UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA

FACULTAD DE CS. AGROPECUARIAS Y FORESTALES

APLICACIÓN SUCESIVA DE LODO PROVENIENTE DE LA INDUSTRIA DE CELULOSA: EFECTO SOBRE UNA PRADERA DE *Lolium perenne* Y EL CONTENIDO DE NITRÓGENO EN EL SISTEMA SUELO-PLANTA

Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de La Frontera. Como parte de los requisitos para optar al título de Ingeniero Agrónomo.

CARLOS SEBASTIÁN CORRAL MENDOZA

TEMUCO-CHILE

2010

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA

FACULTAD DE CS. AGROPECUARIAS Y FORESTALES

APLICACIÓN SUCESIVA DE LODO PROVENIENTE DE LA INDUSTRIA DE CELULOSA: EFECTO SOBRE UNA PRADERA DE *Lolium perenne* Y EL CONTENIDO DE NITRÓGENO EN EL SISTEMA SUELO-PLANTA

Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de La Frontera. Como parte de los requisitos para optar al título de Ingeniero Agrónomo.

CARLOS SEBASTIÁN CORRAL MENDOZA

PROFESOR GUIA: FELIPE GALLARDO ARRIAGADA

TEMUCO-CHILE

2010

APLICACIÓN SUCESIVA DE LODO PROVENIENTE DE LA INDUSTRIA DE CELULOSA: EFECTO SOBRE UNA PRADERA DE *Lolium perenne* Y EL CONTENIDO DE NITRÓGENO EN EL SISTEMA SUELO-PLANTA

PROFESOR GUIA : FELIPE GALLARDO ARRIAGADA

Químico Laboratorista Mg. Sc.

Universidad de La Frontera

PROFESOR CONSEJERO : ROLANDO DEMANET FILIPPI

Ingeniero Agrónomo

Universidad de La Frontera

CALIFICACION PROMEDIO :

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos al Fondo Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (FONDECYT) 1080427; “Estudio de los efectos de aplicaciones sucesivas de lodos secundarios estabilizados de una planta de tratamiento de aguas residuales de celulosa en suelos chilenos volcánicos degradados”.

Agradecimientos al Centro Agronómico de Investigación y Desarrollo (CAID) del Departamento de Cs. Químicas y Recursos Naturales, Universidad de La Frontera.

ÍNDICE DE MATERIAS

CAPÍTULO	PÁGINA
1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	**1**
2. REVISION BIBLIOGRÁFICA	**5**
2.1 La Industria de celulosa en Chile	5
2.1.1 Tratamiento de efluentes de la industria de celulosa	5
2.2 Lodo proveniente de la industria de celulosa	6
2.2.1 Contenido de metales pesados en el lodo	6
2.2.2 Contenido de nutrientes en el lodo	7
2.3 Características del Nitrógeno	7
2.3.1 Ciclo del Nitrógeno	8
2.3.2 Conversiones de Nitrógeno en el suelo	8
2.3.3 Nitrógeno en los cultivos	9
2.3.4 Contenido de Nitrógeno en el lodo	10
2.3.5 Deficiencia de Nitrógeno en las plantas	10
2.4 Aplicación de lodo al suelo	10
2.5 Clasificación de los suelos	11
2.5.1 Características del suelo Andisol	11
2.6 Ballica perenne	12
2.6.1 Ballica perenne cv. Banquet	12
2.7 Efecto del lodo sobre la productividad de los cultivos	13
2.7.1 Materia seca	14

3. MATERIALES Y METODOS **16**

3.1 Materiales 16

3.1.1 Suelo 16

3.1.2 Lodo 16

3.1.3 Material vegetal 16

3.2 Metodología 16

3.2.1 Definición de las dosis 16

3.2.2 Montaje del diseño experimental 17

3.3 Análisis de suelo 17

3.3.1 Nitrógeno 18

3.4 Análisis del material vegetal 19

3.4.1 Nitrógeno foliar 19

3.4.2 Materia seca 21

3.4.3 Cobertura 21

3.4.4 Número de macollos 22

3.5 Análisis de datos 22

4. RESULTADOS Y DISCUSION **24**

4.1 Caracterización química del suelo y lodo 24

4.2 Evaluación de las propiedades químicas del suelo 26

4.2.1 Efecto de la aplicación de lodo sobre el nivel de Nitrógeno Total Kjeldahl 26

4.3 Evaluación del material vegetal 29

4.3.1 Efecto de la aplicación de lodo sobre el contenido de Nitrógeno foliar 29

4.3.2 Efecto de la aplicación de lodo sobre en la producción de MS de *Lolium perenne* 32

4.3.3 Efecto de la aplicación de lodo sobre el número de macollos de *Lolium perenne* 36

4.3.4 Efecto de la aplicación de lodo sobre la cobertura de la pradera 38

5. CONCLUSIONES **42**

6. RESUMEN **44**

7. ABSTRACT **46**

8. BIBLIOGRAFÍA **48**

9. ANEXOS **55**

ÍNDICE DE CUADROS

N° Cuadro	Página
4.1 Caracterización Química del suelo y lodo	**24**
A.1. Variación del contenido de Nitrógeno Total Kjeldahl (%) en el suelo de acuerdo al tratamiento y su aplicación sucesiva	**55**
A.2. Variación del contenido de Nitrógeno Total Kjeldahl (%) a nivel foliar de *Lolium perenne* de acuerdo al tratamiento y a cada corte mensual	**55**
A.3. Variación de la producción de MS (ton/MS/ha) de *Lolium perenne* de acuerdo al tratamiento y a cada corte	**56**
A.4. Variación del número de macollos/m² de *Lolium perenne* de acuerdo al tratamiento y la época de conteo de macollos	**57**
A.5. Variación de la cobertura (%) de la pradera en cuanto a tratamiento y a la época de Medición	**57**
A.6. Temperatura promedio (°C) y Precipitación total mensual (mm) durante el periodo de evaluación del ensayo en la Estación Experimental Maquehue	**58**

ÍNDICE DE FIGURAS

N° de Figura	Página
2.1. Distribución estacional de la producción de Ballica perenne cv. Banquet	**13**
3.1. Ensayo de Campo, Estación Experimental Maquehue	**17**
3.2. Digestor Kjeldahl y destilador Kjeldahl	**18**
3.3. Método del "Point Cuadrant"	**21**
3.4. Conteo de macollos	**22**
4.1. Variación del contenido de Nitrógeno Total Kjeldahl (%) en el suelo tratado con diferentes dosis de lodo (0, 10, 20 y 30 ton/ha). Evaluado cada 90 días posterior a las aplicaciones de lodo	**26**
4.2. Variación del contenido de Nitrógeno foliar (%) de *Lolium perenne* en el suelo tratado con diferentes dosis de lodo (0, 10, 20 y 30 ton/ha) evaluado en cada corte mensual	**29**
4.3. Evaluación de la producción (ton/MS/ha) de *Lolium perenne* en el suelo tratado con diferentes dosis de lodo (0, 10, 20 y 30 ton/ha) en cada corte	**32**
4.4. Evaluación de la producción acumulada (ton/MS/ha) y composición botánica (%) de *Lolium perenne* en el suelo tratado con diferentes dosis de lodo (0, 10, 20 y 30 ton/ha). Durante el periodo de evaluación comprendido entre Noviembre de 2009 a Septiembre de 2010	**34**

4.5. Efecto de la aplicación de lodo sobre el número de macollos (macollos/m²) de *Lolium perenne* en el suelo tratado con diferentes dosis de lodo (0, 10, 20 y 30 ton/ha). Durante dos épocas de evaluación **36**

4.6. Evaluación de la cobertura (%) de la pradera con el método del "Point Cuadrant" en el suelo tratado con diferentes dosis de lodo (0, 10, 20 y 30 ton/ha). Durante la época de evaluación de Abril de 2010 **38**

4.7. Evaluación de la cobertura (%) de la pradera con el método del "Point Cuadrant" en el suelo tratado con diferentes dosis de lodo (0, 10, 20 y 30 ton/ha). Durante la época de evaluación de Septiembre de 2010 **39**

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 INTRODUCCIÓN

En los últimos años la industria de celulosa ha incrementado notablemente sus producciones en Chile, esto genera un importante ingreso para el país por ser un producto muy apreciado en el extranjero. La industria de celulosa posicionó a este producto como el segundo en importancia, representando un 3,8% del valor total de las exportaciones chilenas. En Chile existen actualmente doce plantas de celulosa. De éstas, once líneas de producción fabrican celulosa Kraft y el resto produce pulpa mecánica. En total, en el año 2008 se produjeron en Chile 4,94 millones de toneladas de celulosa.

La fabricación de celulosa requiere un tratamiento de las aguas residuales provenientes de las distintas fases del proceso de producción para eliminar las sustancias que puedan provocar un daño en el medio ambiente, este tratamiento, a través de un proceso biológico, principalmente aerobio, genera un lodo, que posteriormente es depositado en rellenos industriales habilitados para ello. Esto constituye una preocupación económica y ambiental, sin solución por el momento.

Los suelos de origen volcánico del sur de Chile se caracterizan por su acidificación, donde suelen presentar una acidez bajo los niveles de 5.6, lo cual conlleva a un mayor porcentaje de saturación de aluminio que resulta en una pérdida del rendimiento en los cultivos. Otras características de estos suelos es el bajo porcentaje de saturación de bases y alta retención de fósforo.

La aplicación al suelo de lodo de celulosa se presenta como una buena alternativa ante los problemas de acumulación de desechos de la industria y las limitantes de los suelos volcánicos del sur de Chile, esto por los efectos que tiene en el suelo y por el aumento sobre la producción vegetal. Se ha comprobado que este lodo al ser aplicado al suelo pueden ayudar a aumentar el pH debido a una acción de enmienda que poseen, también elevan el contenido de materia orgánica y la disponibilidad de nutrientes como el Nitrógeno, Fósforo y Potasio, además de un aumento en

los rendimientos de cultivos de interés agrícola ó forestal. Cabe destacar también que el lodo mejora la capacidad de retención de agua de los suelos y es rico en materia orgánica.

El nutriente que más incide en el crecimiento y rendimiento de los cultivos, es el Nitrógeno. En el momento en que se define el rendimiento de los cultivos el Nitrógeno debe estar bien provisto en cantidad y oportunidad para asegurar un óptimo estado fisiológico. Al tener un adecuado abastecimiento de Nitrógeno en el suelo se permite tener elevadas tasas de división y diferenciación celular, además de una alta tasa fotosintética, esto en conjunto se traduce en una eficiencia de conversión e intercepción de la luz en biomasa vegetativa y/o reproductiva.

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la aplicación de diferentes dosis de lodo provenientes de la industria de celulosa sobre los niveles de Nitrógeno del sistema suelo-planta en un suelo Andisol serie Freire y evaluar la producción vegetal en *Lolium perenne.*

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

Determinar el efecto de la aplicación sucesiva de lodo proveniente de la industria de celulosa en un Andisol serie Freire, sobre el contenido de Nitrógeno en el sistema suelo-planta y la producción de *Lolium perenne*.

1.2.2 Objetivos específicos

- Evaluar el efecto de la aplicación sucesiva de lodo proveniente de la industria de celulosa sobre el rendimiento de una pradera de *Lolium perenne.*

- Estudiar el efecto de la aplicación de lodo de celulosa sobre el contenido de Nitrógeno en un suelo Andisol serie Freire.

- Estudiar el contenido de Nitrógeno a nivel foliar en una pradera de *Lolium perenne.*

1.3 HIPÓTESIS

H_0: La aplicación sucesiva de lodo proveniente de la industria de celulosa no tiene mayor efecto en los niveles de Nitrógeno en el sistema suelo-planta y no incide en el aumento de la producción vegetal de *Lolium perenne.*

H_1: La aplicación sucesiva de lodo proveniente de la industria de celulosa tiene un efecto corrector en el suelo, mejorando los niveles de Nitrógeno en el sistema suelo-planta, además de un aumento de la producción vegetal de *Lolium perenne.*

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 La industria de celulosa en Chile

El sector forestal ocupa el segundo lugar en exportaciones después del sector minero en la economía chilena. Chile posee aproximadamente el 8 % de la capacidad instalada de producción de celulosa a nivel mundial, y el 29 % de la capacidad instalada en Latinoamérica. Se estima que hacia el 2015 la producción de celulosa en Chile será cercana a los 5,15 millones de toneladas, posicionando al país como el cuarto mayor productor del mundo (Raga, 2010).

En Chile existen, actualmente, doce plantas de celulosa que operan un total de 17 líneas de producción. De éstas, 11 líneas de producción fabrican celulosa Kraft y el resto produce pulpa mecánica. Los factores por los cuales este sector ha crecido en el país es por el importante patrimonio forestal chileno, una economía con poco riesgo y principalmente, condiciones edafoclimáticas favorables para este rubro (Labra, 2002).

La celulosa sirve para producir todo tipo de papeles, como también para la fabricación de toallas femeninas, pañales, fibras textiles, materiales plásticos y películas fotográficas.

2.1.1 Tratamiento de efluentes de la industria de celulosa

La fabricación de celulosa Kraft genera grandes cantidades de aguas residuales, las cuales después de ser tratadas por procesos biológicos, químicos y mecánicos, dan lugar al lodo, estos desechos son acumulados en rellenos industriales lo que constituye una preocupación tanto económica como ambiental, que hasta el momento no ha tenido solución.

Según Vega *et al.* (2005), existen cuatro vías de eliminación del lodo; transporte a vertederos, incineración, vertidos al mar y aplicación a tierras de cultivo. Marambio y Ortega (2003), afirman que la aplicación a tierras de cultivos es la forma más segura y rentable de disponer del lodo.

2.2 Lodo proveniente de la industria de celulosa

El lodo se compone principalmente de compuestos orgánicos y contiene entre un 93 a 95 % de agua. Al ser aplicado a suelos de interés agrícola aumentarían la productividad vegetal al mejorar las propiedades químicas, físicas y biológicas de los suelos, por lo cual también son útiles para la recuperación de suelos degradados (Gallardo *et al.*, 2010).

El lodo por su alto contenido de materia orgánica puede aumentar la porosidad de los suelos, mejoran la estabilidad de agregados, la retención de humedad y la aireación (CONAMA, 2009).

Por otra parte al ser aplicados al suelo facilitan el transporte de nutrientes y además pueden servir como una alternativa a los fertilizantes químicos de mayor costo (Barrenechea *et al.*, 2005).

2.2.1 Contenido de metales pesados en el lodo

Se debe prestar especial atención en los niveles de metales pesados, el lodo de depuradora puede contener metales como el Pb, Cd, Zn y Cu (Henning *et al.*, 2000). Martínez *et al.* (2008), indican que otro metal que se puede encontrar presente en el lodo de la industria papelera es el Níquel, el cual es potencialmente tóxico para las plantas.

Por otra parte Faria *et al.* (2004), afirman que a pesar de lo beneficioso que puede resultar la aplicación de lodo en el suelo, éste podría llegar a contener una variedad de patógenos, sales solubles, metales y compuestos orgánicos pesados y sintéticos.

Hoy en día existen reglamentos en el país que indican los parámetros máximos de metales pesados que pueden contener los lodos, así mismo, indican el uso y manejo adecuado de estos.

2.2.2 Contenido de nutrientes en el lodo

Mangada y Morón, (1999), sugieren que debido al contenido de nutrientes y materia orgánica que contiene el lodo, éste se puede utilizar como fertilizante para suelos agrícolas, forestales, jardines, etc. El lodo posee un alto contenido de macronutrientes como el nitrógeno y fósforo (Marambio y Ortega, 2003), además de K, Ca, Mg y micronutrientes como B, Mn, Cu, Mo y Zn (Mangada y Morón, 1999).

Los nutrientes pueden estar presentes en un residuo en una o varias formas químicas, por ejemplo, el Nitrógeno está presente en las formas orgánicas e inorgánicas. El Nitrógeno inorgánico estimula el crecimiento inmediatamente después de la aplicación del lodo, mientras que la actividad microbiana lentamente libera el Nitrógeno orgánico para el crecimiento de las plantas (Marambio y Ortega, 2003).

2.3 Características del Nitrógeno

El Nitrógeno es fácilmente soluble al agua del suelo y es solo parcialmente retenido por las partículas de este. Se pierde fácilmente por lixiviación. En las plantas, el Nitrógeno le da el color verde sano a éstas y es constituyente de todas las proteínas. Además del rol del N en la formación de proteínas, dicho nutriente es parte integral de la molécula de clorofila, la cual absorbe la energía de la radiación solar, necesaria para la fotosíntesis (Echeverría y Sainz, 2005).

En los ecosistemas agrícolas las fuentes de Nitrógeno, además de las adiciones atmosféricas, lo componen las aplicaciones de fertilizantes tanto inorgánicos como orgánicos (estiércoles, lodos, compost) (Zagal, 2005).

2.3.1 Ciclo del Nitrógeno

El ciclo del Nitrógeno en el suelo es una parte integrante del ciclo global del N. Originalmente el N del suelo proviene del gas N atmosférico (N_2). En el suelo los microorganismos, ya sea de vida libre o asociados a algunas plantas, fijan el N atmosférico transformándolo a N orgánico en la forma de grupo amino (- NH_2) en las proteínas. Este N forma parte de la materia orgánica del suelo. Una característica principal del ciclo interno del N es su transformación continua desde la fase orgánica (N insoluble) a la fase inorgánica (N soluble) a través de los procesos de mineralización e inmovilización respectivamente realizados por la biomasa microbiana (Zagal, 2005).

2.3.2 Conversiones de Nitrógeno en el suelo

El Nitrógeno del suelo se mueve continuamente de una forma a otra por la participación de las plantas y microorganismos (Zagal, 2005). El mismo autor clasifica los distintos procesos del N en el suelo de la siguiente manera:

- **Mineralización:** es la transformación microbiana del N orgánico a N inorgánico o mineral.

- **Inmovilización:** es la conversión del N mineral a N orgánico.

- **Nitrificación:** es la oxidación de N-amonio a N-nitrito y N-nitrato por microorganismos específicos (Nitrosomas y Nitrobacter respectivamente).

- **Fijación del nitrógeno:** es la conversión de N_2 en la atmósfera del suelo a NH_4^+ por grupos especializados de microorganismos. El NH_4^+ es entonces asimilado a N orgánico.

- **Desnitrificación:** es la reducción de N-nitrito y N-nitrato por la acción de microorganismos en el suelo a gas nitrógeno y oxido nitroso bajo condiciones anaerobias.

- **Volatilización:** es la pérdida de gas amoniaco desde el suelo.

- **Lixiviación de nitrato:** es el proceso por el cual el N-nitrato se pierde desde el suelo por flujo de masa a las aguas de drenaje.

- **Erosión y escurrimiento superficial:** grandes cantidades de N se pueden perder desde el suelo por erosión o escurrimiento superficial.

2.3.3 Nitrógeno en los cultivos

El Nitrógeno es el nutriente que en mayor medida condiciona el crecimiento y rendimiento de los cultivos. Este debe estar bien provisto en cantidad y oportunidad como para asegurar un óptimo estado fisiológico de los cultivos durante los períodos críticos, momentos durante los cuales se define el rendimiento de los cultivos (Echeverría y Sainz, 2005).

El Nitrógeno es un elemento indispensable para la fotosíntesis, es decir, para que las plantas fijen el carbono del aire, acumulen materia seca y produzcan rendimientos económicamente atractivos (Vidal *et al.*, 2002).

2.3.4 Contenido de Nitrógeno en el lodo

El Nitrógeno en el lodo se constituye principalmente en forma de proteínas. Una vez aplicado al suelo, el Nitrógeno orgánico contenido en el lodo comienza a formar nitratos por la acción de microorganismos (Boeira, 2004). Además el lodo posee un alto contenido de macronutrientes, especialmente Nitrógeno (Gallardo *et al.,* 2010)

2.3.5 Deficiencia de Nitrógeno en las plantas

Una deficiencia de Nitrógeno se traduce en hojas pequeñas y débiles, además de un amarillamiento uniforme del follaje. La gran cantidad de plantas que necesitan Nitrógeno y la limitada capacidad de los suelos en cuanto al suministro de éste lo convierten en el nutriente más limitante para la producción de cultivos a nivel mundial (Foth y Ellis, 1997).

2.4 Aplicación de lodo al suelo

La aplicación de lodo al suelo es definida como la diseminación de ellos sobre la superficie del suelo o su incorporación. El lodo puede ser aplicado por aspersión, por surcos o camellones (Tchobanoglus y Burton, 1995).

Las propiedades físicas y químicas del suelo pueden afectar significativamente el potencial impacto ambiental que pudieran tener la aplicación de residuos al suelo. Los factores que se relacionan son: la profundidad de las napas freáticas, distancia del sitio a corrientes de agua superficiales, pendiente del sitio, permeabilidad del suelo, pH, CIC, profundidad y tipo de roca madre (EPA, 2000).

La disposición de lodo en suelos agrícolas representa una estrategia para reciclar los nutrientes en las plantas. Esto genera la necesidad de desarrollar un plan de manejo de los nutrientes, los que

limitan la cantidad de lodo a aplicar, en base al pH del suelo y la necesidad de nutrientes para el adecuado crecimiento y producción de cultivos.
De igual manera Marambio y Ortega (2003), afirman que las limitaciones a la aplicación de lodo en suelos están determinadas en función de la composición del lodo, las propiedades del suelo y las características medioambientales.

2.5 Clasificación de los suelos

Los suelos se dividen en clases según sus características generales. La clasificación se suele basar en la morfología y la composición del suelo, con énfasis en las propiedades que se pueden ver, sentir o medir por ejemplo, la profundidad, el color, la textura, la estructura y la composición química. La mayoría de los suelos tienen capas características, llamadas horizontes; la naturaleza, el numero, el grosor y la disposición de estas también es importante en la identificación y clasificación de los suelos (Sánchez *et al.*, 2003).

2.5.1 Características del suelo Andisol

Los suelos derivados de cenizas volcánicas se encuentran alrededor de las regiones eruptivas recientes. Los suelos Andisoles presentan baja densidad aparente, carga variable, elevada retención de agua, elevado contenido orgánico, alta fijación de fosfatos y un pH bajo que los diferencia de los suelos provenientes de otros materiales parentales (Besoain, 1985).

Los suelos Andisoles ocupan en Chile un área aproximada de 4 millones de hectáreas, de las cuales una superficie cercana al millón es arable (Pinilla y Sanhueza, 2000). Es en éstos suelos donde se desarrolla gran parte de la producción cerealera y ganadera del país (Besoain, 1985).

2.6 Ballica perenne

La estructura básica de la planta es el macollo, cada macollo lo componen las hojas, tallos y raíces. La tasa de aparición de hojas varia con la época del año, así en invierno, el periodo de aparición de hojas va a ser mayor (21 días) que el periodo de aparición de hojas en verano (7 días) (FIA, 2007).

La tasa de macollamiento depende fundamentalmente de las condiciones ambientales, principalmente la temperatura. Un aumento en la temperatura incrementa el macollamiento. También la luz incide sobre el macollamiento, el aumento del macollamiento es directamente proporcional al aumento de la luz (FIA, 2007).

2.6.1 Ballica perenne cv. Banquet

La ballica perenne cv. Banquet es de origen neozelandés, tetraploide de floración tardía, hojas de mediano tamaño, crecimiento semirrecto y una alta persistencia. Tolerante al polvillo de la corona (*Puccinia coronata*), polvillo del tallo (*Puccinia graminitis*) y polvillo de la hoja (*Puccinia recondita*) (Demanet, 2008).

Se establece en 2 épocas, ya sea en los meses de Febrero-Marzo ó Septiembre-Octubre, en sistemas de cero labranza, mínima labor o labranza convencional. Presenta poca tolerancia a la acidez, para esto se recomienda la aplicación de enmienda calcárea para reducir el pH del suelo antes de la siembra (Demanet, 2008).

Contiene un nivel de digestibilidad superior al 80 %, proteína entre 22 – 28 % y energía metabolizable superior a 2,5 Mcal/kg. (Demanet, 2008). La figura 2.1 detalla la distribución estacional de una pradera de ballica perenne cv. Banquet, donde se aprecia claramente que es en primavera donde se concentra la mayor parte de la producción.

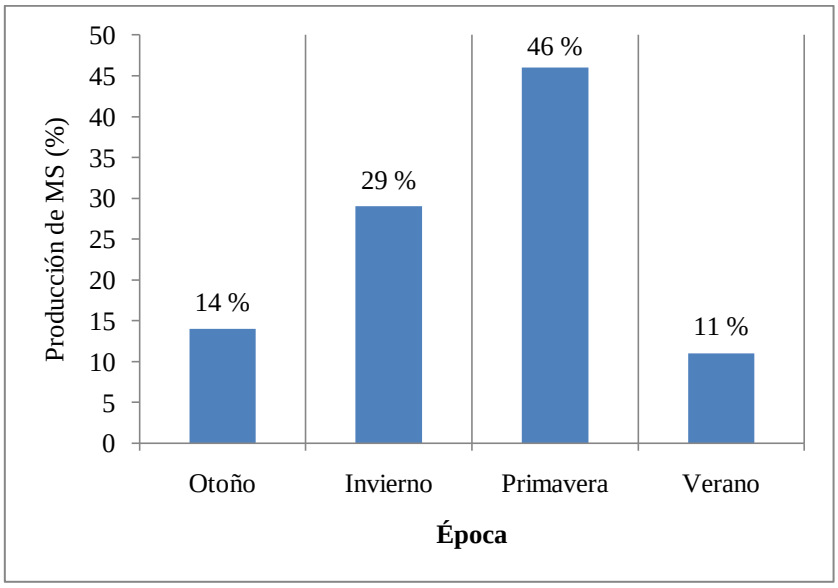


Figura 2.1. Distribución estacional de la producción de Ballica perenne cv. Banquet (Demanet, 2008).

2.7 Efecto del lodo sobre la productividad de los cultivos

El crecimiento de la ballica no es uniforme durante el año, existen periodos de crecimiento mínimo y máximo que están relacionados con las condiciones climáticas del lugar (López, 1996). Estudios realizados por Zambrano *et al.* (2003), sobre plantas de trigo tratadas con lodo proveniente de la industria de celulosa, dan como resultado un aumento sobre la materia seca y longitud de éstas. Gallardo *et al.* (2007), también registra un aumento de la biomasa en plantas de trigo tratadas con lodo.

Estos aumentos de la productividad se deben principalmente al mejoramiento de las propiedades químicas, físicas y biológicas de los suelos, debido a diversas características del lodo; alto contenido de materia orgánica, altos niveles de macro (N, P y K) y micronutrientes (B, Cu, Ni, Zn, Mn y S) y bajas concentraciones de metales traza (Gallardo *et al.*, 2010).

2.7.1 Materia seca

El contenido de materia seca (MS) es la resultante de la extracción del agua que contienen las plantas al estado fresco o verde. La expresión de este parámetro se realiza en forma proporcional; es decir, como porcentaje del forraje fresco total cosechado (FIA, 2007).

La disponibilidad de materia seca de la pradera es muy dinámica y cambia permanentemente en función de la tasa de crecimiento, de la tasa de senescencia y del consumo animal, por esta razón su estimación solo es válida para el momento en que se realiza (FIA, 2007).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Materiales

3.1.1 Suelo

El ensayo se llevó a cabo en la Estación Experimental Maquehue, de la Facultad de Cs. Agropecuarias y Forestales de la Universidad de La Frontera, se utilizó un suelo de origen volcánico de la Región de la Araucanía, Andisol serie Freire. Las muestras fueron recolectadas a 0-20 cm de profundidad, luego secadas a temperatura ambiente y tamizadas en malla de 2 mm Los análisis se realizaron en el laboratorio de Nutrición Vegetal del Departamento de Cs. Químicas y Recursos Naturales, Universidad de La Frontera.

3.1.2 Lodo

El lodo utilizado en el ensayo proviene de una industria de celulosa Kraft, el cual fue secado, molido y tamizado en malla de 2 mm para ser guardado y utilizado posteriormente.

3.1.3 Material vegetal

El materia vegetal utilizado en este estudio fue ballica perenne (*Lolium perenne*) cv Banquet.

3.2 Metodología

3.2.1 Definición de las dosis

La aplicación de lodo se dispuso en dosis de 0, 10, 20 y 30 ton de lodo/ha. Parcializadas en 4 aplicaciones sucesivas cada 3 meses, completando un año de duración.

3.2.2 Montaje del diseño experimental

Se montaron 12 parcelas de 6 x 2 m, donde se sembró *Lolium perenne* cv. Banquet; dosis de siembra equivalente a 37 kg/ha, distancia de plantación de 17,5 cm entre hilera, fertilización a la siembra correspondiente a 46 kg/ha de P_2O_5 (Superfosfato triple), 22 kg/ha de K_2O (Sulpomag), 22 kg/ha de S (Sulpomag), 18 kg/ha de MgO (Sulpomag) y control de malezas manual.

Se utilizaron 4 dosis (0, 10, 20, 30 ton/ha) con aplicaciones cada 90 días, cada dosis constó de 3 repeticiones distribuidas al azar. Se realizaron cortes mensuales donde se evaluó producción (ton/MS/ha) y N foliar. Además se evaluó número de macollos/m² y cobertura de la pradera en 2 épocas del año (Abril y Septiembre de 2010). El suelo se evaluó cada 90 días para medir Nitrógeno Total Kjeldahl.

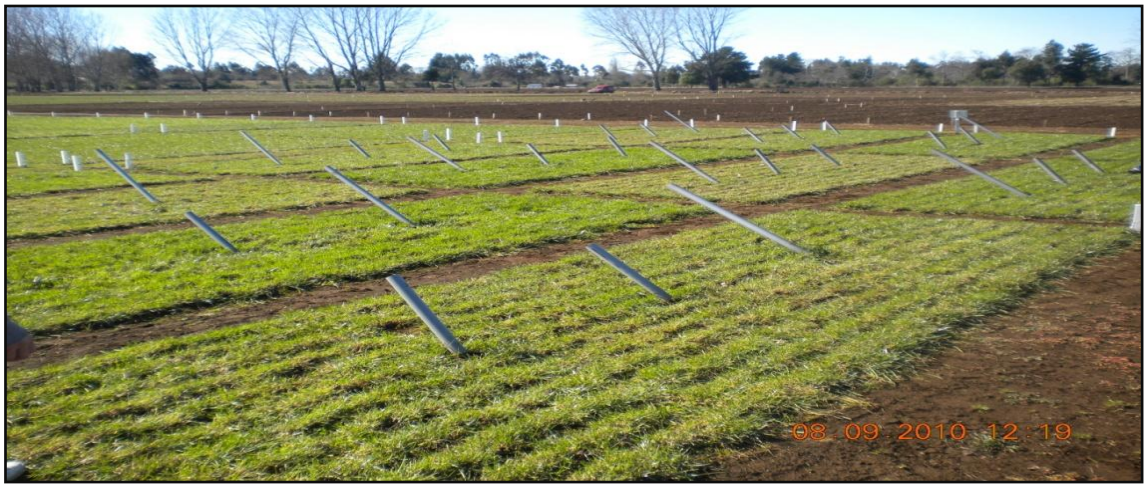


Figura 3.1. Ensayo de Campo, Estación Experimental Maquehue.

3.3 Análisis de suelo

Se realizaron 4 muestreos de suelo durante el ensayo, dónde se determinó el nivel de Nitrógeno Total Kjeldahl utilizando la metodología propuesta por Sadzawka *et al.*, 2004a.

3.3.1 Nitrógeno

La determinación de Nitrógeno Total Kjeldahl constó de 2 partes:

a) Digestión Kjeldahl modificada

Principio del método

El método se basó en la digestión Kjeldahl de la muestra con ácido sulfúrico, ácido salicílico y una mezcla catalítica de sulfato de potasio, sulfato de cobre y dióxido de titanio (TiO_2). Luego, se determinó el $N\text{-}NH_4$ en la solución por destilación de NH_3 y determinación por titulación.

Este procedimiento de digestión permitió determinar el Nitrógeno total del suelo (N-amoniacal, N-nitrato, N-nitrito y N-orgánico). Este método es aplicable a todos los tipos de suelos.

Figura 3.2. Digestor Kjeldahl (izquierda), destilador Kjeldahl (derecha).

Equipos y materiales especiales

-Tamiz

-Digestor con tubos de 250 mL, *VELP Científica*, modelo DK 20

b) Destilación de NH_3 y determinación por titulación

Principio del método

La solución proveniente de la digestión se alcalinizó con NaOH, con lo cual se forma NH_3 que se destila por arrastre de vapor, se atrapa en ácido bórico y se titula con H_2SO_4. Este método es aplicable a todos los suelos.

Equipos y materiales especiales

- Destilador Kjeldahl por arrastre de vapor, *VELP Científica*, modelo UDK 129
- Bureta digital III *BRAND* de 50 mL

Procedimiento del cálculo

Se calculó la concentración de la muestra según:

$$N\ (\%) = \frac{(a - b) * M}{m} * 1{,}4$$

Dónde:

a = volumen en mL de solución estándar de H_2SO_4 gastados en las muestra

b = mL promedio de solución estándar de H_2SO_4 gastados en los blancos

M = concentración en mol/L de la solución estándar de H_2SO_4

m = masa en gramos de la muestra usada en el método de digestión

3.4 Análisis de material vegetal

Los análisis químicos del material vegetal se realizaron según los Métodos de análisis de tejidos vegetales (Sadzawka *et al.*, 2004b).

3.4.1 Nitrógeno foliar

La determinación de Nitrógeno Total Kjeldahl constó de 2 partes:

a) Digestión con ácido sulfúrico-acido salicílico y catalizador

Principio del método y alcance:

La muestra de tejido vegetal seco y molido se digirió en un tubo con ácido sulfúrico mezclado con ácido salicílico y catalizador. Del filtrado obtenido mediante este proceso se determinó la concentración de N por destilación y titulación manual.

Equipos y materiales especiales

- Digestor con tubos de 250 mL, *VELP Científica*, modelo DK 20
- Agitador Vortex, *UNICO*, modelo L-VM2000

b) Destilación y titulación manual

Principio del método

En el filtrado proveniente de la digestión, se determinó la concentración de $N\text{-}NH_4$ por destilación de NH_3 y titulación manual con HCl.

Equipos y materiales especiales

- Destilador Kjeldahl por arrastre de vapor, *VELP Científica*, modelo UDK 129
- Bureta digital III *BRAND* de 50 mL
- Matraces Erlenmeyer de 100 mL de capacidad

Procedimiento del cálculo

Se calculó la concentración de N en la muestra según:

$$N\ (\%) = \frac{(a - b) * M}{m} * 1{,}4$$

Dónde:

a = volumen en mL de HCl gastado en la muestra
b = volumen promedio en mL de HCl gastado de los blancos
M = concentración en mol/L de HCl
m = masa en gramos de la muestra digerida con H_2SO_4 - ácido salicílico – catalizador

3.4.2 Materia seca

El rendimiento de materia seca en cada corte se determinó por pesada en balanza analítica, se cortó parte aérea sobre 5 cm del suelo, el material vegetal se dispuso en bolsas de papel y posteriormente fue secado a 65° C por 48 horas. Además se determinó composición botánica de las mismas muestras donde se separó ballica de otras especies para posteriormente expresar su contribución individual en base a peso seco. Los análisis se realizaron en el laboratorio de Praderas y Pasturas, Instituto de Agroindustria, Universidad de La Frontera.

3.4.3 Cobertura

Se determinó mediante el método del "Point Cuadrant", se midieron 6 metros lineales de cada parcela donde cada 4 cm con ayuda de un punzón se observaba la presencia ya sea de ballica, especies residentes, trébol blanco o suelo y posteriormente se calculaban las proporciones de cada una de éstas. Esto se realizó en los meses de Abril y Septiembre de 2010.

Figura 3.3. Método del "Point Cuadrant".

3.4.4 Número de macollos

Se contó el número de macollos presentes en 1 metro cuadrado de cada parcela. Esto se realizó en los meses de Abril y Septiembre de 2010.

Figura 3.4. Conteo de macollos.

3.5 Análisis de datos

Los resultados obtenidos fueron sometidos a los siguientes análisis estadísticos: ANOVA y finalmente un test de comparación de rango múltiple de Tukey ($p<0,05$). Programa utilizado; SAS JMP8.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Caracterización Química del Suelo y Lodo

A continuación en el Cuadro 4.1. se detallan las propiedades químicas del suelo serie Freire y del lodo proveniente de la industria de celulosa utilizados en el ensayo.

Parámetros	Unidad	Suelo Serie Freire	Lodo
Nitrógeno	(mg/kg)	19,12	52.360
Fósforo	(mg/kg)	17,5	6.270
pH	(H_2O)	5,47	6,44
Materia orgánica	(%)	10,5	68,1
Potasio	(cmol+/kg)	0,89	2.021
Sodio	(cmol+/kg)	3,5	4.603
Calcio	(cmol+/kg)	3,5	18.027
Magnesio	(cmol+/kg)	0,92	5.725
Aluminio	(cmol+/kg)	0,07	4.457
Suma de bases	(cmol+/kg)	8,82	30.376
CICE[1]	(cmol+/kg)	8,89	34.833
Saturación de Al	(%)	0,08	0,01
Zinc	(ppm)	1,58	2.472
Manganeso	(ppm)	3,51	412
Cobre	(ppm)	2,62	36
Hierro	(ppm)	41,4	6.337
Al extraíble	(ppm)	346	0,04

(1) Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva.

Cuadro 4.1. Caracterización química del suelo y lodo.

El suelo utilizado presenta un pH ácido (5,47). Según Mora (1993), un suelo derivado de cenizas volcánicas es ácido cuando presenta valores de pH bajo 5,6. Sin embargo el porcentaje de Saturación de Aluminio presenta un nivel bastante bajo (0,08%). La CICE es baja, característica propia de los suelos Andisoles de pH bajo, estos suelos tienen poca capacidad de intercambiar cationes por lo que se pueden considerar infértiles para especies intolerantes a la acidez (Fuentes, 1994). El suelo presenta bajos niveles de Nitrógeno, en cuanto al Fósforo presenta un nivel alto, al igual que la suma de bases (López, 1996). En resumen, este suelo se podría calificar como un suelo con un buen nivel de fertilidad, sin problemas excesivos de pH ácido y con bajo % de Saturación de Aluminio.

El lodo contiene altos niveles de Nitrógeno y Fósforo (52.360 y 6.270 mg/kg respectivamente). Posee también un alto contenido de materia orgánica (68,1 %), lo que concuerda con estudios realizados por Zhang (2004), donde registra un contenido de materia orgánica superior a 80 %. Según Vega *et al.* (2005), el lodo debido a su alto contenido de Nitrógeno, Fósforo y materia orgánica, se podría considerar como un valioso fertilizante. Además presenta altos niveles de Potasio, Sodio, Calcio y Manganeso. En cuanto a los metales pesados (Cobre y Zinc), se encuentran en niveles muy inferiores a los determinados por la CONAMA, (2001).

Debido a todas las propiedades del lodo y los efectos positivos que induce en las propiedades físicas y químicas del suelo, se han registrado aumentos en la productividad de diversos cultivos de interés agrícola (Gallardo *et al.*, 2010).

4.2 Evaluación de las propiedades químicas del suelo

4.2.1 Efecto de la aplicación de lodo sobre el nivel de Nitrógeno Total Kjeldahl

A continuación en la Figura 4.1. se indica el contenido de Nitrógeno Total Kjeldahl 90 días después de cada aplicación, si bien el análisis comparativo no arrojo diferencia significativa entre cada dosis, a excepción de la dosis de 0 ton/ha en la segunda aplicación y la dosis de 30 ton/ha en la cuarta aplicación, se puede apreciar una tendencia al alza en el contenido de Nitrógeno del suelo a medida que avanza el tiempo debido a la aplicación de lodo.

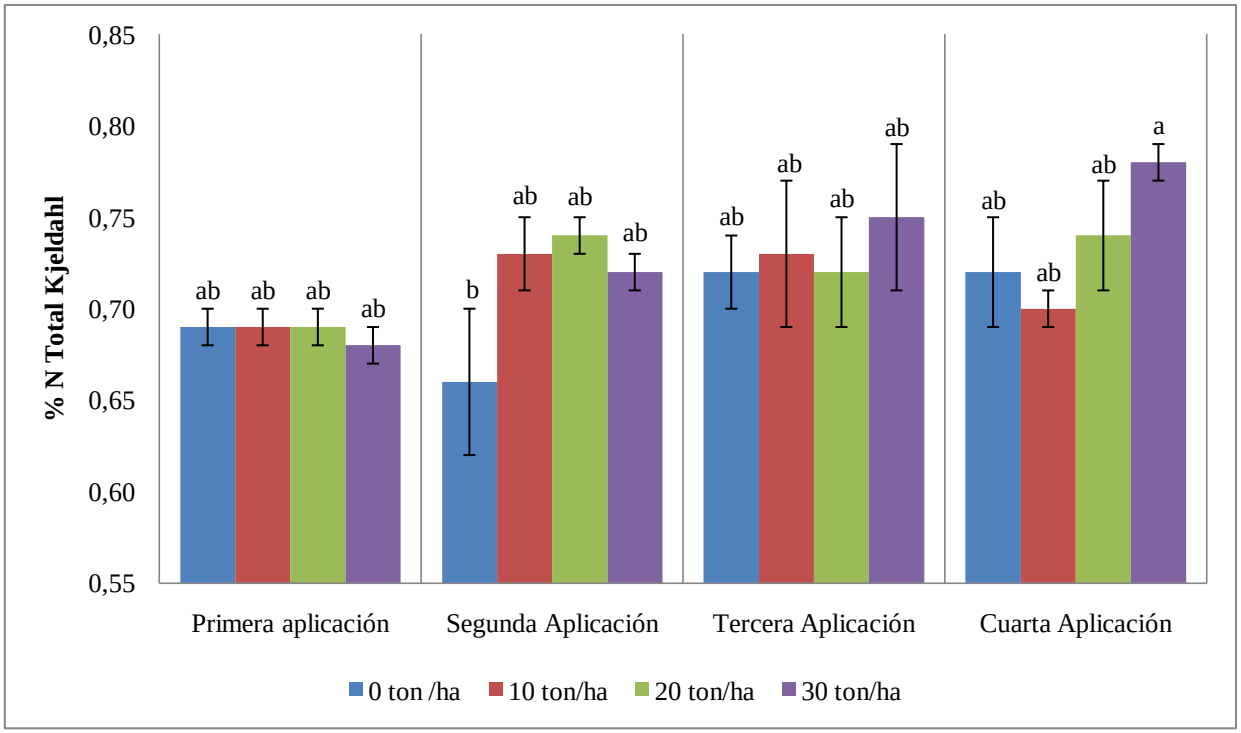


Figura 4.1. Variación del contenido de Nitrógeno Total Kjeldahl (%) en el suelo tratado con diferentes dosis de lodo (0, 10, 20 y 30 ton/ha). Evaluado cada 90 días posterior a las aplicaciones de lodo. ***** *Letras distintas indican diferencias significativas según pruebas de comparación múltiple de Tukey (p<0,05)*

Para la primera aplicación, los tratamientos fueron muy similares, no existiendo ninguna diferencia estadísticamente significativa, alcanzando niveles de 0,69 % con las dosis de 0, 10 y 20 ton/ha, la dosis de 30 ton/ha alcanzó un nivel levemente menor correspondiente a 0,68 %.

Posteriormente en la segunda aplicación se puede apreciar una mayor diferencia entre el testigo y los tratamientos con lodo. El testigo en esta ocasión obtuvo el menor valor de todas las aplicaciones con un 0,66 %, esto debido a que en la época correspondiente a la segunda aplicación hubo una alta productividad de la pradera (Ver Figura 4.3), por ende una mayor extracción de nutrientes del suelo que el testigo sin aplicación de lodo, no es capaz de reponer (Ruz y Campillo, 1996). Con las dosis de 10, 20 y 30 ton/ha no existió diferencias significativas alcanzando valores de 0,73, 0,74 y 0,72 % respectivamente.

En la tercera aplicación no existió diferencias estadísticamente significativas entre las dosis, la dosis de 30 ton/ha alcanzo un nivel de 0,75%, valor más alto que en la primera y segunda aplicación, existiendo un efecto acumulativo en el suelo con la aplicación sucesiva de lodo. Las dosis de 0, 10 y 20 ton/ha alcanzaron valores de 0,72, 0,73 y 0,72 % respectivamente.

En la cuarta aplicación existió diferencias estadísticamente significativas entre la dosis de 30 ton/ha y los demás tratamientos, alcanzando un valor de 0,78 %. Comparando éste valor con la primera aplicación donde obtuvo un 0,69 %, existe un incremento de un 12,8 %. La dosis de 10 ton/ha en la cuarta aplicación no logró superar al testigo disminuyendo en comparación a la tercera aplicación. Esto se podría deber a que las aplicaciones sucesivas de lodo aumentaron la producción de biomasa, pero el suelo no es capaz de sostener una elevada extracción de nutriente por periodos prolongados (Ruz y Campillo, 1996), siendo necesaria una nueva aplicación o un aumento de la dosis. Por otra parte la dosis de 20 ton/ha alcanzó un valor de 0,74 %, incrementando de la tercera a la cuarta aplicación.

En la época de muestreo correspondiente a la cuarta aplicación (Agosto) hay una mayor mineralización de Nitrógeno que en la época de la tercera aplicación (Mayo), ésto sumado a una

menor productividad de la pradera que significa una menor extracción de nutrientes (Ruz y Campillo, 1996), lo cual explicaría el aumento de Nitrógeno en el testigo de la primera aplicación a la cuarta.

Estos resultados concuerdan con diversos trabajos en los cuales se aplicó lodo sobre el suelo. Jurado *et al.* (2007), obtuvo un incremento de Nitrógeno en el suelo al aplicar lodo proveniente de una planta de tratamiento de aguas residuales en un pastizal para forraje en México, se aplicaron dosis de 0 a 95 Mg ha^{-1}. De igual manera otros autores afirman haber registrado aumentos de los niveles de Nitrógeno en el suelo con la aplicación de lodo proveniente de la industria de celulosa (Gallardo, 2007; Saravia, 2008), a medida que aumentó la dosis de lodo se incrementó proporcionalmente el nivel de Nitrógeno del suelo, esto principalmente por la significativa cantidad de este nutriente contenido en el lodo (Marambio y Ortega, 2003).

Comparado con algún fertilizante inorgánico como la urea, el lodo proporciona un suministro de Nitrógeno más constante a través del tiempo para la planta, ya que éste es de lenta liberación (Marambio y Ortega, 2003).

4.3 Evaluación del material vegetal

4.3.1 Efecto de la aplicación de lodo sobre el contenido de Nitrógeno foliar

A continuación en la Figura 4.2., se puede observar el contenido de Nitrógeno foliar obtenido en cada corte mensual, se puede apreciar un claro efecto a medida que aumentó la dosis de lodo, alcanzando diferencias significativas entre cada dosis en la mayoría de los muestreos realizados, principalmente por el alto contenido de Nitrógeno que aporta el lodo al suelo, un aporte de este nutriente actúa a corto plazo en los niveles de Nitrógeno foliar.

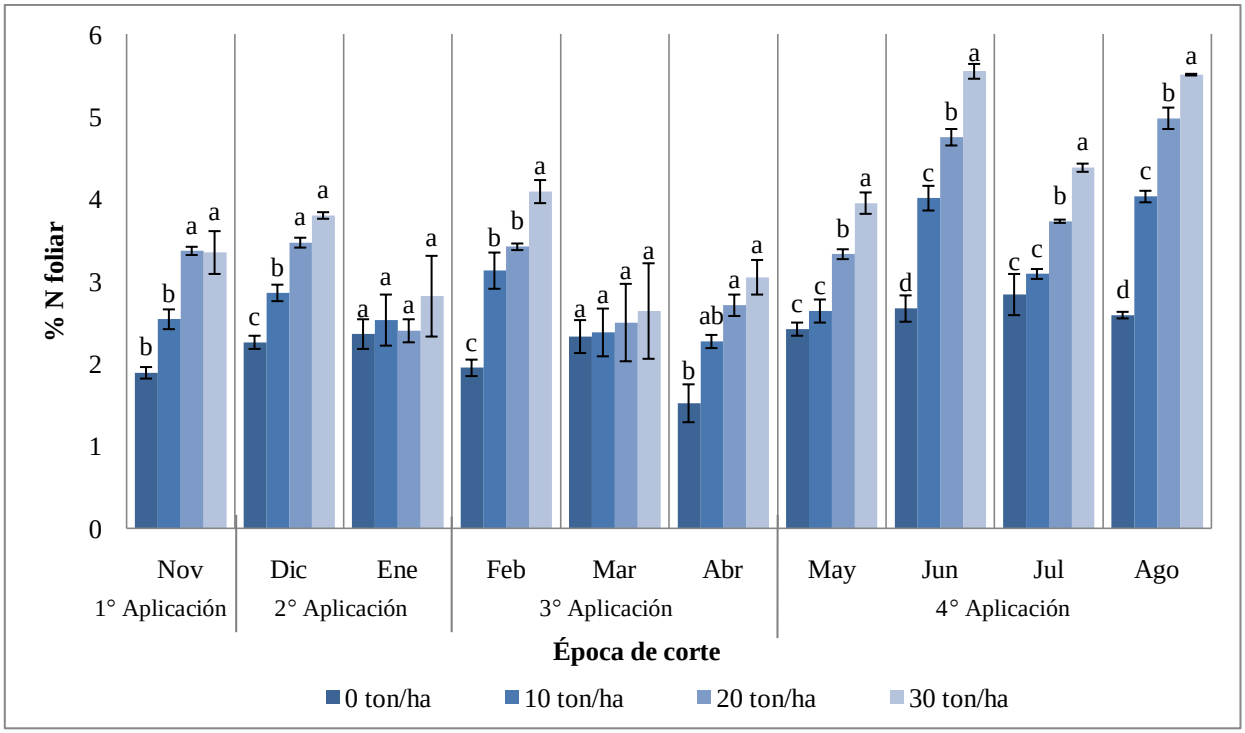


Figura 4.2. Variación del contenido de Nitrógeno foliar (%) de *Lolium perenne* en el suelo tratado con diferentes dosis de lodo (0, 10, 20 y 30 ton/ha) evaluado en cada corte mensual. ***Letras distintas indican diferencias significativas según pruebas de comparación múltiple de Tukey ($p<0,05$)***

El análisis estadístico reveló diferencias significativas entre todas las dosis, incrementándose el porcentaje de Nitrógeno foliar en directa relación al aumento de la dosis de lodo, a excepción de los meses de Enero y Marzo, dónde no se aprecia ninguna diferencia estadísticamente significativa, a pesar de esto, se puede observar una tendencia al alza similar a los otros meses.

Para la primera aplicación no existió una diferencia estadísticamente significativa entre las dosis de 0 y 10 ton/ha (1,89 y 2,54 % N respectivamente), tampoco entre las dosis de 20 y 30 ton/ha (3,37 y 3,35 % N respectivamente), sin embargo estos 2 tratamientos fueron ampliamente superiores al testigo (43,8 % mayor).

Para la segunda aplicación en el mes de Diciembre se apreció un claro efecto de la aplicación de lodo, ya que a medida que aumentó la dosis de lodo incrementó de la misma forma el contenido de Nitrógeno foliar, alcanzando el valor más alto con la dosis de 30 ton/ha (3,80 % N), ampliamente superior al testigo (2,26 % N). Durante el mes de Enero no se apreció diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, esto debido a que durante Enero se registró una alta producción de MS (Ver Figura 4.3). Además de la fertilización, el contenido de N foliar está influenciado por el clima y el estado vegetativo. El aumento de materia seca diluye el Nitrógeno orgánico en la planta. Las gramíneas son muy ricas en el momento en que se inicia la estación de crecimiento en primavera, porque el rendimiento aún es bajo, y porque en invierno, la absorción no se ha detenido al mismo nivel que el crecimiento (Gillet, 1984).

Los menores niveles se obtuvieron en la tercera aplicación, en la época de verano (Enero y Marzo), esto es debido a que por las condiciones propias de esta época (temperaturas elevadas y déficit hídrico), hay una disminución de la actividad radicular, y en consecuencia disminuye la absorción de nutrientes (Gillet, 1984). Debido a esto no se apreció diferencias significativas durante Enero y Marzo. Febrero presenta altos niveles de Nitrógeno para la época debido al clima, ya que el año 2010 durante ese mes las precipitaciones fueron mucho mayores al promedio de otros años (77 mL) sumado a una temperatura promedio alta (14,3 °C) a causa del fenómeno climático de la corriente del Niño (Ver Anexo A.6).

Los mayores valores alcanzados se registraron en la cuarta aplicación (Mayo, Junio, Julio y Agosto), con valores superiores al 5 % en el caso de la dosis de 30 ton/ha (Junio y Agosto), y alcanzando valores superiores en comparación a las demás épocas de corte para todas las dosis. Esto debido al efecto de la aplicación sucesiva de lodo que permite una mayor acumulación de Nitrógeno foliar a lo largo del tiempo en la planta y además la época de medición de la cuarta aplicación es invierno. FIA (2007), afirma que la proteína total (PT) de los forrajes aumenta en otoño alcanzando su máximo en invierno. La PT se obtiene multiplicando el contenido de Nitrógeno foliar por un factor de conversión, que en éste caso sería de 6,25 (FIA, 2007).

Se sabe que el Nitrógeno conforma una parte fundamental de la molécula de clorofila en la planta, por ende es un elemento indispensable para la fotosíntesis (Vidal *et al.*, 2002), existiendo un buen abastecimiento de éste elemento se traduciría en una alta tasa de división y diferenciación celular y además, un incremento del contenido de Nitrógeno foliar. Monsalve *et al.* (2009), utilizando fuentes de Nitrógeno inorgánicas con dosis de 50, 100, 150 y 200 mg L^{-1}, evaluaron el efecto de la fertilización sucesiva de Nitrógeno en plantas de *Eucalyptus globulus*, obteniendo como resultado un aumento en los niveles de Nitrógeno foliar con el aumento de la fertilización nitrogenada.

4.3.2 Efecto de la aplicación de lodo sobre la producción de MS de *Lolium perenne*

A continuación en la Figura 4.3. se presenta la cantidad de materia seca (ton/MS/ha) obtenida después de cada corte durante el ensayo en plantas de *Lolium perenne*. Se puede observar un claro efecto directamente relacionado a la aplicación de lodo, donde a medida que se aumentó la dosis de lodo también lo hace proporcionalmente la producción de ballica, existiendo una diferencia estadísticamente significativa entre todas las dosis de lodo y el testigo, siendo positiva la aplicación sucesiva de lodo.

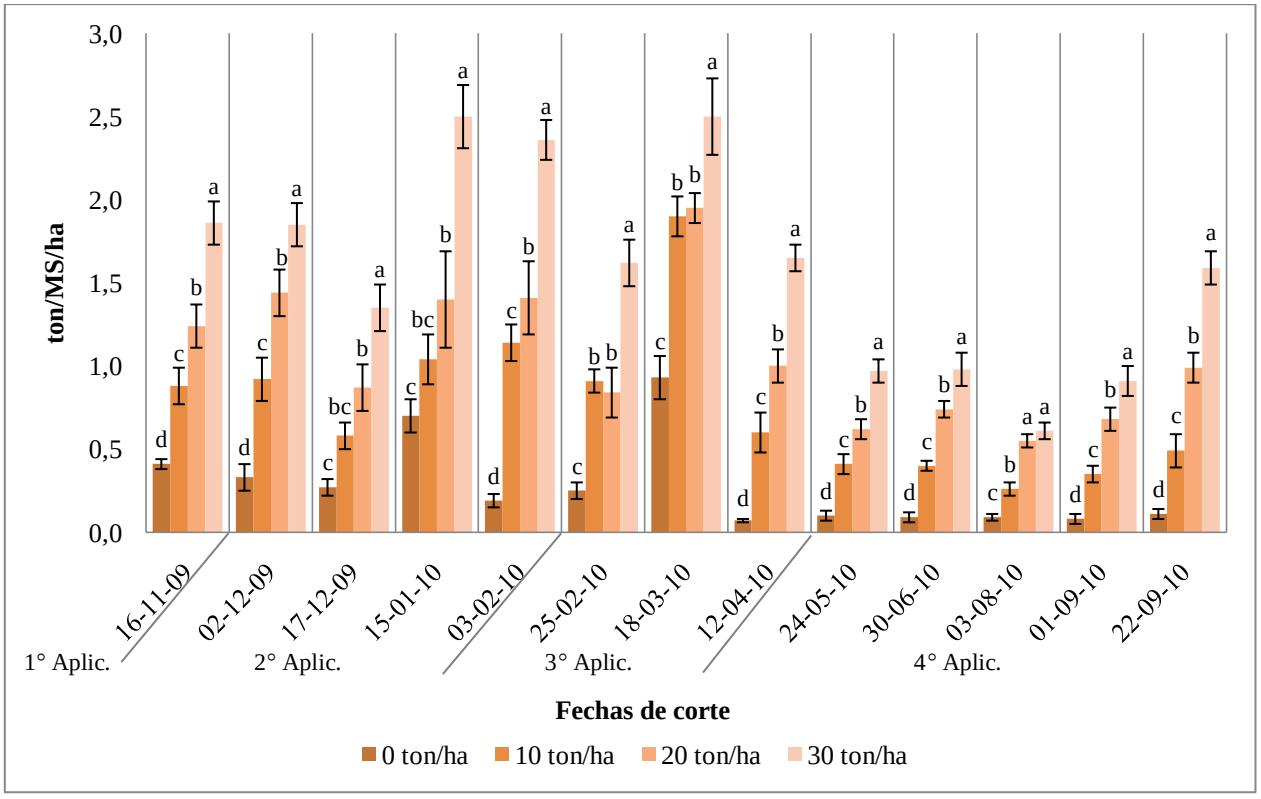


Figura 4.3. Evaluación de la producción (ton/MS/ha) de *Lolium perenne* en el suelo tratado con diferentes dosis de lodo (0, 10, 20 y 30 ton/ha) en cada corte. ***** *Letras distintas indican diferencias significativas según pruebas de comparación múltiple de Tukey (p<0,05)*

Según López (1996), el crecimiento de ballica no es uniforme durante todo el año, existiendo periodos de crecimientos máximos y mínimos acordes al lugar donde esté establecida la planta. A pesar de esto, en cada corte la dosis de 30 ton/ha es ampliamente superior al testigo, llegando a valores 23 veces más altos de MS, como es el caso del corte de Abril, lo mismo sucede con las dosis de 10 y 20 ton/ha, donde tampoco en ningún corte son superadas por el testigo, existiendo diferencias significativas.

El corte correspondiente a la primera aplicación (16-11-2010) demostró tener una tendencia al alza a medida que se aumentó la dosis, de esta forma se llegó a un valor casi cinco veces más alto con la dosis más alta en comparación con el testigo (1,86 y 0,41 ton/MS/ha respectivamente).

De igual manera los cortes correspondientes a la segunda aplicación tuvieron el mismo comportamiento anterior, existiendo diferencias estadísticamente significativas entre todas las dosis, siendo la dosis de 30 ton/ha la de mayor producción, existiendo diferencias estadísticamente significativas entre todas las dosis, a excepción de las dosis de 10 y 20 ton/ha donde no hubo diferencias entre ellas en los cortes del 25/02/2010 y 18/03/2010.

Los cortes de la tercera aplicación siguen el mismo comportamiento de las aplicaciones anteriores, alcanzando un máximo de 2,50 ton/MS/ha con la dosis de 30 ton/ha en el mes de Marzo.

Finalmente los cortes correspondientes a la cuarta aplicación disminuyeron la producción en comparación a las aplicaciones anteriores, esto debido a la época del año (Invierno y principios de Primavera) donde la ballica disminuye su producción, sin embargo existió el mismo comportamiento en relación a la dosis, a medida que aumentó ésta lo hizo de igual manera la producción.

Resultados similares obtuvo Panichini (2006), al aplicar dosis sucesivas de lodo proveniente de la industria de celulosa sobre *Lolium perenne*, dónde en cada corte se obtuvo un aumento de la productividad vegetal en comparación con la dosis 0, aun con la dosis más baja utilizada.

Este aumento en la productividad vegetal se debe principalmente al aporte como fertilizante que proporciona el lodo como N, P, K y de otros microelementos; Ca y Mg, y además, al aplicar lodo al suelo se puede mejorar la CIC (Zambrano *et al.*, 2003). Los niveles de Nitrógeno en el suelo aumentaron al finalizar el ensayo (Ver Figura 4.1), corroborando lo antes mencionado.

La Figura 4.4. muestra la producción Total de MS a lo largo de todo el proyecto, queda en evidencia el significativo efecto que tiene la aplicación de lodo sobre la producción, habiendo un aumento progresivo de MS a medida que aumentó la dosis de lodo.

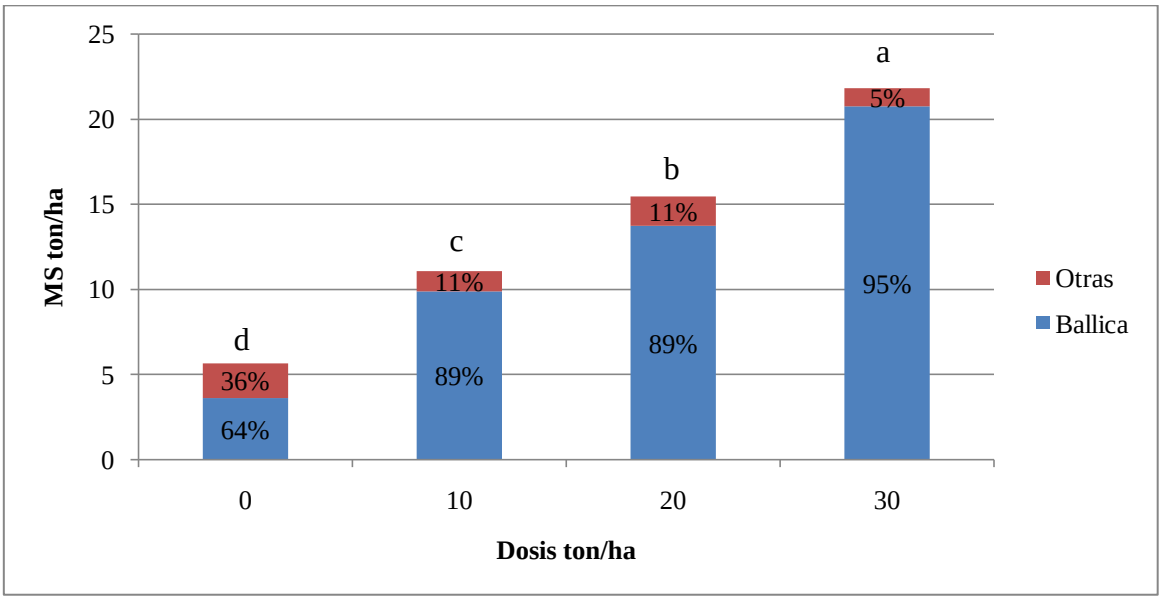


Figura 4.4. Evaluación de la producción acumulada (ton/MS/ha) y composición botánica (%) de *Lolium perenne* en el suelo tratado con diferentes dosis de lodo (0, 10, 20 y 30 ton/ha). Durante el periodo de evaluación comprendido entre Noviembre de 2009 a Septiembre de 2010. ***** *Letras distintas indican diferencias significativas según pruebas de comparación múltiple de Tukey (p<0,05)*

El mejor resultado se obtuvo con la dosis de 30 ton/ha (20,75 ton/MS/ha) y disminuyendo con las dosis de 0, 10 y 20 ton/ha (3,62, 9,88 y 13,73 ton/MS/ha respectivamente). Al comparar la dosis más alta (30 ton/ha) y el testigo, hay una diferencia de un 573 %.

En cuanto a la composición botánica de la pradera, definida como ballica y otras especies, tuvo una directa relación con la aplicación de lodo, la mayor proporción de ballica se obtuvo con la dosis de 30 ton/ha con un 95 %, las dosis de 10 y 20 ton/ha tuvieron la misma proporción de ballica con un 89 %, finalmente el testigo fue el que obtuvo la menor proporción de ballica con un 64 % de ballica y un 36 % de otras especies (equivalente a más de un tercio de la pradera).

Estudios realizados por López (1996), sobre producción de ballica en la Estación Experimental La Platina, INIA, en la zona centro norte, indican una producción promedio de 8,58 ton/MS/ha de ballica en 2 años de evaluación. Cantidad superada por las 3 dosis de lodo. Canseco *et al.*, (2005), obtuvo un rendimiento promedio de 14,6 ton/MS/ha al evaluar el comportamiento productivo de 7 cultivares de Ballica perenne. Meza (2009), al evaluar Ballica perenne cv. Banquet en el secano de la Región de La Araucanía durante la temporada 2004/2005, obtuvo una producción total de 11,21 ton/MS/ha.

Gallardo *et al*. (2007), obtuvo un incremento de la biomasa en plantas de trigo sobre suelos tratados con lodo proveniente de la industria de celulosa. De igual manera, estudios realizados sobre plantas de girasol en Brasil por Figueiredo y Grassi (2009), referente a la sustitución de fertilización nitrogenada inorgánica por lodo de una planta de tratamiento de aguas servidas, dieron como resultado un mayor índice productivo en las plantas sobre suelos tratados con la dosis de 30,4 ton/ha.

4.3.3 Efecto de la aplicación de lodo sobre el número de macollos de *Lolium perenne*

A continuación en la Figura 4.5. se presenta el número de macollos contabilizados en cada tratamiento con lodo durante dos épocas de evaluación.

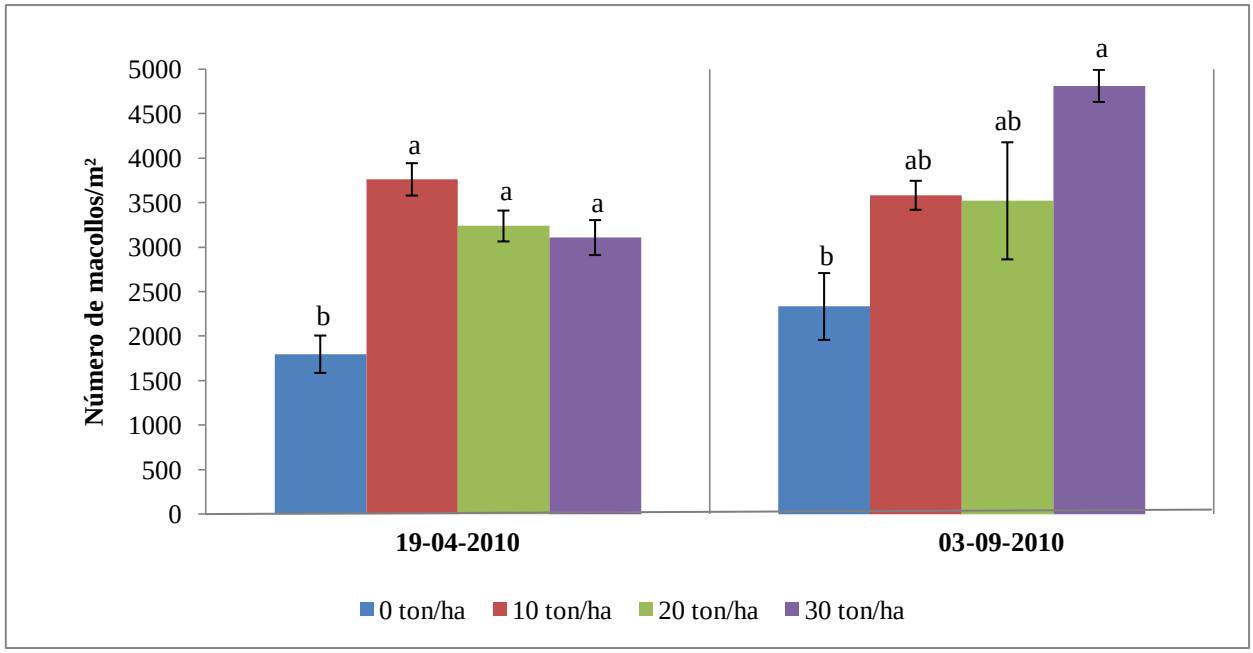


Figura 4.5. Efecto de la aplicación de lodo sobre el número de macollos (macollos/m²) de *Lolium perenne* en el suelo tratado con diferentes dosis de lodo (0, 10, 20 y 30 ton/ha). Durante dos épocas de evaluación. ***** *Letras distintas indican diferencias significativas según pruebas de comparación múltiple de Tukey (p<0,05)*

En el mes de Abril hubo una diferencia entre las plantas a las cuales se aplicó lodo y el testigo, no así entre cada tratamiento (10, 20 y 30 ton/ha), obteniéndose menor cantidad de macollos/m² (3018) en la dosis de 30 ton/ha que en las dosis de 10 y 20 ton/ha (3762 y 3238 macollos/m² respectivamente). Esto se podría deber a que en la dosis de 30 ton/ha se produjo un mayor crecimiento en altura de las plantas, lo que provocaría un sombreamiento entre ellas, condición que induce a una menor tasa de macollamiento (FIA, 2007). Una vez que las plantas desarrollan

una elevada densidad, el sombreo aumenta en la base de las plantas y la calidad de la luz se convierte en el factor limitante de mayor importancia que limita el desarrollo de nuevos macollos (Simon y Lemaire, 1987).

Posteriormente en Septiembre, por las condiciones propias de la época del año, como son un incremento de luz y temperatura que favorecen el incremento de macollamiento (FIA, 2007) y el aporte de nutrientes del lodo, especialmente Nitrógeno que estimula la actividad de yemas axilares e incrementa la densidad de macollos, se pudo observar un aumento del número de macollos en todos los tratamientos a excepción de la dosis de 10 ton/ha, donde el número de macollos disminuyó de una temporada a otra.

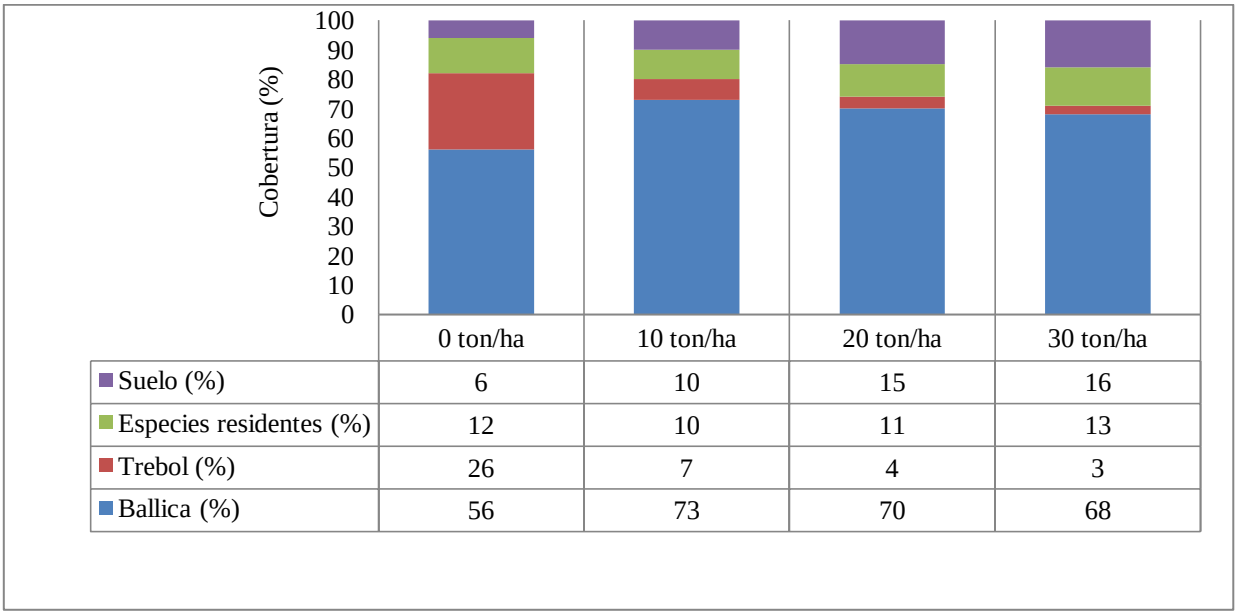
En consecuencia, se observó una tendencia al alza a medida que aumentó la dosis de lodo, presentándose una diferencia significativa entre la dosis de 30 ton/ha y el testigo, con una diferencia de un 51 % mayor para la dosis más alta. No se presentan diferencias entre los tratamientos de 10 y 20 ton/ha, sin embargo ambos son superiores al testigo debido a la aplicación de lodo.

En estudios realizados por Demanet *et al.* (1996), en 3 cultivares y 4 líneas de *Lolium perenne* en el secano de la Región de La Araucanía durante 3 años, se cuantificó un número promedio de 3396 macollos/m², cifra similar a las obtenidas con las dosis de 10 y 20 ton/ha de lodo (3583 y 3521 macollos/m² respectivamente) y ampliamente superada por la obtenida con la dosis de 30 ton/ha (4813 macollos/m²).

Una mayor cantidad de macollos va a significar una mejor producción de forraje, dado que el macollo como estructura es una planta independiente capaz de producir hojas. Ésto cobra vital importancia sobre todo en sistemas pastoriles, donde una mayor disponibilidad de forraje en una superficie determinada a un menor costo sería apreciable para productores de carne y/o leche.

4.3.4 Efecto de la aplicación de lodo sobre la cobertura de la pradera

A continuación en la Figura 4.6. se puede apreciar la cobertura de la pradera evaluada con el método del "Point Cuadrant" durante el periodo de evaluación de Abril de 2010.



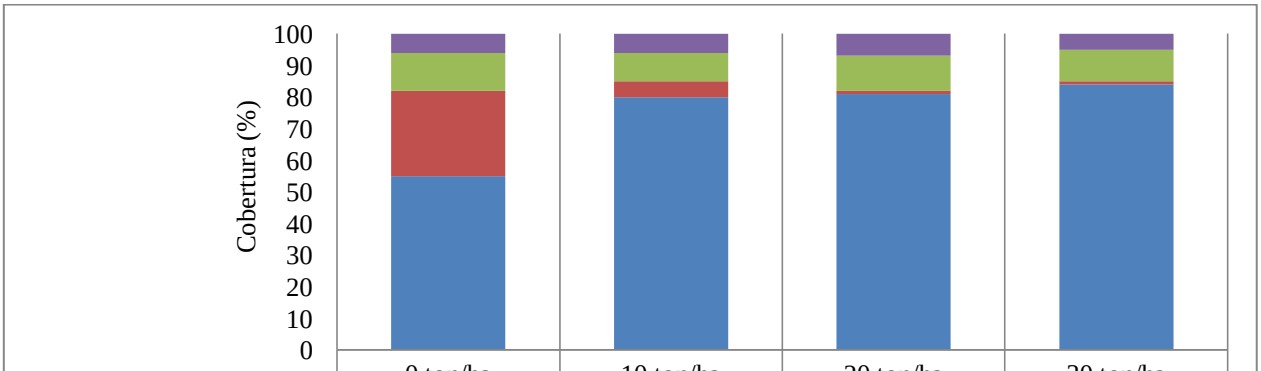
	0 ton/ha	10 ton/ha	20 ton/ha	30 ton/ha
Suelo (%)	6	10	15	16
Especies residentes (%)	12	10	11	13
Trebol (%)	26	7	4	3
Ballica (%)	56	73	70	68

Figura 4.6. Evaluación de la cobertura (%) de la pradera con el método del "Point Cuadrant" en el suelo tratado con diferentes dosis de lodo (0, 10, 20 y 30 ton/ha). Durante la época de evaluación de Abril de 2010.

En el primer periodo de evaluación (Abril) se pudo observar una diferencia entre las parcelas a las cuales se le aplico lodo y el testigo, no así entre cada dosis, donde la cobertura fue similar entre ellas, en la dosis 0 se obtuvo una cobertura de un 56 % de ballica y con las aplicaciones de lodo se obtuvo un promedio de 70 % de cobertura de ballica, por otra parte la dosis 0 tuvo una alta presencia de trébol blanco (26 %), esto debido a la menor competitividad de las plantas de ballica al no tener una nutrición adecuada, las plantas con aplicación de lodo no superaron el 7 % de trébol.

La presencia de especies residentes en el primer periodo (Abril) fue similar con todos los tratamientos, incluido el testigo, con un promedio de un 12 %. Las parcelas con aplicación de lodo mostraron menor cobertura del suelo con alguna especie vegetal, la dosis de 0 ton/ha fue la que expuso una menor proporción de suelo desnudo (6 %), aumentando esto a medida que aumentaban las dosis de lodo presentando un 10 % con la dosis de 10 ton/ha, 15 % con la dosis de 20 ton/ha y un 16 % con la dosis más alta de 30 ton/ha, este comportamiento de mayor proporción de suelo desnudo a medida que aumentó la dosis de lodo es debido a que al ir aumentando progresivamente la dosis también lo hace el crecimiento en altura de las plantas de ballica, esto provoca un sombreamiento en la entre hilera que impide una mayor cobertura (Varlet-Grancher *et al.*, 1997).

A continuación en la Figura 4.7. se puede apreciar la cobertura de la pradera evaluada con el método del "Point Cuadrant" durante el periodo de evaluación de Septiembre de 2010.



	0 ton/ha	10 ton/ha	20 ton/ha	30 ton/ha
Suelo (%)	6	6	7	5
Especies residentes (%)	12	9	11	10
Trebol (%)	27	5	1	1
Ballica (%)	55	80	81	84

Figura 4.7. Evaluación de la cobertura (%) de la pradera con el método del "Point Cuadrant" en el suelo tratado con diferentes dosis de lodo (0, 10, 20 y 30 ton/ha). Durante la época de evaluación de Septiembre de 2010.

En el segundo periodo de evaluación la cobertura de ballica aumentó en todos los tratamientos con lodo, lográndose el mayor aumento con la dosis de 30 ton/ha (84 %), no así con el testigo, que fue el de menor cobertura de ballica, e incluso disminuyendo en comparación con el primer periodo (55 %). El testigo mantuvo un comportamiento bastante similar en los 2 periodos de evaluación. Los tratamientos con lodo disminuyeron la presencia de especies residentes levemente de un periodo a otro, por otra parte la proporción de suelo desnudo disminuyó significativamente, sobre todo la dosis de 30 ton/ha, que luego de obtener un 16 % de suelo desnudo en el primer periodo disminuyó a un 5 % en el segundo, cubriendo principalmente con ballica.

Según Mundaca (2004), la variación inducida por la fertilización resulta en cambios en el medio edáfico que hace que algunas especies tiendan a dominar según el ambiente inducido por otras de mayor productividad como consecuencia del cambio en la fertilidad del suelo.

5. CONCLUSIONES

5. CONCLUSIONES

- La aplicación de lodo no tiene un efecto estadísticamente significativo en el nivel de Nitrógeno del suelo en las primeras 3 aplicaciones. Al final del ensayo las dosis de 0, 10 y 20 ton/ha no demostraron tener alguna diferencia significativa, sin embargo esta última incrementó el % de N desde la primera aplicación. La dosis de 30 ton/ha alcanzó el mayor nivel en la cuarta aplicación en comparación a las aplicaciones anteriores. Esto demuestra que al aplicar lodo sucesivamente existe una acumulación de Nitrógeno en el suelo.

- El porcentaje de Nitrógeno foliar aumentó significativamente con la aplicación de lodo al suelo, obteniéndose un mayor incremento con la dosis de 30 ton/ha. Esto queda en evidencia en todas las aplicaciones, demostrando que las aplicaciones sucesivas de lodo benefician a la planta a nivel foliar.

- El número de macollos aumentó significativamente de una temporada a otra por la aplicación de lodo y condiciones climáticas favorables para el macollamiento, incrementándose progresivamente en el tiempo a medida que se aumentó la dosis de lodo.

- La aplicación de lodo demostró tener un efecto positivo en la cobertura de las plantas, aumentando significativamente la proporción de *Lolium perenne* en los tratamientos con lodo.

- La producción de *Lolium perenne* aumentó significativamente conforme aumenta la dosis de lodo, obteniéndose la mayor producción con la dosis de 30 ton/ha, posteriormente las dosis de 20 y 10 ton/ha y la menor producción con el testigo sin aplicación de lodo. En todos los cortes correspondientes a las 4 aplicaciones con lodo se obtuvo una mayor producción de MS en comparación al testigo. Esto demuestra que una aplicación sucesiva de lodo es favorable y rentable debido a la alta producción.

6. RESUMEN

6. RESUMEN

La industria de celulosa en Chile tiene un rol fundamental en la economía nacional, su producto principal, la celulosa Kraft, es cada vez más demandada en el plano mundial, siendo el mercado asiático el principal destino. El tratamiento de efluentes que se debe realizar a las aguas ocupadas en los diversos procesos de fabricación de celulosa antes de ser devueltas al ambiente genera grandes cantidades de lodo, éste es acumulado en rellenos industriales, lo cual es una preocupación económica y ambiental, hoy en día, sin solución. Diversos estudios demuestran que las propiedades químicas de los suelos mejoran al aplicar lodo, aumentando la absorción de nutrientes por parte de las plantas, y por lo consiguiente, la producción vegetal. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la aplicación de lodos provenientes de la industria de celulosa sobre los niveles de Nitrógeno en el sistema suelo-planta y productividad de *Lolium perenne*. El ensayo fue montado en el sector Maquehue, Región de La Araucanía. Se aplicaron dosis de 0, 10, 20 y 30 ton/ha divididas en 4 dosis cada 90 días, 3 repeticiones por dosis en parcelas de 6x2 m. Los resultados indicaron que los niveles de Nitrógeno en el sistema suelo-planta aumentó a medida que se elevó la dosis de lodo, logrando un mejor resultado con la dosis de 30 ton/ha. La producción, número de macollos y cobertura de ballica también aumentó con las aplicaciones de lodo. En base a los resultados se concluye que el lodo tiene un efecto beneficioso sobre las plantas, presentándose como una alternativa el aplicarlo en suelos destinados a la agricultura.

7. ABSTRACT

7. ABSTRACT

The pulp industry in Chile has a fundamental role in the national economy, its main product, the Kraft cellulose, is increasingly in demand worldwide, in which the Asian market is its main destination. The effluent treatment which has to be done to the water used in different processes of cellulose fabrication before being returned to the environment, generates a big amount of sludge, which is accumulated in industrial filling, this is, nowadays, an economic and environmental concern without solution yet. Studies state that applying sludge to the ground improves its chemical properties, increasing the absorption of nutrients by plants, therefore increasing vegetable production. The aim of this study was to evaluate the effect of the application of sludge from the pulp industry on the levels of nitrogen in the soil-plant system and productivity of *Lolium perenne*. The essay was carried out in the Maquehue area, Araucanía Region. The applied doses of 0, 10, 20 and 30 ton/ha were divided into 4 rates every 90 days, 3 repetitions per dose in land lots of 6x2 m. The results pointed out that levels of nitrogen in the soil-plant system increased as the dose increased sludge, achieving a better outcome with the 30 ton/ha sludge dose. Production, number of tillers and ryegrass coverage also increased with sludge applications. Based on the results it is suggested that sludge has a beneficial effect on the plants, being an alternative to apply to the soil for agriculture.

8. BIBLIOGRAFÍA

8. BIBLIOGRAFÍA

- **Aravena, C., Valentín, C., Diez, M., Mora, M. and Gallardo F. (2007).** Aplicación de lodos de planta de tratamiento de celulosa: efecto en algunas propiedades físicas y químicas de suelos volcánicos. Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal 7:1-14.

- **Barrenechea, M. (2006).** Aplicación de lodo secundario de la industria de celulosa en suelos derivados de cenizas volcánicas y su impacto sobre la producción de *Lolium perenne* L. Tesis para optar al título de Ingeniero Ambiental. Universidad de La Frontera, Temuco, Chile.

- **Barrenechea, M., Gallardo, F. and Mora, M. (2005).** Aplicación de lodos de la industria de celulosa en suelos degradados derivados de cenizas volcánicas y su impacto sobre las propiedades químicas y biológicas del suelo y la producción vegetal. X Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Boletín Nº 21: 117p.

- **Besoain, E. (1985).** Suelos Volcánicos de Chile. Capítulo I: Los Suelos. Editado por Rodrigo Hidalgo Barra, INIA-1985.

- **Boeira, R.C. (2004).** Utilização de lodo de esgoto como adubo nitrogenado: risco ou benefício ao meio ambiente?. Embrapa meio ambiente.

- **Canseco, C., Demanet, R., Mora, M.L. and Salas, P. (2005).** Producción de 7 cultivares de *Lolium perenne* en el secano de la IX Región. XXX Reunión Anual Sociedad Chilena de Producción Animal. Temuco. López, I. y Sepúlveda, N., (Ed.) pp: 149 – 150.

- **CONAMA, (2001).** Proyecto definitivo de Reglamento sobre manejo de lodos no peligrosos (versión del 6 de marzo del 2001). Chile

- **CONAMA, (2009).** Reglamento para el manejo de lodos generados en plantas de tratamientos de aguas servidas. Decreto Supremo N° 004.

- **Demanet, R., Neira, L. and Cantero, M. (1996).** Pasturas en la Zona Sur de Chile I. Especies Gramíneas. Publicación Docente N° 2, Universidad de La Frontera, Temuco.

- **Demanet, R. (2008).** Manual de especies forrajeras y manejo de pastoreo. Plan Desarrollo Lechero Watt´s. Área Agropecuaria Watt´s S.A. 113-114.

- **Echeverría, H. and Sainz, H. (2005).** Nitrógeno en los cultivos. Capítulo 4 del Libro "Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos", Editado por Hernán E. Echeverría y Fernando García, Ediciones INTA - Diciembre de 2005.

- **EPA, (2000).** Biosolids Technology Fact Sheet: Land Application of Biosolids. EPA 832-f-00-064. Washington, D.C.

- **Faria, R., Tetsuo, R. and Maganhotto, C.M. (2004).** Utilização do Lodo de Esgoto na Cultura de Soja. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 21, EMBRAPA.

- **Fuentes, L. (1994).** El suelo y los fertilizantes. Cuarta Edición. Mundi-prensa. Madrid, España.

- **FIA, (2007).** Manejo del pastoreo. Osorno, Chile. Octubre de 2007.

- **Figueiredo, T. and Grassi, H. (2009).** Sewage sludge levels on the development and nutrition of sunflower plants. Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal. 9: 245-255.

- **Foth, H. and Ellis, B., (1997).** Soil fertility. Second Edition. Lewis Publishers.

- **Gallardo, F., Mora, M.L. and Diez, M.C. (2007).** Kraft mil sludge to improve vegetal production in Chilean Andisol. Water Science and Technology. 55:31-37.

- **Gallardo, F., Bravo, C. and Diez, M.C. (2010).** Use of sludge from Kraft mill wastewater treatment as improver of volcanic soils: effect on soil biological parameters. Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal. 10:48 – 61.

- **Gillet, M. (1984).** Las gramíneas forrajeras. Descripción funcionamiento, aplicaciones al cultivo de la hierba. Ed. Acribia Zaragoza (España). 355p.

- **Henning, B.J., Snyman, H.G. and Aveling, A.S. (2000).** Plant-soil interaction of sludge-borne heavy metals and the effect on maize (*Zea mays* L.) seedling growth. Presented at WISA 2000.

- **Jurado, P., Arredondo, T., Flores, E., Olalde, V. and Frias, J. (2007).** Efecto de los biosólidos sobre la humedad y los nutrimentos del suelo y la producción de forraje en pastizales semiáridos. TERRA Latinoamericana, Vol. 25:211-218.

- **Labra, V. (2002).** La industria forestal en Chile, Desarrollo y perspectivas. Informe de clasificación de corporaciones chilenas. Feller Rate, Clasificadora de Riesgo.

- **López, (1996).** Praderas para Chile, Capitulo 4; Especies forrajeras mejoradas. Edición INIA, 2. Ministerio de Agricultura. Santiago-Chile. 718p.

- **Mangada, E. and Morón, J. (1999).** Cuadernos divulgados en material de residuos: los lodos. Edición del centro de información y documentación, consejería de ordenación del territorio, medio ambiente y vivienda, España.

- **Marambio, C. and Ortega, R. (2003).** Uso potencial de lodos derivados del tratamiento de aguas servidas en la producción de cultivos en Chile. Revista Agronomía y Forestal UC. 20:20-23.

- **Martínez, Y., Rivero, C. and López, L. (2008).** Efecto de la aplicación de lodos papeleros sobre las fracciones de níquel en suelos de la cuenca del lago de Valencia, Venezuela. Bioagro. 20:119-130.

- **Meza, P. (2009).** Producción de 7 cultivares de *Lolium perenne* L. en el secano de la IX Región de La Araucanía. Tesis para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Universidad de La Frontera, Temuco, Chile.

- **Monsalve, J., Escobar, R., Acevedo, M., Sánchez, M. and Coopman, R. (2009).** Efecto de la concentración de nitrógeno sobre atributos morfológicos, potencial de crecimiento radical y estatus nutricional en plantas de *Eucalyptus globulus* producidas a raíz cubierta. Bosque. 30: 88-94.

- **Mora, M.L. (1993).** Nivel de fertilidad de los suelos de la IX Región y su relación con la Acidez, Frontera Agrícola. Chile. 1:5-12.

- **Mundaca, P. (2004).** Evaluación de las praderas y determinación de la capacidad sustentadora, Parque Nacional Archipiélago Juan Fernández, Isla Robinson Crusoe. Tesis para optar al título de Ingeniero Agrónomo, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile.

- **Panichini, R. (2006).** Efecto de la incorporación de lodos de la industria de celulosa, en la producción de Ballica perenne (*Lolium perenne* L.) en un Andisol y Ultisol de la IX Región de la Araucanía. Tesis para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Universidad de La Frontera, Temuco, Chile.

- **Pinilla, H. and Sanhueza, H. (2000).** Fertilizantes nitrogenados y su impacto sobre la productividad de los suelos volcánicos del sur de Chile. Universidad de La Frontera. Temuco-Chile. 35p.

- **Raga, F. (2010).** La industria forestal chilena en el contexto internacional. Corporación Chilena de la Madera (CORMA).

- **Ruz, E. and Campillo, R. (1996).** Praderas de Chile, Capitulo 12; Fertilización de praderas. Edición INIA, 2. Ministerio de Agricultura. Santiago-Chile. 718p.

- **Sadzawka, A., Carrasco, M., Grez, R. and Mora M. (2004) (a).** Métodos de análisis recomendados para los suelos chilenos. Comisión de normalización y acreditación. Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo.

- **Sadzawka, A., Carrasco, M., Grez. and Mora M. (2004) (b).** Métodos de análisis de tejidos vegetales. Comisión de normalización y acreditación. Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo.

- **Sánchez, P.A., Palm, C.A. and Buol, S.W. (2003).** Fertility capability soil classification: a tool to help assess soil quality in the tropics. Geoderma. 114:157-185.

- **Saravia, C. (2008).** Evaluación de los efectos de la aplicación sucesiva de lodos provenientes de una planta de tratamientos de Riles de la industria de celulosa Kraft sobre suelos degradados. Tesis para optar al título de Ingeniero Ambiental. Universidad de La Frontera, Temuco Chile.

- **Simon, J. and Lemaire, G. (1987).** Tillering and leaf area index in grasses in the vegetative phase, Grass and Forage, Sci. 42:373-380.

- **Tchobanoglous, G. and Burton, F. (1995).** Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. Volumen II, Metcalf and Eddy INC., Ediciones McGraw-Hill, España.

- **Varlet-Grancher, C., Moulia, B. and Jacques, R. (1997).** Phytocrome mediated effects on white clover morphogenesis. En: Proc. 18° International Grass Congress, Canada.

- **Vega, M., Bontoux, L. and Papameletiou, D. (2005).** Tratamiento de aguas residuales urbanas en Europa: El problema de los lodos. DYNA órgano oficial de asociaciones de ingenieros industriales en España. p.45.

- **Vidal, I., Etchevers, J. and Fischer, A. (2002).** Dinámica del nitrógeno bajo diferentes rotaciones, sistemas de labranza y manejo de residuos en el cultivo de trigo. Agricultura Técnica, Chillán. 62:121-132.

- **Zagal, E. (2005).** El ciclo del Nitrógeno en el suelo. Revista Ciencia Ahora. 16:103-110.

- **Zambrano, M., Parodi, V., Arias, M., Gallardo, F. and Vidal, G. (2003).** Aplicación de lodos inorgánicos provenientes de la industria de la celulosa Kraft en suelos ácidos: estudio del efecto en los lixiviados generados y en la productividad vegetal. XV Congreso de Ingeniería Sanitaria y Ambiental AIDIS-Chile.

- **Zhang, S., Wang, S., Shan, X. and Mu, H. (2004).** Influences of lignin from paper mill sludge on soil properties and metal accumulation in wheat. Biology and Fertility Soils. 40:237-242.

9. ANEXOS

Cuadro A.1. Variación del contenido de Nitrógeno Total Kjeldahl (%) en el suelo de acuerdo al tratamiento y su aplicación sucesiva.

Dosis (ton/ha)	Nitrógeno Total Kjeldahl (%)											
	Primera aplicación			Segunda Aplicación			Tercera Aplicación			Cuarta Aplicación		
	Promedio	Desv. Estandar	Error Estándar	Promedio	Desv. Estandar	Error Estándar	Promedio	Desv. Estandar	Error Estándar	Promedio	Desv. Estandar	Error Estándar
0	0,69 ab	0,01	0,01	0,66 b	0,08	0,04	0,72 ab	0,03	0,02	0,72 ab	0,06	0,03
10	0,69 ab	0,02	0,01	0,73 ab	0,04	0,02	0,73 ab	0,07	0,04	0,70 ab	0,02	0,01
20	0,69 ab	0,01	0,01	0,74 ab	0,02	0,01	0,72 ab	0,06	0,03	0,74 ab	0,05	0,03
30	0,68 ab	0,01	0,01	0,72 ab	0,01	0,01	0,75 ab	0,06	0,04	0,78 a	0,01	0,01

Cuadro A.2. Variación del contenido de Nitrógeno Total Kjeldahl (%) a nivel foliar de *Lolium perenne* de acuerdo al tratamiento y a cada corte mensual.

Corte	Promedio				Corte	Desviación Estándar				Corte	Error Estándar			
	0 ton/ha	10 ton/ha	20 ton/ha	30 ton/ha		0 ton/ha	10 ton/ha	20 ton/ha	30 ton/ha		0 ton/ha	10 ton/ha	20 ton/ha	30 ton/ha
Nov	1,89 b	2,54 b	3,37 a	3,35 a	**Nov**	0,13	0,20	0,08	0,44	**Nov**	0,07	0,12	0,05	0,26
Dic	2,26 c	2,86 b	3,47 a	3,80 a	**Dic**	0,14	0,17	0,12	0,06	**Dic**	0,08	0,10	0,06	0,04
Ene	2,36 a	2,53 a	2,40 a	2,82 a	**Ene**	0,32	0,53	0,25	0,85	**Ene**	0,18	0,31	0,14	0,49
Feb	1,95 c	3,13 b	3,42 b	4,09 a	**Feb**	0,17	0,38	0,08	0,24	**Feb**	0,10	0,22	0,04	0,14
Mar	2,33 a	2,38 a	2,50 a	2,64 a	**Mar**	0,35	0,51	0,82	1,00	**Mar**	0,20	0,29	0,47	0,58
Abr	1,52 b	2,27 ab	2,71 a	3,05 a	**Abr**	0,40	0,14	0,22	0,37	**Abr**	0,23	0,08	0,13	0,21
May	2,42 c	2,64 c	3,33 b	3,95 a	**May**	0,14	0,23	0,11	0,23	**May**	0,08	0,14	0,06	0,13
Jun	2,67 d	4,01 c	4,75 b	5,55 a	**Jun**	0,27	0,17	0,17	0,15	**Jun**	0,16	0,15	0,10	0,09
Jul	2,84 c	3,09 c	3,73 b	4,38 a	**Jul**	0,43	0,10	0,04	0,09	**Jul**	0,25	0,06	0,02	0,05
Ago	2,59 d	4,03 c	4,98 b	5,51 a	**Ago**	0,07	0,12	0,22	0,01	**Ago**	0,04	0,07	0,13	0,01

Cuadro A.3. Variación de la producción de MS (ton/MS/ha) de *Lolium perenne* de acuerdo al tratamiento y a cada corte.

Corte	Promedio				Corte	Desviación Estándar				Corte	Error Estándar			
	0 ton/ha	10 ton/ha	20 ton/ha	30 ton/ha		0 ton/ha	10 ton/ha	20 ton/ha	30 ton/ha		0 ton/ha	10 ton/ha	20 ton/ha	30 ton/ha
16-11-2009	0,41 d	0,88 c	1,24 b	1,86 a	**16-11-2009**	0,05	0,19	0,23	0,23	**16-11-2009**	0,03	0,11	0,13	0,13
02-12-2009	0,33 d	0,92 c	1,44 b	1,85 a	**02-12-2009**	0,14	0,23	0,24	0,23	**02-12-2009**	0,08	0,13	0,14	0,13
17-12-2009	0,27 c	0,58 bc	0,87 b	1,35 a	**17-12-2009**	0,09	0,14	0,24	0,24	**17-12-2009**	0,05	0,08	0,14	0,14
15-01-2010	0,70 c	1,04 bc	1,40 b	2,50 a	**15-01-2010**	0,17	0,26	0,50	0,33	**15-01-2010**	0,10	0,15	0,29	0,19
03-02-2010	0,19 d	1,14 c	1,41 b	2,36 a	**03-02-2010**	0,07	0,19	0,38	0,21	**03-02-2010**	0,04	0,11	0,22	0,12
25-02-2010	0,25 c	0,91 b	0,84 b	1,62 a	**25-02-2010**	0,09	0,12	0,26	0,24	**25-02-2010**	0,05	0,07	0,15	0,14
18-03-2010	0,93 c	1,90 b	1,95 b	2,50 a	**18-03-2010**	0,23	0,21	0,16	0,40	**18-03-2010**	0,13	0,12	0,09	0,23
12-04-2010	0,07 d	0,60 c	1,00 b	1,65 a	**12-04-2010**	0,02	0,21	0,17	0,14	**12-04-2010**	0,01	0,12	0,10	0,08
24-05-2010	0,10 d	0,41 c	0,62 b	0,97 a	**24-05-2010**	0,05	0,10	0,10	0,12	**24-05-2010**	0,03	0,06	0,06	0,07
30-06-2010	0,09 d	0,40 c	0,74 b	0,98 a	**30-06-2010**	0,05	0,05	0,09	0,17	**30-06-2010**	0,03	0,03	0,05	0,10
03-08-2010	0,09 c	0,26 b	0,55 a	0,51 a	**03-08-2010**	0,03	0,07	0,07	0,09	**03-08-2010**	0,02	0,04	0,04	0,05
01-09-2010	0,08 d	0,35 c	0,68 b	0,91 a	**01-09-2010**	0,05	0,09	0,12	0,16	**01-09-2010**	0,03	0,05	0,07	0,09
22-09-2010	0,11 d	0,49 c	0,99 b	1,59 a	**22-09-2010**	0,05	0,17	0,16	0,17	**22-09-2010**	0,03	0,10	0,09	0,10

Cuadro A.4. Variación del número de macollos/m² de *Lolium perenne* de acuerdo al tratamiento y la época de conteo de macollos.

Dosis ton/ha	Numero de macollo/m²					
	19-04-2010			03-09-2010		
	Promedio	Desv. Estandar	Error Estándar	Promedio	Desv. Estandar	Error Estándar
0	1797 a	363,9	210,1	2333 b	650,5	375,6
10	3762 b	314,9	181,8	3583 ab	281,8	162,7
20	3238 b	300,7	173,6	3521 ab	1139,4	657,8
30	3108 b	340,2	196,4	4813 a	312,5	180,4

Cuadro A.5. Variación de la cobertura (%) de la pradera en cuanto a tratamiento y a la época de medición.

Dosis (ton/ha)	Cobertura (%)							
	19-04-2010				03-09-2010			
	Ballica perenne	Trébol	Especies residentes	Suelo	Ballica perenne	Trébol	Especies residentes	Suelo
0	56	26	12	6	55	27	12	10
10	73	7	10	10	80	5	9	6
20	70	4	11	15	81	1	11	7
30	68	3	13	16	84	1	10	5

Cuadro A.6. Temperatura promedio (°C) y Precipitación total mensual (mm) durante el periodo de evaluación del ensayo en la Estación Experimental Maquehue.

Mes	T °C Promedio	PP (mm)
ago-09	9	302
sep-09	8,1	102
oct-09	10	137
nov-09	9,7	89
dic-09	13	43
ene-10	14,5	43
feb-10	14,3	77
mar-10	13,9	59
abr-10	10	14
may-10	6,7	60
jun-10	8,2	194
jul-10	5,7	194
ago-10	7,8	181

*Datos proporcionados por CAID, Universidad de La Frontera, Temuco, 2010