentación pueden ser ligeramente más altos
- ✓ Se necesita una mayor infraestructura para el manejo de los insumos
- ✓ Requerimiento de un área de alimentación para ofrecer la dieta completa antes o después del ordeño

Se debe considerar que la calidad del forraje a utilizar en la ración completa va a influir en el consumo de materia seca y en la respuesta en producción de leche. Debido a que la mayoría del concentrado se encuentra incluido en la ración completa, las vacas van a tener una tasa de sustitución de pradera menor a cuando solo se suplementa forraje solo. Así que la calidad y las cantidades de forrajes incluidos en la ración completa afectarán

Tabla 12.7. Comparación de consumo y producción de leche en tres sistemas de alimentación de vacas Holstein de alta producción que incluye consumo de pastura.

Ítem	Pastura + 8,7 kg de concentrado	Pastura + ración completa	Ración completa 100%
Consumo			
Consumo pradera, kg MS	12,9	7,5	-
Consumo RC, kg MS	-	17,7	26,7
Consumo Concentrado, kg MS	8,7	-	-
Consumo Total, kg MS	21,6	25,2	26,7
Consumo Total, % Peso Vivo	3,58	3,99	4,15
Producción			
Leche, kg/d	28,5	32	38,1
Grasa, %	3,13	3,35	3,3
Grasa, kg/d	0,89	1,05	1,23
Proteína, %	2,82	2,95	2,99
Proteína, kg/d	0,79	0,93	1,12
NUI, mg/dl	14,9	12	10,6
Rumen NH ₃ -N, mg/dl	20,9	10,8	9,7
Cambio CC	-0.20	0	+0.20

Fuente: Bargo *et al.*, 2002

a la tasa de sustitución, el consumo de materia seca y la producción de leche. Las vacas del estudio de Penn State consumieron alrededor de 3,5 kg más de materia seca por día en comparación a una estrategia de pastoreo con solo suplementación de concentrado en la sala de ordeña.

La cantidad de ración completa a ofrecer va a depender de los requerimientos de la vaca, así como de la cantidad y calidad de la pradera disponible. El tiempo de alimentación también va a afectar a la cantidad de materia seca consumida.

En la estrategia forrajera, el uso de ensilaje de maíz como parte de la ración completa es una excelente alternativa para complementar el pastoreo, ya que ofrece almidón como fuente de energía, “diluye” el alto contenido de proteína de las praderas tiernas y proporciona fibra efectiva para amortiguar el impacto acidótico de los concentrados. Además, el ensilaje de maíz es un alimento altamente palatable, rico en energía, lo que puede permitir aportar cantidades más bajas de concentrado. Según otro estudio, los rebaños en pastoreo del estado de Nueva York que suplementaron con ensilaje de maíz tuvieron un margen neto mayor por vaca al año que aquellos no suplementados. Hay muchos rebaños de la zona templada del sur de Chile que están utilizando la estrategia de complementar el pastoreo con una ración completa antes y/o después de cada ordeño.

Bibliografía

- Bargo, F.; Muller, L.D.; Delahoy, J.E. & Cassidy, T.W., 2002. Performance of high producing dairy cows with three different feeding systems combining pasture and total mixed rations. *Journal of Dairy Science*. 85(11): 2948–2963.
- Lapierre, H.; Pacheco, D.; Berthiaume, R.; Ouellet, D.R.; Schwab, C.G.; Dubreuil, P.; Holtrop, G. & Lobley, G.E., 2006. What is the true supply of amino acids for a dairy cow? *Journal of Dairy Science*. 89(E. Suppl):E1-E14.
- Melendez, P.; Donovan, A.; Hernandez, J.; Bartolome, J.; Risco, C.; Staples, C. & Thatcher, W. 2003. Milk, plasma, and blood urea nitrogen concentrations, dietary protein, and fertility in dairy cattle. *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 223 (5): 628-634.
- National Research Council, 2001. Nutrient requirements of dairy cattle, 7th revised edition. National Academy Press. Washington, D.C., United State.
- Palmquist, D.L. & Jenkins, T.C., 2017. A 100-Year Review: Fat feeding of dairy cows. *Journal of dairy science*. 100:10061-10077
- Patton, R.A.; Hristov, A.N. & Lapierre, H., 2014. mProtein feeding and balancing for amino acids in lactating dairy cattle. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. 30: 599-621.
- Pulido, R.G.; Berndt, S.; Orellana, P.; Wittwer, F., 2007. Effect of source of carbohydrate in concentrate on the performance of high producing dairy cows during spring grazing. *Archivo de medicina veterinaria*, 39: 19-26.
- Schöbitz, J.; Ruiz-Albarrán, M.; Balocchi, O.; Wittwer, F.; Noro, M.; Pulido, R. 2013. Effect of increasing pasture allowance and concentrate supplementation on animal performance and microbial protein synthesis in dairy cows. *Archivo de medicina veterinaria* 45: 247-258.
- Sinclair, K.D.; Garnsworthy, P.C.; Mann, G.E. & Sinclair, L.A., 2014. Reducing dietary protein in dairy cow diets: implications for nitrogen utilization, milk production, welfare and fertility. *Animal* 8(2): 262–274.

Van Amburgh, M. E.; Collao-Saenz, E.; Higgs, R.; Ross, D.; Recktenwald, E.; Raffrenato, E.; Chase, L. E.; Overton, T. R.; Mills, J. & Foskolos, A., 2015. The Cornell net carbohydrate and protein system: Updates to the model and evaluation of version 6.5. *Journal of dairy science* 98:6361-6380

Van Amburgh, M. E.; Overton, T.R.; Chase, L.E.; Ross, D.A. & Recktenwald, E.B. 2009. The Cornell Net Carbohydrate and Protein System: Current and future approaches for balancing of amino acids. *Proceedings Cornell nutrition conference for feed manufacturers*. Syracuse, New York. United State. pp: 28-37.



UNIVERSIDAD
DE LA FRONTERA

Praderas y Pasturas

ISBN: 978-956-410-391-4



9 789564 103914