

**UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y FORESTALES**



**EFFECTO DE LA PROPORCIÓN DE SEMILLA SEMBRADA SOBRE LA INCIDENCIA  
DE MALEZAS Y PRODUCTIVIDAD EN UN CULTIVO ASOCIADO DE LUPINO  
(*Lupinus albus* L.) - AVENA (*Avena sativa* L.), BAJO MANEJO ORGÁNICO**

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.

**JUAN CARLOS FERNÁNDEZ FERNÁNDEZ**

**TEMUCO – CHILE**

**2010**

**UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y FORESTALES**



**EFFECTO DE LA PROPORCIÓN DE SEMILLA SEMBRADA SOBRE LA INCIDENCIA  
DE MALEZAS Y PRODUCTIVIDAD EN UN CULTIVO ASOCIADO DE LUPINO  
(*Lupinus albus* L.) - AVENA (*Avena sativa* L.), BAJO MANEJO ORGÁNICO**

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.

**JUAN CARLOS FERNÁNDEZ FERNÁNDEZ**  
**PROFESOR GUÍA: ALIRO CONTRERAS NOVOA**

**TEMUCO – CHILE**

**2010**

**EFFECTO DE LA PROPORCIÓN DE SEMILLA SEMBRADA SOBRE LA INCIDENCIA  
DE MAEZAS Y PRODUCTIVIDAD EN UN CULTIVO ASOCIADO DE LUPINO  
(*Lupinus albus* L.) - AVENA (*Avena sativa* L.), BAJO MANEJO ORGÁNICO**

**PROFESOR GUÍA**

**: ALIRO CONTRERAS NOVOA  
ING. AGRÓNOMO, Dr.  
DPTO. CS. AGRONÓMICAS Y  
RECURSOS NATURALES**

**PROFESOR CONSEJERO**

**: RENÉ MONTALBA NAVARRO  
ING. AGRÓNOMO, Dr.  
DPTO. CS. AGRONÓMICAS Y  
RECURSOS NATURALES**

**CALIFICACIÓN PROMEDIO DE TESIS :**

**A mi Familia**

## AGRADECIMIENTOS

A mis queridos abuelos José del Carmen y Rosa Almonacid, a quienes llevo siempre conmigo. Por el gran amor que me entregaron, por formar el hombre que soy, por su incondicional apoyo y sacrificio.

A mi madre.

A mis tías Rosita, Elsa, Ester y tío Lalo.

Dar las gracias a Lorena Sepúlveda, la luz de mis ojos, la que con su sonrisa ah llegado a alegrar mi vida.

Un sincero agradecimiento a Don René Montalba, por su ayuda, apoyo y paciencia y también para aquellos profesores que me han orientado a lo largo de este camino.

Un reconocimiento muy especial y sincero agradecimiento a Loreto Andrea Gómez Meier, la razón de mi vivir, motivo de mi existir. Agradecer por su incansable cariño y amor entregado, su apoyo incondicional, comprensión y fortaleza para seguir alentándome día a día en este largo camino que hemos recorrido.

A José Alex, mi hermano del alma.

A mis compañeros y amigos.

Y por sobre todo a Dios, por darme la oportunidad de disfrutar de esta hermosa vida y de todo lo bueno que me ha sabido entregar.

## CONTENIDO DE MATERIAS

<b>Capítulo</b>		<b>Página</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1	Hipótesis	3
1.2	Objetivo General	3
1.2.1	Objetivos Específicos	3
<b>2</b>	<b>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>4</b>
2.1	Agricultura ecológica	4
2.1.1	Agroecología	5
2.2	Agricultura Orgánica	6
2.3	Cultivos múltiples, cultivos asociados o policultivos	8
2.3.1	Biodiversidad y su importancia en los sistemas productivos	9
2.3.1.1	Biodiversidad versus monocultivo	10
2.3.2	Características de los cultivos múltiples	12
2.3.2.1	Efectos sobre el control de plagas y enfermedades	12
2.3.2.2	Efecto de los cultivos múltiples sobre las malezas	14
2.3.2.3	Estabilidad de la producción	15
2.3.2.4	El uso de recursos	15
2.3.3	Clasificación de los cultivos múltiples, asociados ó policultivos	16
2.3.4	Mecanismo de interacción entre plantas	19
2.3.4.1	Competencia	19
2.3.4.2	Competencia por el factor luz	20
2.3.4.3	Alelopatía	21
2.3.5	Modelos experimentales de la asociación de plantas cultivadas	22

2.3.5.1	Experimentos substitutivos o de series de reemplazo	23
2.3.5.2	Medición agronómica de los cultivos múltiples, asociados ó policultivos	24
2.3.5.2.1	Indicadores de competencia interespecífica	24
2.3.5.2.2	Indicadores de productividad en los cultivos asociados	24
2.4	Antecedentes sobre el cultivo de lupino ( <i>Lupinus albus</i> L.)	26
2.4.1	Antecedentes Generales	26
2.4.2	Características Agronómicas	27
2.4.3	Plagas y Enfermedades	28
2.4.4	Lupino y su utilización como cultivo asociado	29
2.5	Antecedentes sobre el cultivo de la avena ( <i>Avena sativa</i> L.)	30
2.5.1	Antecedentes Generales	30
<b>3</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>31</b>
3.1	Ubicación del ensayo	31
3.2	Características edafoclimáticas del sitio del ensayo	31
3.2.1	Suelo	31
3.2.2.	Clima	31
3.2.3	Vegetación	32
3.3	Manejo agronómico	32
3.3.1	Especies y cultivares	32
3.3.2	Preparación de suelo	32
3.3.3	Siembra	33
3.4.	Análisis de suelo	33
3.5	Diseño experimental	35
3.5.1	Tratamientos	35
3.6	Trabajo en terreno	36
3.6.1	Establecimiento del ensayo	36
3.6.2	Toma de muestras	36

3.6.2.1	Evaluación del nivel de enmalezamiento	36
3.6.3	Cosecha	36
3.6.3.1	Medición del rendimiento	37
3.6.4	Razón de Equivalencia de la Tierra	37
3.7	Análisis estadístico	37
<b>4</b>	<b>PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	<b>39</b>
4.1	Comportamiento de los parámetros productivos	39
4.1.1	Rendimiento de granos ( $q\text{q}\text{mha}^{-1}$ ), del cultivo asociado lupino-avena y sus respectivos cultivos puros.	39
4.1.2	Índice de comportamiento de cultivo múltiple para la variable rendimiento de granos	41
4.1.3	Producción de materia seca ( $\text{tonha}^{-1}$ ), del cultivo asociado lupino-avena y sus respectivos cultivos puros	43
4.1.4	Índice de comportamiento de múltiple para la variable producción de materia seca.	44
4.1.4	Índice de enmalezamiento	47
4.1.4.1	Producción y número de malezas.	47
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	
<b>6</b>	<b>RESUMEN</b>	
<b>7</b>	<b>SUMMARY</b>	
<b>8</b>	<b>LITERATURA CITADA</b>	

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro N°		Página
1	Definición de los patrones de cultivos múltiples	18
2	Terminología utilizada en sistemas de cultivos múltiples	19
3	Análisis de suelo obtenido de un sector del Módulo Orgánico del Centro Experimental Maquehue, perteneciente a la Universidad de La Frontera	34
4	Dosis de semilla utilizada para cada tratamiento, en el establecimiento asociado de lupino-avena y sus respectivos cultivos puros, expresados en kg ha <sup>-1</sup>	35
5	Rendimiento de granos (qqmha <sup>-1</sup> ), rendimiento relativo y rendimiento asociado (qqmha <sup>-1</sup> ), para las especies avena ( <i>Avena sativa</i> L.) y lupino ( <i>Lupinus albus</i> L.) establecidas en asociación bajo manejo orgánico.	39
6	Índice de comportamiento en cultivos múltiples, para la asociación lupino-avena. Índice de agresividad (A); Razón de equivalencia del suelo (LER) e Índice comparativo rendimiento-área (ICRA) para el rendimiento de granos (qqmha <sup>-1</sup> )	41
7	Producción de materia seca (tonha <sup>-1</sup> ), producción relativa y producción de materia seca total asociada (tonha <sup>-1</sup> ), para las especies de avena ( <i>Avena sativa</i> L.) y lupino ( <i>Lupinus albus</i> L.) establecidas en asociación manejo orgánico	43
8	Índice de comportamiento en cultivos múltiples, para la asociación lupino-avena. Razón de equivalencia de la tierra (LER) e Índice comparativo rendimiento-área (ICRA) en la producción de materia seca (tonha <sup>-1</sup> ).	44
9	Efecto de los tratamientos y sus respectivos testigos en el nivel de enmalezamiento del cultivo establecido lupino-avena, bajo manejo orgánico.	47

## 1. INTRODUCCIÓN

El incremento de la población humana ha contribuido a la intervención del hombre en los ecosistemas naturales para conseguir sus alimentos, aumentando a medida que la población ha crecido hasta llegar a nuestros días a niveles de intervención que ponen en peligro la estabilidad del planeta. Es por eso que resulta de suma importancia desarrollar e implementar nuevas estrategias de siembra que permitan el desarrollo de una agricultura más sustentable, basándose en prácticas no contaminantes que logren disminuir la aplicación indiscriminada de productos químicos. Una alternativa que resulta de gran interés, es la utilización de sistemas de siembra que involucran más de una especie establecida simultáneamente.

En muchos lugares del mundo, especialmente en los países en desarrollo, los agricultores realizan sus siembras en combinaciones (cultivos múltiples, policultivos, cultivos mixtos ó cultivos asociados) más que en cultivos de una sola especie (monocultivos ó cultivos puros).

Las asociaciones de cultivo, como suele llamarse a esta técnica ancestral, corresponde al establecimiento y posterior crecimiento de dos o más especies en forma simultánea, durante toda o parte del ciclo de vida del cultivo. El establecimiento de cultivos asociados corresponde a una práctica comúnmente utilizada por los pequeños agricultores, lo que les permite una mayor utilización del terreno, un menor riesgo de pérdida total por cualquier factor de estrés físico o enfermedades de una de las especies, proveer estabilidad en la producción y una mejor distribución del trabajo durante el año .

Los cultivos asociados pueden comprender combinaciones de cultivos anuales con otros anuales, anuales con perennes o perennes con perennes. Los cereales pueden cultivarse asociados a leguminosas y los cultivos de raíces asociados a frutales. Los cultivos asociados se pueden sembrar en forma espaciada, desde la combinación simple de dos cultivos en hileras intercaladas hasta asociaciones complejas de doce o más siembras entremezcladas. Los componentes de un

cultivo asociado pueden sembrarse en la misma fecha o en otra diferente y la cosecha de los distintos cultivos puede ser simultánea o a intervalos.

Hasta hace unos años, los investigadores agrícolas, en general, ignoraban las características que definían a los cultivos asociados. Sin embargo, la investigación ha ido en aumento y muchos de los beneficios potenciales de estos sistemas se han hecho más evidentes. La enorme variedad de cultivos asociados refleja la gran diversidad de cosechas y prácticas de manejo que usan los agricultores en todo el mundo para suplir las necesidades de alimento, vestimenta, combustible, medicamentos, materiales de construcción, forraje y dinero.

La asociación de una gramínea con una leguminosa presenta características complementarias, siendo en América Latina muy importantes las asociaciones de caña de azúcar con frejol, sorgo con frejol, soya con maíz y maíz con frejol siendo ésta última la más común, con un 80% del frejol y un 50% del maíz producido bajo alguna forma de asociación.

En nuestro país, se está adoptando la modalidad de establecer especies en asociación, por los múltiples beneficios que presenta y también como una manera de conservar la biodiversidad, a través de un manejo orgánico del suelo, tratando de respetar lo más fielmente posible los procedimientos de cultivos completamente naturales.

De acuerdo a la información entregada se realizó el ensayo de un cultivo asociado establecido al voleo, constituido por la asociación de lupino y avena, con sus respectivos testigos. Los tratamientos consistieron en distintas proporciones de semilla sembrada de ambas especies. Bajo este contexto, como hipótesis de trabajo se postula:

**Existe una proporción de semilla, de ambas especies, ideal para obtener el mejor rendimiento de la asociación y el menor enmalezamiento del cultivo.**

Para dar cumplimiento a la hipótesis de trabajo se plantearon los siguientes objetivos:

## **1.2 Objetivo General**

Evaluar un sistema de cultivo asociado, lupino-avena, establecido al voleo bajo manejo orgánico, para identificar la proporción de semilla sembrada con una mayor complementariedad en el uso de recursos en términos de rendimiento y nivel de enmalezamiento.

### **1.2.1 Objetivos Específicos**

Determinar la mejor proporción de semilla para la asociación lupino-avena, bajo manejo orgánico.

Obtener la eficiencia relativa del uso del suelo de la asociación de cultivos, de acuerdo a sus distintas proporciones de semilla sembrada.

Determinar el nivel de enmalezamiento de los distintos tratamientos de acuerdo a la proporción de semilla sembrada.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Agricultura Ecológica.

La agricultura ecológica abarca una perspectiva integral de la agricultura, siendo considerada una agricultura más sensible a los ciclos naturales y a las interacciones biológicas que aquellos métodos de la agricultura convencional (Altieri, 1999).

La agricultura alternativa o ecológica, como suele llamarse frecuentemente, se conforma a partir de un postulado fundamental, cual es el incorporar en su estructura técnico productivo todo el conjunto tecnológico disponible, comenzando por el rescate y la valorización del soporte tecnológico de la agricultura tradicional y culminando con el apoyo que brinda la más moderna biotecnología (Altieri, 1983).

Los principios de la agricultura ecológica, se basan en la diversificación y el trabajo a favor de las leyes de la naturaleza, fortaleciendo el desarrollo integral del agricultor y la relación con su entorno, a través del aprovechamiento sostenible de los recursos existentes (energía solar, agua, suelo), agricultura sostenible, integrándose aspectos positivos de la interacción biológica entre cultivos, plagas y predadores. (Altieri, 1995).

La agricultura sostenible se refiere a un modo de agricultura que intenta proporcionar rendimiento sostenido a largo plazo, mediante el uso de tecnologías de manejo para mejorar la eficiencia biológica del sistema manteniendo la capacidad productiva del agroecosistema, la preservación de la biodiversidad y la capacidad del mismo para mantenerse y autorregularse (Gliessman, 2002a).

La agricultura alternativa se despliega en diversas áreas de la producción e incluso forma parte de las prácticas agrícolas convencionales (Altieri, 1995).

### **2.1.1. Agroecología.**

El uso contemporáneo del término agroecología data de los años 70, pero la ciencia y la práctica de la agroecología son tan antiguas como los orígenes de la agricultura misma (Altieri, 1995).

La agroecología es una disciplina científica que enfoca el estudio de la agricultura desde una perspectiva ecológica y se define como un marco teórico cuyo fin es analizar los procesos agrícolas desde el punto de vista holístico, es decir, considerando todos los factores del ambiente. Se basa en los principios ecológicos para el diseño y manejo de sistemas agrícolas sostenibles y de conservación de recursos ofreciendo muchas ventajas para el desarrollo de tecnologías más favorables para el agricultor (Altieri, 2003).

El enfoque agroecológico considera los ecosistemas agrícolas como unidades fundamentales de estudio y en estos sistemas los ciclos minerales, las transformaciones de la energía, los procesos biológicos y las relaciones socioeconómicas son consideradas como un todo, logrando la sustentabilidad por medio de la optimización de los agroecosistemas (Altieri, 1983).

La agroecología va más allá de una mirada unidimensional de los agroecosistemas, de su genética, agronomía, edafología. Ésta abarca un entendimiento de los niveles ecológicos y sociales de la coevolución, la estructura y funcionamiento de los sistemas (Altieri, 1995).

Por lo anterior, el término agroecología a llegado a significar muchas cosas, incorporando ideas con un enfoque más ligado al medio ambiente y más sensible socialmente, porque implica

un número de características sobre la sociedad y la producción que van mucho mas allá de los límites del predio agrícola (Altieri, 1990)

Las diversas prácticas para la aplicación de los principios agroecológicos en el proceso de producción agrícola, son variadas y no siempre de aplicación universal, cada agroecosistemas responde de diferente manera frente a las metas, aspiraciones, cultura y conocimientos del hombre y de sus acciones específicas. En general, no bastará con desarrollar una técnica, para proteger y conservar el suelo, el agua u otro factor de producción, sino más bien, combinar diversas técnicas agrícolas como por ejemplo: cubiertas vegetales, incorporación de materia orgánica, asociación de cultivos, entre otras (Altieri, 1999) .

## **2.2. Agricultura Orgánica.**

Según la Comisión del *Codex Alimentarius* (FAO), citado por Bastidas (2007), corresponde a un sistema global de gestión de la producción que fomenta y realza la salud de los agroecosistemas, promueve los ciclos, la diversidad y actividad biológica del suelo. Esto se consigue aplicando métodos agronómicos, biológicos y mecánicos, en contraposición a la utilización de materiales sintéticos, para desempeñar cualquier función específica dentro del sistema.

La agricultura orgánica también llamada biológica, es un sistema de prácticas agronómicas basadas en la agroecología, que involucra todos los parámetros productivos sin la utilización de insumos químicos, con un enfoque integral del predio y el medio ambiente, todo bajo un marco de ecosistema sustentable, lográndose como resultado la producción de alimentos sanos (Altieri, 1995).

Según la IFOAM (Federación Internacional de Movimientos de Agricultura Orgánica), define la agricultura orgánica o ecológica como “todos los sistemas agrícolas que promueven la producción sana y segura de alimentos y fibras textiles desde el punto de vista ambiental, social y económico. Estos sistemas parten de la fertilidad del suelo como base para una buena producción, respetando las exigencias y capacidades naturales de las plantas, los animales y el paisaje. Busca optimizar la calidad de la agricultura y el medio ambiente en todos sus aspectos. La agricultura orgánica reduce considerablemente las necesidades de aportes externos al no utilizar abonos químicos ni plaguicidas u otros productos de síntesis. En su lugar permite que sean las poderosas leyes de la naturaleza las que incrementen tanto los rendimientos como la resistencia de los cultivos. Lo anterior concuerda con lo expuesto por Contreras (2000), donde señala que el objetivo principal es alcanzar a largo plazo, una productividad sostenida sobre la base de la conservación y/o recuperación de los recursos naturales.

La agricultura orgánica se basa principalmente en el aprovechamiento adecuado de los recursos existentes localmente. En un sistema de producción orgánica, se busca potenciar los ciclos naturales del ecosistema, y por lo tanto, es el resultado de la interacción dinámica del suelo, plantas, animales, seres humanos y el medio ambiente, para lo cual utilizan equipos modernos, semillas certificadas y distintas prácticas de conservación del suelo y agua (Roberts 1992, citado por Altieri 1999).

Muchas de las técnicas utilizadas por la agricultura orgánica, como por ejemplo, los cultivos intercalados, el acolchado, la asociación de cultivos y ganadería, se practican en otros tipos de agricultura, incluyendo la convencional. Obviamente, esto no es suficiente para considerarlas como agricultura orgánica propiamente tal (Altieri, 1983).

### **2.3. Cultivos múltiples, cultivos asociados ó policultivos.**

En la búsqueda de nuevos métodos para incrementar la productividad agrícola, se han propuesto sistemas de cultivos en los cuales a través de todo el año o parte de él, el campo contiene no tan solo cultivos puros, sino comunidades de cultivos (Trenbath, 1976).

Es así como en muchos lugares del mundo, especialmente en los países en desarrollo, los agricultores realizan sistemas de siembras en combinaciones, mas que en cultivos de una sola especie, reflejando la gran diversidad de cosechas y prácticas de manejo que usan los agricultores en todo el mundo para suplir las distintas necesidades (Altieri citado por Liebman, 1997).

Las asociaciones de cultivos, cultivo múltiple, mixtos o sistemas de policultivos, son sistemas en los cuales dos o más especies de vegetales se establecen con suficiente proximidad espacial para dar como resultado una competencia interespecífica y/o complementaria entre ellos. Estas interacciones pueden tener efectos inhibidores o estimulantes en los rendimientos (Altieri, 1983). Los componentes de estas mezclas son generalmente cultivos de diferentes especies, pero también del mismo genotipo en diferente estado fenológico (Trenbath, 1976).

Las asociaciones de cultivos se corresponden con la dimensión horizontal de la diversidad ecológica en un agroecosistema (Gliessman, 2002a), es decir, existe la presencia conjunta durante un tiempo de más de un cultivo en el mismo espacio. El policultivo es una estrategia habitual de los sistemas agrícolas tradicionales de todo el mundo (Liebman, 1997) que se justifica, entre otras razones, por su mayor eficiencia en el uso de los recursos naturales (suelo, agua y energía). Pero además de los servicios ecológicos, el policultivo proporciona una dieta rica y diversa durante todo el año, otorga estabilidad en las producciones, minimiza los riesgos (ya que si algún cultivo sufre daños, los demás pueden compensar la pérdida) y permite aumentar la rentabilidad con bajos niveles de tecnología (Francis *et al.* 1976, Harword 1979a, en Altieri, 1997).

**2.3.1. Biodiversidad y su importancia en los sistemas productivos.** El comportamiento óptimo de los sistemas de producción agrícola dependen del nivel de interacciones entre sus varios componentes (Altieri, 1997).

El término biodiversidad hace referencia al conjunto de plantas, animales y microorganismos que viven e interaccionan en un ecosistema (Wilson, 1998 citado por Sanz, 2007). Este es uno de los grandes principios en que se basa la agroecología para mantener la sustentabilidad de los agroecosistemas, y consiste básicamente en dejar la aplicación de cultivos puros y práctica en la agricultura moderna, e instaurar aquellas que aumenten la diversidad (Altieri y Nicholls 1995).

El aumento de la diversidad favorece la diferenciación de hábitat, incrementa las oportunidades de coexistencia y de interacción entre especies y generalmente lleva asociado una mayor eficiencia en el uso de los recursos (Sanz, 2007).

La biodiversidad agrícola es fundamental para la producción de alimentos y la seguridad alimentaria mundial. En los agroecosistemas es especialmente importante el mantenimiento de la diversidad biológica, desde los genes (recursos genéticos), especies utilizadas y el ecosistema tanto para la producción de alimentos como para la conservación de las bases ecológicas que aseguran la vida y el sustento de la población (Liebman, 1997).

A través del mundo, los sistemas agrícolas difieren en edad, diversidad, estructura y manejo. De hecho, existe una gran variabilidad en los modelos ecológicos y agronómicos básicos que caracterizan los variados agroecosistemas dominantes. En general, el grado de biodiversidad en un agroecosistema depende de cuatro características principales:

- la diversidad de la vegetación dentro y alrededor del agroecosistema.
- la permanencia de los diversos cultivos dentro del agroecosistema.
- la intensidad en el manejo.
- el grado de aislamiento del agroecosistema de la vegetación natural.

En general, los agroecosistemas más diversos, permanentes, aislados y manejados con tecnología de bajo insumo (Ej. sistemas agroforestales; policultivos tradicionales), toman una completa ventaja del trabajo efectuado generalmente por procesos ecológicos asociados con una mayor biodiversidad, que aquellos altamente simplificados, de alto insumo y alterados (Ej. monocultivos y frutales).

Entre estos elementos destaca el manejo de la biodiversidad cultivada a través de la implementación de sistemas mixtos de cultivo. Una alta diversidad biológica en el sistema agrícola es la manera de conseguir interacciones benéficas, que llevan al desarrollo de propiedades emergentes, tales como la estabilidad y la sustentabilidad (Gliessman, 2002b), aportando múltiples servicios ecológicos, como son el reciclaje de nutrientes, el control del microclima local, el control de insectos perjudiciales (por ejemplo, sirviendo de refugio a enemigos naturales) (Altieri M. y Nicholls C., 1994) o la eficiencia en el uso del agua y la conservación del suelo (Casado *et al.*, 2000).

El término biodiversidad no solo se relaciona con la agroecología o agricultura orgánica, también se utiliza dentro de sistemas tradicionales o intensivos del tipo revolución verde, donde el concepto está orientado al manejo de bordes y zonas sin valor productivo (Gálvez *et al.*, 2007, citado por Ulloa, 2008).

**2.3.1.1. Biodiversidad versus monocultivo.** De acuerdo a Altieri (1987), la agricultura implica la simplificación de la biodiversidad y ésta alcanza una forma extrema en los monocultivos. El resultado final es una producción artificial que requiere de una constante intervención humana. En la mayoría de los casos, esta intervención ocurre en la forma de insumos de agroquímicos, los cuales, además de aumentar los rendimientos, resultan en una cantidad de costos ambientales y sociales indeseables.

Es un hecho que la agricultura actual es impresionantemente dependiente de un conjunto de variedades pertenecientes a sus cultivos principales. El resultado neto de la simplificación de la

biodiversidad para propósitos agrícolas es un ecosistema artificial que requiere de la intervención humana constante (Altieri, 1995).

A modo de ejemplo Altieri (1995), indica algunos procesos llevados a cabo como la preparación comercial de la cama de semillas y siembra mecanizada que reemplazan a los métodos naturales de dispersión de semillas; los pesticidas químicos al control natural de poblaciones de malezas, insectos y agentes patógenos; y la manipulación genética a los procesos naturales de evolución y selección de las plantas. También indica que aún la descomposición es alterada por la cosecha; la fertilidad del suelo es mantenida, no a través del reciclaje de nutrientes, sino por medio de fertilizantes.

Por otro lado, la biodiversidad promueve una variedad de procesos de renovación y servicios ecológicos en los agroecosistemas; cuando éstos se pierden, los costos pueden ser significativos (Altieri, 1990).

Con el progreso de la modernización agrícola, los principios agroecológicos son continuamente desestimados. Como consecuencia, los agroecosistemas modernos son inestables y sus quiebres se manifiestan como rebotes recurrentes de plagas en muchos sistemas de cultivos y también en forma de salinización, erosión del suelo y contaminación de aguas. La teoría sugiere que la interferencia en las mezclas será más severa entre plantas muy parecidas (monocultivos) que entre plantas que difieran en su hábito de crecimiento (Altieri, 1995).

Según Altieri y Letourneau (1982), los monocultivos son la causa principal del empeoramiento de la mayoría de los problemas de plagas, relacionado experimentalmente con la expansión de éstos, a expensas de la diversidad vegetal, la cual a menudo provee servicios ecológicos claves para asegurar la protección de los cultivos. Por otro lado, los monocultivos en oposición a la biodiversidad, son ambientes difíciles para inducir una operación eficiente de enemigos naturales debido a que carecen de recursos adecuados (polen, néctar, insectos neutrales) para el desempeño óptimo de depredadores y parásitos, y porque en general se usan

prácticas e insumos químicos que los afectan negativamente. Bajo este contexto, los policultivos, poseen condiciones que favorecen a los enemigos naturales.

En estos sistemas la elección de plantas a asociarse, incluyendo plantas en floración, o plantas que mantienen poblaciones bajas de insectos neutrales o plantas que proveen refugio, pueden ejercer cambios claves en la diversidad del hábitat lo que a su vez conlleva a un mejoramiento en el número y efectividad de enemigos naturales (Vandermeer, 1981).

### **2.3.2. Características de los cultivos múltiples**

De acuerdo a Altieri citado por Jara (1995), los sistemas de cultivos múltiples, corresponden a sistemas en los cuales dos o más especies de plantas se establecen con suficiente proximidad espacial, para dar como resultado una competencia interespecífica y/o complementaria.

La esencia de los cultivos múltiples es la intensificación de la producción de cosechas en una tercera y una cuarta dimensión (Sánchez, 1991).

Cuando se utiliza el diseño correcto en la asociación de cultivos, surgen una serie de ventajas potenciales, provocando efectos en la dinámica de la población de insectos plaga, supresión de malezas, mejor uso de los nutrientes presentes en el suelo y un mejoramiento en la productividad por unidad de superficie (Altieri, 1983).

**2.3.2.1 Efectos sobre el control de plagas y enfermedades.** Los sistemas de cultivos múltiples o policultivos, se consideran una estrategia para aumentar los rendimientos e ingresos ante las limitaciones de recursos. Los policultivos permiten que el agricultor utilice más eficientemente el suelo y otros recursos disponibles, además de contribuir al manejo integrado de plagas, al

aumentar la biodiversidad de los agroecosistemas. La selección de los cultivos dependerá de diversos factores como la duración del ciclo vegetativo, hábito de crecimiento, formas de las hojas, eficiencia biológica, adaptación al ecosistema, entre otros (Liebman, 1997). Esta técnica aplicada adecuadamente, permite el uso eficiente del espacio, absorción de nutrientes, control de plagas, cobertura vegetal y rendimiento alterno de productos para el agricultor.

Una de las características de los policultivos, es el efecto que provoca la diversidad de plantas sobre la población de los insectos plagas, logrando una disminución en las mismas, por lo que este sistema puede ser considerado como un componente valioso en el manejo integrado de plagas, pues reduce la vulnerabilidad del mismo; además disminuye la contaminación ambiental al reducir las aplicaciones de productos químicos.

El hecho de que las asociaciones de cultivos sea un elemento limitador de la incidencia de plagas, enfermedades y malezas, constituye un mecanismo de mucho valor a considerar en sistemas de producción, bajo los principios de la agricultura sostenible, por las reducciones que se pueden hacer de estos elementos y así evitar el uso indiscriminado de productos químicos (Altieri, 1995).

La evidencia experimental sugiere que en los agroecosistemas modernos la biodiversidad puede utilizarse para el manejo óptimo de plagas (Altieri y Letourneau, 1982). Esto último es posible gracias a que los ambientes más diversos son capaces de cumplir los siguientes requisitos (Altieri, 1992):

1. Proveer de huéspedes/presas alternativas en momentos de escasez de la plaga huésped.
2. Proveer de alimentación (polen y néctar) para los parasitoides y depredadores adultos.
3. Proveer de refugios para la hibernación y nidificación de enemigos naturales.
4. Mantener poblaciones aceptables de la plaga por períodos extendidos de manera de asegurar la sobrevivencia continua de los insectos benéficos

**2.3.2.2 Efecto de los cultivos múltiples sobre las malezas.** El control de malezas es una de las labores agrícolas que más necesita del uso de mano de obra y de productos químicos. Comparados con los sistemas de siembra en monocultivos, los policultivos parecen ofrecer muchas más opciones para mejorar el control de malezas con un menor uso de mano de obra, menos productos químicos y bajos costos (Liebman, 1997).

Un análisis de la literatura sobre policultivos versus malezas llevado a cabo por Liebman y Dyck (1993), comparó el crecimiento de malezas en policultivos con los monocultivos referente a las especies componentes. Como resultado obtuvo un mayor control de malezas, aumento en los rendimientos y además un incremento en los coeficientes equivalentes de la tierra.

En experimentos realizados en India, Shetty y Roo (1981), citado por Liebman 1997, descubrieron que al añadir cultivos de caupí o frijol mungo a cultivos principales de sorgo o guandul, la maleza crecía menos en la primera temporada y disminuía de dos a uno el número de desmalezados manuales necesarios para lograr altas producciones.

Algunos investigadores han dado a entender que los policultivos pueden suprimir el crecimiento de malezas más eficazmente que los monocultivos debido a un uso mayor de los recursos, dado que muchos policultivos explotan en proporción superior los recursos disponibles de agua, nutrientes y luz en comparación a los monocultivos (Liebman, 1997).

Junto con lo anterior, se ha demostrado que la densidad del cultivo, la elección de las especies y variedades, la disposición espacial y el régimen de fertilizaciones afectan las interacciones policultivo/malezas (Moody y Shetty (1981) citado por Liebman 1997, Liebman (1987), Liebman y Dick 1993).

**2.3.2.3 Estabilidad de la producción.** En sistemas agrícolas donde la subsistencia es el objetivo principal, reducir el riesgo de perder totalmente la cosecha parece ser tan importante como aumentar el potencial nutricional y las ganancias económicas (Altieri, 1999). La variabilidad en la producción de policultivos de cereales/leguminosas puede ser menor que la de sus componentes como monocultivos. Por consiguiente, la probabilidad de no tener nada para comer o vender es aparentemente menor cuando se utilizan combinaciones de cultivos. De hecho, se ha demostrado que para una determinada área de tierra, la probabilidad de que una familia deje de producir las calorías suficientes para subsistir es menor cuando ésta área se encuentra sembrada con un policultivo de sorgo/guandul que cuando lo está con los mismos componentes, pero éstos como monocultivo Trenbath 1983, citado por Altieri 1999.

Trenbath (1976) sugiere que puede haber una compensación productiva entre los componentes del policultivo, de manera que si uno de estos falla debido a una sequía, plaga u otro factor, se podría compensar al aumentar la productividad del otro componente.

**2.3.2.4 El uso de recursos.** Algunos autores citados por Liebman, (1997), mencionan que entre los componentes de los policultivos ocurre una especie de compensación en los rendimientos, de modo que la pérdida de uno de ellos por factores adversos, es compensado con el incremento en el rendimiento del otro componente, por lo que se puede decir con propiedad que las ventajas en el rendimiento con este sistema, sistema de cultivos mixtos, son muy superiores a los que ocurre en un monocultivo, debido a una mayor eficiencia en el uso de recursos disponibles.

El rendimiento puede medirse como producción de materia seca, cantidad de granos, absorción de nutrientes, producción de energía o de proteína, así como el valor de las cosechas en el mercado (Rendimiento relativo total). La sumatoria de los rendimientos relativos, determinará la ventaja o desventaja relativa de los sistemas intercalados (Altieri, 1983).

### 2.3.3. Clasificación de los Cultivos múltiples, cultivos asociados ó policultivos

Los cultivos múltiples se pueden sembrar en forma espaciada, desde la combinación simple de dos cultivos en hileras intercaladas hasta asociaciones complejas de doce o más siembras entremezcladas. Los componentes de un policultivo pueden sembrarse en la misma fecha o en otra diferente; la cosecha de los distintos cultivos puede ser simultánea o a intervalos (Liebman, 1997).

Los policultivos pueden comprender combinaciones de cultivos anuales con otros anuales, anuales con perennes o perennes con perennes. Los cereales pueden cultivarse asociados a leguminosas y los cultivos de raíces asociados a frutales. Como resultado se genera una relación entre dos organismos, que están lo suficientemente cerca para interactuar entre si, pudiendo ser de tres tipos: el efecto de uno sobre el otro puede ser positivo (estimulante), negativo (depresivo) o neutral (sin efecto) y viceversa (Liebman, 1997).

De acuerdo a Hart (1974), citado por Jara (1995), los policultivos se pueden clasificar como sigue:

- a) **Policultivo comensalístico:** interacción entre las especies de cultivo con un efecto positivo neto sobre una especie y ninguna sobre la otra.
  
- b) **Policultivo amensalístico:** la interacción entre las especies de cultivos tiene un efecto negativo en una especie y ningún efecto observable en la otra. Por ejemplo: plantas anuales intercaladas entre plantas perennes.

- c) **Policultivo monopolístico:** la interacción entre las especies de cultivos tiene un efecto positivo neto en una especie y un efecto negativo neto en la otra. Por ejemplo, el uso de cultivos de cobertera en huertos.
  
- d) **Policultivos inhibitorios:** la interacción entre los cultivos tiene un efecto negativo neto sobre todas las especies.

El manejo de cultivos asociados, es básicamente, el diseño de combinaciones espaciales y temporales de cultivos en un área. En el diseño y manejo de estos sistemas, una estrategia es minimizar la competencia por los distintos factores de crecimiento y maximizar la complementación entre las especies de la mezcla. Cuando los dos organismos no están lo suficientemente cerca para interactuar, no existe el efecto del uno sobre el otro (Altieri, 1983).

Jara (1995), propone una clasificación de los cultivos múltiples de acuerdo al grado de intensificación en tiempo y espacio. En el **cuadro 1** se muestra un sistema de clasificación en el cual se hace una distinción importante entre cultivos intercalados y cultivos secuenciales.

### **Cuadro 1.** Definición de los patrones de cultivos múltiples

<b>Tipos de cultivos</b>	<b>Definición</b>
Cultivos múltiples	Intensificación de los cultivos en tiempo y espacio. Dos o más cultivos se siembran en la misma área.
Cultivos intercalados	Siembra de dos o más cultivos simultáneamente en el mismo campo al año. La intensificación del cultivo es tanto en dimensiones de tiempo como en espacio.
Cultivos intercalados mixtos	Siembra de dos o más cultivos simultáneamente sin arreglo en hileras.
Cultivos intercalados por hileras	Siembra de dos o más cultivos simultáneamente con uno o varios cultivos en hileras.
Cultivos intercalados por franjas	Siembra de dos o más cultivos simultáneamente en diferentes franjas lo suficientemente anchas para permitir cultivos independientes, pero lo bastante angostas para permitir que los cultivos interactúen entre sí.
Cultivos intercalados de relevo	Siembra de dos o más cultivos simultáneamente durante parte del ciclo de vida de cada uno.
Cultivos secuenciales	Siembra de dos o más cultivos en secuencia en el mismo campo por año. La intensificación es sólo en la dimensión tiempo.

**Fuente:** Andrews y Kassam (1976), citado por Sánchez, (1991).

El **cuadro 2** define términos adicionales que se utilizan en relación con los sistemas de cultivos múltiples.

**Cuadro 2.** Terminología utilizada en sistemas de cultivos múltiples.

<b>Terminología</b>	<b>Definición</b>
Cultivo Puro	Siembra de una sola especie con densidad normal, sinónimo de cultivo único o cultivo solo.
Monocultivo	Siembra repetida del mismo cultivo en el mismo terreno
Rotación	Siembra repetida de dos o más cultivos puros o asociados en el mismo terreno.
Cultivo mixto	Sistema de cultivos en el que se incluyen cultivos y animales o simplemente una mezcla de cultivos.
Rendimiento Relativo Total (RRT)	Suma de rendimientos de cultivos intercalados dividida por el rendimiento del cultivo puro.
Razón de Equivalencia de la Tierra (RET)	Razón del área necesaria con un cultivo puro a la necesaria con cultivos múltiples para obtener cantidades iguales de rendimiento con los mismos niveles de manejo.

**Fuente:** Andrews y Kassam (1976), citado por Sánchez, (1991).

### **2.3.4 Mecanismos de interacción entre plantas**

**2.3.4.1 Competencia.** La competencia en mezclas entre diferentes genotipos de la misma o de distinta especie puede diferir de la competencia en monocultivo y ser vista como la competencia entre organismos diferentes (Vandermeer, 1990).

Todas las plantas requieren los mismos recursos de luz, dióxido de carbono, agua y nutrientes, a excepción de las leguminosas, que son capaces de usar el nitrógeno tanto de la atmósfera como del suelo. El recurso más limitante en una situación competitiva se diagnostica fácilmente en casos extremos, por ejemplo, cuando el agua y los nutrientes son abundantes, se puede deducir la competencia por luz. Sin embargo, existen interacciones cuando se encuentran más de un recurso en niveles de suministro deficitarios (Donahue *et al.*, 1988).

De acuerdo a una definición condensada dada por Donald (1958) citado por Loomis y Connor, 1992, competencia ocurre cuando cada uno de los dos organismos o más buscan cantidades deseables del factor de crecimiento en cuestión y la disponibilidad de dicho factor se encuentra por debajo la demanda combinada. La mayoría de las definiciones de competencia toman en consideración que las plantas compiten por factores de crecimiento, tales como agua, nutrientes, luz, oxígeno y dióxido de carbono.

**2.3.4.2 Competencia por el factor luz.** Cuando la superficie fotosintética (hojas y/o tallos verdes) se establece de manera más alta que la especie adyacente, el primero interceptará una mayor cantidad de luz. Esto ha demostrado ser válido tanto para cultivos puros, como para cultivos mixtos (Baker & Meyer, 1966; Puckridge & Donald, 1967, citados por Trenbath, 1976). En consecuencia, en cultivos mixtos en los que las condiciones del suelo son buenas, por lo que existe sólo competencia por luz, pequeñas diferencias en altura, incluso al principio del crecimiento, pueden producir fuertes efectos de competencia por este factor limitante (Negro, 1958, citado por Trenbath, 1976).

Donald (1963), indica que además existe una estrecha relación entre la inclinación de las hojas y la cantidad de luz interceptada, presentándose diferencias aún entre las especies más altas. Sin embargo, a pesar que la especie más alta de la mezcla influirá negativamente reduciendo la tasa de fotosíntesis de aquellas especies que se encuentren por debajo de ellas, éstas seguirán creciendo adecuándose a los bajos niveles de luz. Es así, como las especies de menor tamaño se

adaptarán, modificando tallos, para alcanzar mayor altura; hojas, incrementando su índice de área foliar. Aquellas que no logren hacerlo por la poca disponibilidad de luz, reducirán la tasa de fotosíntesis dando paso a la senescencia.

Algunos autores no incluyen en la definición de competencia, la posibilidad de que las plantas al crecer pudiesen afectar o cambiar el ambiente de su vecino, a través de la extracción de las fuentes, afectando la temperatura, la velocidad del viento y la interacción existente con otros organismos tales como insectos, microbios y nematodos (Trenbath, 1976).

**2.3.4.3 Alelopatía.** El término alelopatía fue introducido y definido por Molish (1939), citado por Morales (2006), como “un fenómeno vegetal natural que involucra la producción de compuestos químicos, los que son excretados al ambiente, pudiendo causar un efecto benéfico o perjudicial sobre el crecimiento de otra planta que vive en el mismo hábitat o en otro cercano”.

La alelopatía se define como el daño, directo o indirecto, o los efectos benéficos que una planta o un microorganismo puede ejercer sobre el desarrollo de otras plantas que crecen en su proximidad; sin embargo, a la fecha la mayoría de los efectos alelopáticos son considerados como inhibitorios de alguna etapa de desarrollo de alguna planta (Doll, 1989).

Los efectos producidos pueden generarse a través de cambios en el ambiente producidos por la adición de factores químicos, generándose una interferencia en donde las sustancias químicas liberadas por la planta o sus residuos afectan al crecimiento de las plantas vecinas. La interferencia, por la adición de estos factores, implica que el suministro de recursos para ser usados en un cierto lugar, es inferior a la capacidad colectiva de plantas distribuidas de manera más próxima en el espacio. Los términos de interferencia y competencia se usan indistintamente en referencia a los fenómenos de incremento de la población (Putman y Tang, 1986, citados por Loomis y Connor, 1992).

Este tipo de competencia ha tenido un largo proceso evolutivo, provocado por el desarrollo en los vegetales de numerosas rutas de biosíntesis, a través de las cuales sintetizan y acumulan en sus órganos una gran variedad de metabolitos secundarios. A estas sustancias se les denomina aleloquímicos y el fenómeno en el cual están involucrados se designa con el nombre de aleloquimia Anaya *et al.*, (2001), citado por Morales (2006).

Es así como este fenómeno afecta al crecimiento y desarrollo de las plantas que son expuestas a aleloquímicos An *et al.*, (2000) citado por Morales (2006).

De acuerdo a Mejías (1995), este fenómeno se puede manifestar a través de una inhibición o por otra parte una estimulación de los procesos de crecimiento de las plantas vecinas, evitando la acción de insectos y animales comedores de hojas.

En la agricultura estas relaciones aleloquímicas se pueden establecer a nivel de cultivos sobre cultivos, malezas sobre malezas, malezas sobre cultivos, autoalelopatía y cultivos sobre malezas. Esta última interacción es utilizada como una herramienta para el manejo de malezas, pudiendo ser uno de los usos más prácticos en los agroecosistemas (Ormeño, 1997).

### **2.3.5. Modelos experimentales de la asociación de plantas cultivadas.**

Es común en este tipo de estudio de asociaciones experimentales, manejar indistintamente los conceptos de densidad como proporción de siembra. Para ello existen dos tipos de diseños experimentales: los aditivos y los sustitutivos. No tener claro los conceptos anteriores provoca confusión y hace difícil la interpretación coherente de los resultados (Chávez *et al.*, 2004).

En los experimentos aditivos la densidad de una de las especies se mantiene constante, en tanto que la densidad de la especie acompañante se hace variar. Este tipo de experimento tiene

una importancia obvia, puesto que semejan muchas condiciones de campo donde la especie cultivada con densidad constante, es invadida en el área que ocupa por otras especies; las malezas (Harper, 1977, citado por Chávez *et al.*, 2004).

De acuerdo a Chargoy (2004), los experimentos sustitativos o de series de reemplazo, por el contrario, varían las proporciones de siembra sin cambiar la densidad, siendo el método utilizado para este ensayo y que se describirá a continuación.

**2.3.5.1. Experimentos sustitativos o de series de reemplazo.** La mayoría de los estudios relacionados a determinar cómo reaccionan las plantas a la densidad, se han hecho evaluando una sola especie. Estudios experimentales de crecimiento de especies en mezclas involucran densidades variables de la mezcla y la composición proporcional. Estos estudios donde existe más de una especie son difíciles de analizar, debido a que la densidad total y las proporciones se confunden (Chargoy, 2004).

Los experimentos sustitativos son aquellos en los cuales dos especies A y B se siembran en proporciones variables mientras se mantiene la densidad constante y son analizados bajo el método de las series de reemplazo. Este diseño supera los problemas antes mencionados y son recomendados para el estudio de interacciones planta-planta. Los resultados de los experimentos de series de reemplazo se basan en la contribución de cada especie al rendimiento total de la mezcla, en el contexto de la composición proporcional. Por lo tanto, el rendimiento relativo total de la asociación (RRT) estará dado por la suma de sus rendimientos relativos (RT) y será directamente comparable al uso equivalente de la tierra para cultivos múltiples, donde valores mayores a 1 indicarán sobreproducción del sistema. Es importante para obtener valores de sobreproducción, realizar la combinación correcta de asociación, generando una mínima competencia por los distintos factores de crecimiento e interferencia entre las especies asociadas (Loomis y Connor, 1992).

### **2.3.5.2 Medición agronómica de los cultivos múltiples, asociados o policultivos.**

**2.3.5.2.1 Indicadores de competencia interespecífica.** Dependiendo del estudio, existe un fuerte debate para la evaluación de las asociaciones de cultivos, ya que desde el punto de vista agronómico se han usado indicadores de productividad para conocer los efectos de algunas variables sobre el rendimiento, sin embargo, se mencionan que desde el punto de vista biológico se obtienen mayores elementos con indicadores de competencia interespecífica para identificar el funcionamiento de las asociaciones de cultivos y de ahí explicar los efectos en los rendimientos obtenidos (Connolly *et al.*, 2001).

**2.3.5.2.2. Indicadores de productividad en los cultivos asociados.** Para la medición agronómica de la eficiencia en el rendimiento de los cultivos múltiples, se utilizan varios indicadores propuestos por de Wit, 1960 citado por Chargoy (2004). Para el cálculo de la eficiencia en la productividad en la asociación de cultivos, se determinó lo siguiente:

- a) **Eficiencia Relativa de la Tierra o Razón de superficie Equivalente (LER).** Indica el número de hectáreas bajo un cultivo puro necesarias para producir un rendimiento igual a una hectárea en asociación. Se ha generalizado el uso de este índice tomando la suma de los rendimientos relativos de los cultivos que componen la asociación, lo que originalmente era expresado como el Rendimiento Relativo Total (RRT). Cuando el valor es igual o menor 1, significa que no existen ventajas de la asociación sobre el cultivo puro. Por el contrario si el valor es mayor a 1, se asume que existe complementariedad en la mezcla (Trenbath, 1976).

Se calcula de la siguiente forma:

$$\mathbf{LER} = \sum (\text{Rendimiento del cultivo asociado} / \text{Rendimiento del cultivo puro})$$

b) **Índice Comparativo de Rendimiento-Área.** Se obtiene mediante la expresión:

$$\mathbf{ICRA} = r (X_i + X_j) / (Y_i + Y_j)$$

Donde r es el coeficiente de compensación,  $X_i$  es el rendimiento de la i-ésima especie en asociación e  $Y_i$  es el rendimiento de la misma i-ésima especie en monocultivo.

Este coeficiente nos indica una medida efectiva del rendimiento conjunto (cultivos asociados), conocido en la ecología como biomasa. Esta proporción define relativamente el rendimiento obtenido, en superficies comparables, por especies o variedades que se cultivan asociadas respecto a las mismas que se cultivan solas. Si el valor obtenido es igual o menor a 1, no existe ventaja de la asociación con respecto al cultivo puro (Chargoy, 2004).

## **2.4 Antecedentes sobre el cultivo de lupino (*Lupinus albus* L.).**

**2.4.1 Antecedentes Generales.** El lupino pertenece a la familia Fabaceae y se cultiva desde hace 2000 años, siendo originario del mediterráneo y de los valles del río Nilo, donde fueron destinados para alimentación humana (Faiguenbaum, 2004 citado por Riffo, 2006). El grano se consumía después de hervido y remojado durante varios días para eliminar los alcaloides que le otorgaban el sabor amargo (Von Baer, 1986), por lo cual, a pesar de ser una especie bien conocida, su difusión como cultivo se ha visto restringida (Peñaloza *et al.*, 1995).

Como cultivo, toma una especial relevancia por dos razones: debido al incremento en la población mundial, cultivándose aquellas plantas de importancia en la dieta humana y animal, y en segundo lugar para aumentar la productividad de suelos sembrados actualmente, pues implementar nuevos terrenos para hacerlos productivos es demasiado costoso Carrasco (1991), citado por Jara (1995)

El lupino es una planta leguminosa, semi arbustiva, de hojas compuestas. Presenta tallos gruesos, de estructura mas bien leñosa hacia la madurez (Polhill, 1985, citado por Lobos, 2007). Posee niveles óptimos de aceite, entre 18% a 20% de lo que requieren las industrias extractoras y contenido proteico similar al de la soya Carrasco 1991, citado por Jara 1995.

Puede llegar a una altura de 1,5 metros, posee inflorescencias en racimos terminales entre 10-60 centímetros de largo, con flores blancas de auto polinización, pero también se consiguen polinizar por insectos. El hábito de crecimiento es epigeal, en muchos casos se utiliza como abono verde, ya que tiene la capacidad de prosperar en suelos ligeramente ácidos donde otras leguminosas tienden a fallar. (INTERACTIVE EUROPEAN NETWORK FOR INDUSTRIAL CROPS AND THEIR APPLICATIONS, IENICA, 2002, citado por Riffo, 2006).

Se destaca la capacidad que posee el lupino para mejorar y mantener el suelo, siendo la leguminosa de mayor fijación de nitrógeno, moviliza el fósforo y otros elementos y mejora la estructura del suelo (Carrasco 1991 citado por Jara, 1995).

Von Baer (1990), menciona al lupino como una de las leguminosas que más se destaca por presentar las siguientes características:

- Resistencia a heladas, llegando a tolerar temperaturas de hasta  $-9^{\circ}\text{C}$ , dependiendo de la variedad.
- Capacidad de movilización de fósforo y otros elementos fijados en el suelo, mediante un complejo sistema de exudados cítricos a nivel radical, permitiendo que los elementos queden a disposición no tan solo para el cultivo, sino también para los que le siguen.
- Mejora la estructura física de los suelos por medio de sus raíces pivotantes.
- A diferencia de otras leguminosas de grano, el lupino en plena madurez se mantiene erecto, permitiendo una trilla directa.
- Posee una alta eficiencia en la fijación de Nitrógeno atmosférico.

El principal uso del lupino se relaciona con la alimentación de animales rumiantes, especialmente bovinos, ya sea en forma de forraje verde o de grano introducido en la dieta como suplemento proteico. El lupino también se utiliza en la nutrición humana, aprovechando sus altos contenidos de proteína y aceite (Faiguenbaum, 2003).

**2.4.2 Características Agronómicas.** Según lo señalado por Romero (1993), citado por Faiguenbaum (2003), las producciones de lupino en Chile se enmarcan dentro de los sistemas agrícolas, principalmente como producción de grano o forraje, siendo esta última modalidad

adoptada principalmente por los predios lecheros. En menor medida se establece como abono verde en la conservación de suelos.

De acuerdo a Von Baer (1990), el lupino debe sembrarse en lo posible como parte de una rotación, principalmente por romper el ciclo de enfermedades de los cereales, además de potenciar el rendimiento del cereal que sucede al lupino. En general el rendimiento de los cereales que siguen al lupino en la rotación pueden ser 30% superior al rendimiento de un cereal que siga después de otro cereal Nelson & Hawthorne (1997), citado por Riffo (2006).

El exceso de humedad provoca una asfixia del sistema de fijación de nitrógeno, además acelera los procesos de enfermedades fungosas, por lo que se recomienda el establecimiento en suelos que presente un buen drenaje (Von Baer, 1990).

**2.4.3 Plagas y Enfermedades.** El control de plagas comienza con la siembra, por lo que esta no debe ser muy profunda. Se debe tener especial cuidado en establecer el lupino en terrenos que no hayan sido fertilizados con guano, pues se genera un fuerte ataque de *Hylemia platura* (Meigen), la que provoca heridas causando descalce por heladas y penetración de patógenos del suelo a la planta (Von Baer, 1990).

De acuerdo a Von Baer (1990), el control de enfermedades debe comenzar con medidas preventivas, a través de la rotación de cultivos y utilizando semilla certificada.

Las enfermedades de mayor importancia en Chile son de carácter fungoso y son uno de los principales factores que limitan el rendimiento del cultivo, por las importantes pérdidas que puede ocasionar y por la dificultad que reviste su control. La mancha café, causada por el hongo *Pleiochaeta setosa* (Kichn), se presenta atacando todos los órganos aéreos de la planta y muy tempranamente se pueden ver manchas de color café en los cotiledones. Dependiendo del nivel de lesión, estos se desprenden de la planta, constituyéndose en fuentes de dispersión de la enfermedad (Faiguenbaum, 2003).

La antracnosis, por su parte, causada por el hongo *Colletotrichum gloesporoides* Penz., corresponde a la enfermedad de mayor importancia en nuestro medio. Se puede observar temprano después de la emergencia y los síntomas típicos se presentan a inicios o durante la floración, a través de lesiones necróticas particularmente en el tallo, aunque también se puede observar en hojas y eventualmente en vainas (Faiguenbaum, 2003).

**2.4.4 Lupino y su utilización como cultivo asociado.** El lupino se presenta como un cultivo con múltiples usos, interviniendo de diversas formas en los sistemas de producción agrícola, entre los que destaca: la producción de grano o forraje en rotaciones de cultivo, abono verde, conservación de suelos, establecimiento de sistemas forestales, praderas permanentes de aprovechamiento directo por el ganado López y Fuentes, (1991) citado por Lobos (2007).

Sin embargo existen reportes de su uso asociado a otras especies. Gross (1982) en un informe para la FAO sobre investigaciones realizadas en el Perú, señala que es tradicional intercalar lupino con quinua o maíz en hileras entremezcladas. Por otro lado, de acuerdo a Hackbarth y Troll (1960), citado por Jara (1995), señalan que el lupino asociado a especies estivales de cereales han dado buenos resultados.

En Chile, se han realizado estudios evaluativos en donde el lupino asociado a distintas especies de cereales ha dado buenos resultados, disminuyendo la incidencia de enfermedades y plagas. Además, es utilizado en asociación con especies arbóreas, mejorando la estructura del suelo, contribuyendo a disminuir los problemas de erosión (Jara, 1995).

## **2.5 Antecedentes sobre el cultivo de la avena (*Avena sativa* L.).**

**2.5.1. Antecedentes Generales.** La avena esta representada en el país fundamentalmente por dos especies: *Avena sativa* L. y *Avena strigosa* L. (Faiguenbaum, 2003). Las avenas cultivadas tienen su origen en Asia Central, la historia de su cultivo es más bien desconocida, aunque parece confirmarse que este cereal no llegó a tener importancia en épocas tan tempranas como el trigo o la cebada, ya que antes de ser cultivada la avena fue una maleza de estos cereales ( Faiguenbaum, 2003).

De acuerdo a Beratto y Rivas, (1967) corresponde a una planta que se desarrolla bien en climas templados fríos y relativamente húmedos. Requiere agua principalmente en sus primeros estadios de desarrollo, esto hace que tenga un buen crecimiento en Chile de Aconcagua al sur. Tolera suelos ácidos (Beratto, 1968; Beratto *et al.*, 1973, citado por Hechenleitner, 1991), pero no tolera los excesos de humedad en invierno y en cualquier otro momento. En esta condición detiene su crecimiento y la coloración de las hojas se torna clorótica. Las temperaturas muy bajas suelen dañar la parte vegetativa, que con frecuencia toma tonalidades rojizas.

Puede ser intercala a otros cereales, lo que permite sembrarla año por medio, interrumpiendo el ciclo de enfermedades radiculares (Demagnet *et al.*, 1996).

La avena es una especie que se desarrolla bien en climas templados fríos y relativamente húmedos (Guiñez, 1993, citado por Chávez, 2004). Prospera bien en suelos con fertilidad regular a buena, delgados a profundos y de diferentes texturas. No tolera los excesos de humedad.

En cuanto a su utilización, Soto, 1996; Águila, 1997; Claro, 1998; González y Claro, 2002, citados por Chávez, 2004, señalan que es altamente flexible dentro de los sistemas productivos. Se utiliza como talajeo directo, para consumo temprano en otoño o tardío en invierno, en forma de soiling, heno, grano o ensilaje. También corresponde a una especie que se puede establecer asociada, y en el caso de ensilaje se puede asociar a *Vicia spp.*

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 Ubicación del ensayo**

El ensayo de campo fue desarrollado durante la temporada agrícola 2006-2007 y se llevó a cabo en el módulo orgánico del Campo Experimental Maquehue perteneciente a la Universidad de La Frontera, Provincia de Cautín, Novena Región de la Araucanía, Chile. Se ubica a 15 kilómetros de Temuco y pertenece a la zona agroecológica del Llano Central ubicado entre los 38° 50' Latitud Sur y 72° 42' Longitud Oeste (Rouanet, 1982).

#### **3.2 Características edafoclimáticas del sitio del ensayo**

**3.2.1 Suelo.** El campo experimental presenta una topografía simple con pendientes dominantes de 1-3 % y una fisiografía fluvio-glacial. Presenta una densidad aparente igual a 0,82 g/cc correspondiente a un trumao Andisol de la Serie Freire (Mella & Kühne, 1985). Su textura es media y de color pardo amarillento. Son suelos delgados a moderadamente profundos de buen drenaje (Besoain, 1985).

**3.2.2 Clima.** El clima de este sector, según Koeppen, citado por el Atlas Geográfico de Chile (1985), corresponde a un clima templado lluvioso con corta estación de sequía, con un promedio anual de precipitación de 1200 mm de agua caída. Presenta un período libre de heladas de cuatro meses y temperaturas promedios anual de 12°C, con mínimas medias en el mes más frío de 1,9°C y máximas medias en los meses más cálidos de 23,5° C.

**3.2.3 Vegetación.** El sitio del ensayo se encuentra rodeado de formaciones arbustivas y semi arbustivas, cuyas especies dominantes pertenecen al género *Nothofagus*. Esto origina la formación de una cortina vegetal protectora que ayuda a aislar el sitio de la contaminación con productos químicos generada por la deriva al momento de su aplicación.

### **3.3 Manejo Agronómico**

**3.3.1 Especies y cultivares.** Para la realización del ensayo se usaron las siguientes especies, de acuerdo a las características que presentan cada una de ellas en particular, lupino blanco (*Lupinus albus* L.) cultivar Multolupa y avena (*Avena sativa* L.) cultivar Nehuen-INIA.

**3.3.2 Preparación de suelo.** Se preparó el terreno para obtener una adecuada cama de semilla. El manejo del ensayo se realizó sin la utilización de fertilizantes.

Para cumplir con el objetivo se realizaron las labores de preparación de suelo por medio de dos pasadas de motocultivador, con el objeto de mullir el suelo e incorporar el rastrojo presente correspondiente a la siembra anterior (papas), proporcionando las condiciones necesarias para

que las semillas puedan germinar y desarrollarse como plantas adultas con las menores dificultades posibles.

Las malezas no fueron controladas por medio de ningún método. Posteriormente se procedió a contar el número de éstas, presentes en cada parcela, las que fueron clasificadas como malezas de hoja angosta y hoja ancha.

**3.3.3. Siembra.** La siembra se realizó en forma manual, el 27 y 28 de Agosto de 2006. El método de establecimiento fue al voleo, para lo cual se utilizaron dosis referenciales de 120 kg ha<sup>-1</sup> de lupino y 180 kg ha<sup>-1</sup> de avena.

#### **3.4. Análisis de suelo**

Anterior a la siembra se realizó un análisis de suelo con fines informativos, con el objeto de tener un parámetro nutricional del sitio del ensayo. El muestreo de suelo para el análisis químico fue de 0-20 cm de profundidad y se realizó con la ayuda de una pala y una picota. Se realizó un muestreo por cada unidad experimental, posteriormente se procedió a homogeneizar la muestra obtenida para ser envasada en doble bolsa de polietileno, en la que se etiquetaron los siguientes datos: fecha de muestreo, sitio de muestreo y nombre muestreador.

**Cuadro 3.** Análisis de suelo obtenido de un sector del Módulo Orgánico del Centro Experimental Maquehue, perteneciente a la Universidad de La Frontera.

---

	Unidades
NUTRIENTES	
N (mg/kg)	34
P (mg/kg)	31
K (mg/kg)	379
pH (en agua)	5,88
Materia Orgánica (%)	14
K (cmol+/kg)	0,97
Na (cmol+/kg)	0,15

---

---

Ca (cmol+/kg)	7,1
Mg (cmol+/kg)	1,57
Al (cmol+/kg)	0,05
Saturación de Aluminio (%)	0,51
CICE (cmol+/kg)	9,84
Suma de Bases (cmol+/kg)	9,79

---

**Fuente:** Laboratorio de suelos, Instituto de Agroindustria. Universidad de La Frontera, Temuco (2006).

### **3.5 Diseño experimental.**

**3.5.1 Tratamientos.** La realización del ensayo tuvo como objetivo evaluar el rendimiento de un sistema de cultivos asociados de lupino más avena en diferentes proporciones de semilla y el nivel de incidencia de malezas. Para lo cual, como se muestra en el cuadro 4, se aplicaron 5 tratamientos con cuatro repeticiones. Los tratamientos testigos fueron cultivos puros de cada

especie; 100% lupino y 100% avena (100L y 100A) respectivamente, 75% de lupino y 25% de avena (75L25A), 50% de lupino y 50% de avena (50L50A) y por último 25% de lupino y 75% de avena (25L75A).

**Cuadro 4.** Dosis de semilla utilizadas por cada tratamiento, en el establecimiento asociado de lupino-avena y sus respectivos cultivos puros, expresadas en  $\text{kg ha}^{-1}$ .

Tratamientos	Dosis de semilla ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	
	Lupino	Avena
100L	120	---
75L25A	90	45
50L50A	60	90
25L75A	30	135
100A	---	180

\* Fuente elaborada por el autor

### 3.6 Trabajo en terreno.

**3.6.1 Establecimiento del ensayo.** Cumplido con el objetivo de la preparación del suelo, se procedió a establecer en forma definitiva cada una de las unidades. Las parcelas fueron marcadas y contaron con una superficie de  $20 \text{ m}^2$  cada una, separadas por un pasillo de 1 metro de ancho. La separación de cada parcela se consiguió con la utilización de estacas de madera de 0.50 metros

de longitud, cavadas a una profundidad de 20 centímetros. Cada unidad experimental se cercó con cinta plástica, obteniéndose como resultado 20 unidades experimentales.

### **3.6.2 Toma de muestras**

**3.6.2. Evaluación del nivel de enmalezamiento.** Se muestreó, en forma totalmente al azar,  $2\text{m}^2$  de cada parcela, y se recolectaron las malezas presentes en las distintas repeticiones por cada tratamiento, las que se identificaron, para su efecto, como malezas de hoja angosta y malezas de hoja ancha, y fueron trasladadas en envases de papel para ser secadas al horno por 72 horas a  $65^\circ\text{C}$ , y con ello obtener la materia seca.

**3.6.3 Cosecha.** Para la toma de la muestra, ésta se realizó completamente al azar, a través del método del cuadrante, el cual consiste en la utilización de un cuadrado de  $1 \times 1$  metro que delimita un espacio determinado dentro de un sitio en estudio. Se realizaron dos muestreos por parcela.

Se cosechó, en forma manual, una superficie de  $2\text{m}^2$  por parcela, para la asociación establecida. Cada muestra fue cortada por medio de una hoz y guardada en sacos para su posterior trilla. Se utilizaron sacos diferenciados por cada tratamiento, donde se alojaron las muestras colectadas.

**3.6.3.1 Medición del rendimiento.** El rendimiento se evaluó en quintales métricos por hectárea ( $\text{qqmha}^{-1}$ ) considerando que 1 quintal métrico corresponde a 100 kg de grano. Se separó la

semilla de la planta por método manual y fue apartada por medio de la utilización de harneros, luego se procedió a secar las muestras en horno por 48 horas a 65°C y una vez retiradas, fueron inmediatamente pesadas, obteniéndose de este modo el peso seco de las semillas y materia seca de las plantas en cada uno de los tratamientos.

Para evaluar la materia seca, al final del ensayo se cosechó 2m<sup>2</sup> de cada una de las parcelas. Una vez cosechada la planta entera, se llevó al horno de secado por 72 horas a 65°C, luego de lo cual las muestras fueron pesadas.

**3.6.4 Razón de Equivalencia de la Tierra (LER).** Como se mencionó anteriormente, también se conoce como complementariedad y se evaluó este parámetro para determinar la eficiencia biológica del modelo de cultivo asociado en relación al monocultivo. Este parámetro evaluativo indica el número de hectáreas de monocultivo que son necesarias para producir un rendimiento igual a una hectárea de cultivo en asociación. Esto es:

$$\text{LER} = \sum (\text{Rendimiento del cultivo asociado} / \text{rendimiento del monocultivo})$$

Esta razón, es una medida del grado con que las especies comparten y utilizan diferentes recursos escasos cuando crecen juntos. Si los componentes utilizan exactamente los mismos recursos limitantes, entonces compiten plenamente o están en plena competencia y no expresan complementariedad de recursos.

Es decir:

LER > 1 Complementariedad

LER = 1 Plena competencia

LER < 1 Amensalismo (Alelopatía) o mutuo antagonismo

**3.7 Análisis estadístico.** El diseño experimental corresponde a un modelo completamente al azar, con cinco tratamientos y cuatro repeticiones. Los resultados se analizaron por análisis de varianza (ANDEVA), y cuando se detectaron diferencias significativas entre medias, se aplicó el método de rango múltiple de Tukey, con un nivel de significancia del  $p < 0.05$ .

## 4. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 4.1 Comportamiento de los parámetros productivos

**4.1.1 Rendimiento de granos ( $qqmha^{-1}$ ), del cultivo asociado lupino-avena y sus respectivos cultivos puros.** En el cuadro 5 se presentan el rendimiento de granos ( $qqmha^{-1}$ ) obtenido en la asociación lupino-avena para cada una de las especies establecidas y sus respectivos cultivos puros, rendimiento relativo y rendimiento asociado ( $qqmha^{-1}$ ).

**Cuadro 5.** Rendimiento de granos ( $qqmha^{-1}$ ), rendimiento relativo y rendimiento asociado ( $qqmha^{-1}$ ), para las especies avena (*Avena sativa* L.) y lupino (*Lupinus albus* L.) establecidas en asociación bajo manejo orgánico.

Tratamientos	Rendimiento de grano ( $qqmha^{-1}$ )		Rendimiento relativo		Rendimiento asociado ( $qqmha^{-1}$ )
	Lupino	Avena	Lupino	Avena	
100L (testigo)	21.19	---	1	---	21.19 Aa
75L25A	17.88	7.44	0.84	0.23	25.32 Ba
50L50A	11.56	9.75	0.55	0.30	21.31 Ca
25L75A	7.44	19.88	0.35	0,61	27.32 Da
100A (testigo)	---	32.63	---	1	32.63 Ea

Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas, con probabilidad de error de 5%.

Los valores obtenidos en el rendimiento conjunto de la asociación lupino-avena, no presentan diferencias significativas para los tratamientos y sus respectivos cultivos puros. Sin embargo como se puede apreciar, los tratamientos asociados tuvieron mayor productividad que el cultivo puro de lupino, no así para el cultivo puro de avena (100A) el cual fue superior, alcanzando 32,63 qqmha<sup>-1</sup>.

La literatura indica que los cultivos asociados presentan mayor productividad que sus cultivos puros, pero es importante destacar que dicha productividad también está relacionada a la proporción de siembra asociada Hall (1974a), citado por Jara, (1995).

Esta disminución en el rendimiento asociado en comparación a sus monocultivos, es atribuible a cierto grado de competencia entre las especies establecidas.

#### 4.1.2 Índice de comportamiento del cultivo múltiple para la variable rendimiento de granos.

Estos índices permiten comparar la productividad bajo cultivos puros con rendimientos obtenidos en sistemas de cultivos múltiples.

**Cuadro 6.** Índice de comportamiento en cultivos múltiples, para la asociación lupino-avena. Razón de equivalencia del suelo (LER) e Índice comparativo rendimiento-área (ICRA) para el rendimiento de granos ( $\text{qqmha}^{-1}$ ).

Tratamientos	ÍNDICE DE COMPORTAMIENTO RELATIVO	
	LER	ICRA
100L	---	---
75L25A	1,07 Ba	0,98 Bab
50L50A	0,85 Ca	0,78 Cbc
25L75A	0,96 Da	0,55 Dcd
100A	---	---

Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas, con probabilidad de error de 5%.

En el cuadro 6 se aprecia el comportamiento de los cultivos en asociación para el rendimiento de granos ( $\text{qmqmha}^{-1}$ ), razón de equivalencia de la tierra (LER) e índice comparativo rendimiento-área (ICRA).

Para la asociación, se aprecia complementariedad en el uso de recursos para el tratamiento 75L25A ( $\text{LER} > 1$ ), aunque no presenta diferencias estadísticamente significativa con los tratamientos restante. Lo anterior significa que existe una eficiencia en el uso del recurso suelo en beneficio de la asociación, cuando la proporción de semilla sembrada es equivalente a un 75 % de lupino y 25 % de avena. Lo anterior se puede atribuir al suministro considerable de nitrógeno fijado por parte de la leguminosa.

El tratamiento 25L75A presenta un LER de 0,96 por encima del tratamiento 50L50A. Entonces, considerando lo anterior, se atribuye este efecto a la avena, que presentó un índice de agresividad mayor que el lupino cuando la proporción de semilla sembrada corresponde a un 25% de lupino y un 75% avena.

El índice comparativo rendimiento-área con un mayor valor absoluto, estadísticamente significativo, se obtiene en el tratamiento 75L25A ( $\text{ICRA} = 0.98$ ), corroborando la capacidad competitiva que posee el lupino, y la eficiencia en el uso del suelo para la proporción de semilla sembrada de 75% lupino y 25% de avena. Este coeficiente nos indica una medida efectiva del rendimiento conjunto, conocido en la ecología como biomasa. Sin embargo, a pesar que el ICRA del tratamiento 75L25A fue el mayor, de acuerdo a lo citado por Chargoy (2004), pues al ser menor a 0, no presentaría ventaja de la asociación respecto a sus cultivos puros.

**4.1.3 Producción de materia seca (tonha<sup>-1</sup>), del cultivo asociado lupino-avena y sus respectivos cultivos puros.** En el cuadro 6 se muestran los valores alcanzados por los distintos tratamiento y sus respectivos cultivos puros, para la producción de materia seca expresadas en tonha<sup>-1</sup> por especie y en conjunto.

**Cuadro 7.** Producción de materia seca (tonha<sup>-1</sup>), producción relativa y producción de materia seca total asociada (tonha<sup>-1</sup>), para las especies de avena (*Avena sativa* L.) y lupino (*Lupinus albus* L.) establecidas en asociación bajo manejo orgánico.

Tratamientos	Producción de Materia Seca (tonha <sup>-1</sup> )		Producción Relativa de Materia Seca		Producción de Materia Seca Total cultivo asociado (tonha <sup>-1</sup> )
	Lupino	Avena	Lupino	Avena	
100L (testigo)	2,50		1	---	2,50 Aa
75L25A	2,06	0,46	0.83	0.28	2,52 Ba
50L50A	1,68	0,42	0.67	0.26	2,10 Ca
25L75A	0,78	0,41	0.31	0.25	1,19Da
100A (testigo)	---	1,63	---	1	1,63 Ea

Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas, con probabilidad de error de 5%.

Para la producción de materia seca del cultivo asociado, no se presentaron diferencias estadísticamente significativas, sin embargo, se muestra una leve tendencia al alza en el tratamiento 75L25A, con una producción total de materia seca de 2,52 tonha<sup>-1</sup>, donde se destaca la mayor producción respecto a sus cultivos puros. Lo anterior concuerda con estudios realizados por Kerrigan (1984), citado por Jara (1995), donde obtuvo la mayor cantidad de materia seca total en maíz híbrido intercalado a frejol tórtola, siendo mayor que la misma variedad sembrada sola.

**4.1.4 Índice de comportamiento de múltiple para la variable producción de materia seca.** En el cuadro 8, se muestran los índices de comportamientos para la producción de materia seca.

**Cuadro 8.** Índice de comportamiento en cultivos múltiples, para la asociación lupino-avena. Razón de equivalencia del suelo (LER) e Índice comparativo rendimiento-área (ICRA) en la producción de materia seca (tonha<sup>-1</sup>)

Tratamientos	ÍNDICE DE COMPORTAMIENTO RELATIVO	
	LER	ICRA
100L	---	---
75L25A	1,10 Bab	2,22 Bab
50L50A	0,93 Cab	2,06 Ccab
25L75A	0,57 Ddb	1,61 Ddb
100A	---	---

Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas, con probabilidad de error de 5%.

Esto significa que el lupino, que a pesar de encontrarse en desventaja en la asociación establecida, de acuerdo a las distintas proporciones de siembra, sigue siendo más competitivo que la avena y se atribuye a la capacidad de su sistema radical de profundizar el perfil del suelo y aprovechar de mejor manera, los nutrientes en solución presentes en el.

Se observa además, el índice de equivalencia en el uso de la tierra para la producción de materia seca, la que alcanzó valores estadísticamente significativos para el tratamiento 75L25A, con un valor de 1,10. Esto representa un 10 por ciento mayor de eficiencia respecto de sus cultivos puros, manifestando algún grado de complementariedad en el uso de recursos. Lo anterior también se puede interpretar como que el sistema de cultivo múltiple fue un 10 por ciento más productivo que sus cultivos puros, o bien que el sistema asociado requiere un 10 por ciento menos de superficie para obtener una producción de materia seca semejante a las obtenidas por sus cultivos puros.

Los estudios de Hall (1974a), citado por Jara (1995), señalan que para que una leguminosa resulte beneficiosa, debe estar sembrada en proporciones adecuadas, y en presencia de suficientes nutrientes disponibles para ambos cultivos. Además menciona que al intercalar gramíneas con leguminosas en igual proporción, los valores del LER para la materia seca, aumentaron en aproximadamente 1.2. En cambio, cuando el 85 por ciento de las plantas fueron leguminosas, se obtuvieron valores máximos de LER para estos dos parámetros. En esta proporción la leguminosa puede suministrar cantidades considerables de nitrógeno fijado, que produjo los efectos máximos de la siembra asociada en términos de materia seca.

El índice comparativo rendimiento-área, confirma lo anterior, arrojando un valor de 2,22 para el tratamiento 75L25A, estadísticamente significativo respecto al menor valor de 1,61 para el tratamiento 25L75A.

Respecto al efecto que la asociación tiene sobre la producción de materia seca, Kerrigan 1984, citado por Jara 1995, sostiene que al obtener una mayor cantidad de materia seca total de un cultivo asociado, respecto a su cultivo puro, el efecto positivo es atribuido a una mejor captación

de la radiación solar del cultivo más competitivo. Lo que es corroborado por Bregante (1985), quien observó una tendencia a disminuir la producción de materia seca del cultivo menos competitivo (frejol) a medida que se aumentaba el grado de intercalamiento, atribuyendo esto a un efecto competitivo por luz (con el maíz) que influiría en forma perjudicial en la producción de frejol, considerando que el maíz es una planta alta y que el cultivo de frejol posee una hábito de crecimiento enano. En tal sentido en esta investigación la avena ( $A < 0$ ) fue menos competitiva que el lupino.

#### 4.1.4 Nivel de enmalezamiento

Con el propósito de buscar mayores antecedentes sobre la existencia o no de complementariedad de recursos que existe en el cultivo asociado, se realizó una cuantificación del número de malezas presentes en cada uno de los tratamientos al momento de la cosecha.

**4.1.4.1 Producción y número de malezas.** Se observa en el cuadro 9, el nivel de enmalezamiento alcanzado, expresado en materia seca total en los distintos tratamientos.

**Cuadro 9.** Efecto de los tratamientos y sus respectivos testigos en el nivel de enmalezamiento del cultivo establecido lupino-avena, bajo manejo orgánico

Tratamientos	Materia Seca de malezas (gm <sup>-2</sup> )
100L (testigo)	256,9 Aa
75L25A	206,3 Bab
50L50A	161,3 Cab
25L75A	130,0 Db
100A (testigo)	227,5 Eb

Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas, con probabilidad de error de 5%.

Como se puede apreciar, se observa claramente una tendencia a un mayor nivel de enmalezamiento en los cultivos que fueron sembrados puros, donde se presentan valores para el lupino y avena de 256,9 y 227,5  $\text{grm}^{-2}$  respectivamente. En cambio, en los tratamientos en que los cultivos fueron sembrados asociados, el nivel de enmalezamiento fue menor, alcanzando diferencias estadísticamente significativas.

Para los tratamientos asociados, se obtiene una producción de materia seca promedio de 165,8  $\text{grm}^{-2}$ , muy por debajo del promedio obtenido de los cultivos puros que alcanzan 242,0  $\text{grsm}^{-2}$ . Esto indicaría un efecto benéfico de la asociación de lupino y avena, sobre el grado de enmalezamiento de los distintos tratamientos.

De acuerdo a lo anterior, Von Baer (1990) indica que el lupino, por su alta capacidad de fijación de nitrógeno y movilización de Fosforo no disponible para otras plantas, presenta una marcada tendencia al enmalezamiento. La razón es que los nutrientes que libera, no solo se encuentran disponibles para él, sino que también quedan en la solución del suelo a libre disposición, siendo utilizados y aprovechados por el cultivo con el cual se encuentra asociado y las malezas. Esto concuerda con el mayor nivel de enmalezamiento observado en los tratamientos donde la proporción de lupino es mayor.

En cuanto al nivel de enmalezamiento menor presente en los tratamientos asociados respecto a sus cultivos puros, Altieri (1990), indica que estudios realizados en sistemas de cultivos mixtos, han presentado poblaciones menos desarrolladas de malezas, que los cultivos puros correspondientes.

Esto, a su vez corrobora lo planteado por Gliesman (1980) citado por Jara (1995), quien indica que en los sistemas de cultivos múltiples, el grado de cubrimiento de las canopias, mantienen el suelo cubierto durante la estación de crecimiento, sombreando a las malezas sensibles y minimizando las necesidades de su control. Además, la alelopatía, es un proceso que contribuye a aumentar la competitividad sobre las malezas, inhibiendo su germinación y crecimiento.

## 5. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en el presente ensayo y bajo las condiciones en que se realizó, permitieron obtener las siguientes conclusiones.

Los rendimientos obtenidos para la producción de granos expresados en  $\text{qqmha}^{-1}$ , no presentaron diferencias estadísticamente significativas en relación a las proporciones de semilla de las dos especies estudiadas. Sin embargo el tratamiento 75L25A, presenta un leve aumento respecto al cultivo puro de lupino, alcanzando  $21,19 \text{ qqmha}^{-1}$ .

El cultivo puro de avena presenta un rendimiento de  $32.63 \text{ qqmha}^{-1}$ , superior a los tratamientos asociados y al cultivo puro de lupino.

El tratamiento 75L25A ( $\text{LER} = 1.07$ ), presenta un RET superior a 1, significa que esta asociación en la proporción de semillas utilizadas es mejor que sus cultivos puros.

El sistema de cultivo múltiple, expresó una interacción complementaria para reducir el nivel de enmalezamiento, respecto a sus cultivos puros. En el tratamiento 25L75A las malezas se ven disminuidas y con ello se aprecia un aumento en el rendimiento que se atribuye a la mayor presencia de avena en la mezcla, presentando diferencias significativas.

Finalmente, de acuerdo a las distintas proporciones de semilla sembrada, se concluye, que el tratamiento 75L25A, es aquel que presenta ventajas, en comparación a sus cultivos puros y sus tratamientos. Ventajas en el rendimiento de granos y materia seca, mayor estabilidad en términos económicos y un  $\text{LER} > 1$ , con lo cual se confirman las ventajas de un cultivo asociado en comparación a sus cultivos puros o monocultivos.

## 6. RESÚMEN

Los cultivos múltiples, policultivos ó cultivos asociados, son una estrategia de diversificación espacial que es utilizada en la agricultura ecológica. Sin embargo, existe poco conocimiento de los cultivos asociados desarrollados tradicionalmente en la agricultura y cómo influye su proporción de semilla sembrada en la productividad y nivel de enmalezamiento sobre esta.

Por ello el presente ensayo, realizado en el Campo Experimental Maquehue ubicado entre los 38° 45' latitud sur – 72° 38' longitud oeste perteneciente a la Facultad de Ciencias agropecuarias de la Universidad de La Frontera, ah tenido como objetivo evaluar distintas proporciones de semilla sembrada de *Lupinus albus* L. y *Avena sativa* L. asociadas, con el objeto de determinar si existe una proporción de semilla adecuada, para obtener una mayor producción de grano y un bajo nivel de enmalezamiento.

De acuerdo a lo anterior, se diseñó, bajo manejo orgánico, un ensayo de campo en un Andisol del Llano Central de la IX Región, durante la temporada agrícola 2005-2006, constituido por cinco tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos correspondieron a la asociación de lupino y avena en distintas proporciones de semilla sembrada y sus respectivos cultivos puros. Los tratamientos se compusieron por dosis de 100% lupino (100L), 100% Avena (100A), 75% lupino + 25 % avena (75L25A), 50% lupino + 50 % avena (50L50A) y 25% lupino + 75% avena (25L75A).

La siembra fue establecida al voleo en forma conjunta, y cada unidad experimental fue cosechada en forma manual.

Al término del ensayo, algunos de los tratamientos presentaron diferencias estadísticamente significativas bajo los distintos parámetros evaluados, demostrando una relación benéfica y/o complementaria en la asociación.

## 7. SUMMARY

Multiple cropping, mixed cropping or intercropping, is a spatial diversification strategy that is used in organic farming. However, there is little knowledge of crops traditionally developed partners in agriculture and how it influences the proportion of seed sown in productivity and weedy on this level.

Therefore this trial, conducted in the Experimental Maquehue located between 38 ° 45 'south latitude - 72 ° 38' west longitude belonging to the Faculty of Agricultural Sciences, University of La Frontera, ah aimed at evaluating different proportions of seed sown of *Lupinus albus* L. and *Avena sativa* L. partner in order to determine whether a proportion of seed suitable for higher grain and weedy low.

According to the above, was designed, under organic management, a field trial in a Andisol Central Plains Region IX, during the 2005-2006 agricultural season, consisting of five treatments and four replications. The treatments corresponded to the association of lupine and oats in different proportions of seed sown, and their respective pure cultures. The treatments were composed of 100% dose lupine (100L), 100% Oats (100A), 75% + 25% oats lupine (75L25A), 50% + 50% oats lupine (50L50A) and 25% + 75% oats lupine (25L75A).

The planting was established jointly broadcast, and each experimental unit was harvested by hand.

At the end of the trial, some of the treatments were statistically significant under different parameters showing a beneficial relationship and/or complementary partnership.

## 8. LITERATURA CITADA

**Altieri, M y Letourneau, D.**1982. Vegetation management and biological control in agroecosystems. *Crop protection*, 1(4):405-430.

**Altieri, M.**1983. Agroecología: Bases científicas de La Agricultura Alternativa. 184 p.

**Altieri, M.** 1987. Agroecology: The scientific basis of alternative agriculture. Westview Press, Boulder.

**Altieri, M.** 1990. Cultivos de cobertura o cubiertas vegetales. *Chile Agrícola (Chile)*.15 (156):132-135

**Altieri, M.** 1990. Manejo de malezas en lugar de control de malezas. *Chile Agrícola (Chile)*. (159):268-271.

**Altieri, M.** 1992. Biodiversidad, agroecología y manejo de plagas. CETAL-CHILE. 162 pp.

**Altieri, M. y Nicholls, C.** 1994. Biodiversidad y manejo de plagas en agroecosistemas. Icaria Editorial S.A. Barcelona. 247 pp.

**Altieri, M y Nicholls, C.** 1995. Bases de la agricultura y ganadería moderna. Bases agroecológicas para el manejo de la biodiversidad en agroecosistemas: efectos sobre plagas y enfermedades. University of California. Berkeley, USA. 19 p.

**Altieri, M.** 1997. Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable. CLADES.

**Altieri, M.**1999. Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable. Montevideo Nordan-Comunidad. 338p

**Altieri, M.** 2003. Dimensiones éticas de la crítica agroecológica a la biotecnología agrícola. *Acta bioeth.*,9(1):47-61

**Atlas Geográfico de Chile.** 1985. Para la Educación. Sociedad divulgativa geográfica. Instituto Geográfico Militar. 138 pp.

**Bastidas, L.** 2007. Caracterización agronómica de ecotipos de trigo (*Triticum aestivum* L.) cultivados por campesinos bajo sistema de producción orgánica. Trabajo de Titulo (Ingeniero Agrónomo). Universidad de La Frontera, Temuco.47 p

**Beratto, E. y Rivas, S.** 1967. Avena. Época de siembra y dosis de semilla. (Chile) Circular informativa N° 18 INIA Carillanca.

**Besoain, E.** 1985. Características de los suelos volcánicos. En: Tosso, J. (ed). Suelos Volcánicos del sur de Chile. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Santiago, Chile. pp. 53-62

**Bregante, F.** 1985. Evaluación del sistema de agricultura orgánica en los cultivos de fréjol (*Phaseolus vulgaris*) y maíz (*Zea mays*). Tesis de grado para optar al Título de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales. Universidad Católica de Valparaíso. 150 pp.

**Casado G, González M & Guzmán S.** 2000. Introducción a la agroecología como desarrollo rural sostenible. Mundi-Prensa. Madrid.

**Connolly J., et al.,** 2001. The information content of indicators in intercropping research. Agriculture, Ecosystems and Environment 87. Pp. 191-207.

**Contreras, E., Douglas, M. y Viera, J.** 1989. Evaluación ecofisiológica de cultivos asociados. II. Canavalia-Maíz. *Agronomía Tropical*. 39: (1-3)45-61.

**Contreras, A.** 2000. Introducción, definiciones y potencialidades de La Agricultura Orgánica en la IX Región. SEMINARIO Agricultura Orgánica. Universidad de La Frontera. Temuco, Chile. Pp 1-4

**Contreras, C.** 2006. Evaluación del uso de distintos tipos de cubierta vegetal muerta en la incidencia y poblaciones de malezas en un huerto orgánico de arándanos (*Vaccinium corymbosum* L.) en la zona de los Ángeles, VIII Región. Trabajo de Título (Ingeniero Agrónomo). Universidad de la Frontera, Temuco. 42 p

**Chargoy Z.** 2004. La medición agronómica de la eficiencia en el rendimiento de los cultivos múltiples. Pp 110-117.

**Chávez, M.** 2004. Efecto de la radiación UV-B sobre la germinación, el crecimiento, pigmentos fotosintéticos y absorbedores en avena (*Avena sativa* L.) y trébol rosado (*Trifolium pratense* L.). Trabajo de Título (Ingeniero Agrónomo). Universidad de la Frontera, Temuco. 43 p

**Chávez-Servia J.L., J. Tuxill y D.I. Jarvis (eds).** 2004. Manejo de la diversidad de los cultivos en los agroecosistemas tradicionales. Instituto internacional de Recursos Filogenéticos. Cali, Colombia

**Demagnet, R., Neira, L. y Cantero, M.** 1996. Pasturas en el sur de Chile II. Especies Leguminosas. Publicación Docente. Editada por el Departamento de Producción Agropecuaria de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de la Frontera. 86p

**Doll, J.** 1989. Principios básicos para el manejo de las malezas en los cultivos. CIAT. Cali Colombia. 36 pp.

**Donahue, R.; Raymond, M. y Shickluna, J.** 1988. Introducción a los suelos y al crecimiento de las plantas. México 623 p.

**Donald, C.** 1963. Competition among crop and pasture plants. *Adv. Agron.* 15:1-118.

**Faiguenbaum, H.** 2003. Labranza, siembra y producción de los principales cultivos de Chile. Editorial Agrama S.A. Santiago, Chile. 1500p.

**Francis, C.** 1981. Development of plant genotypes for multiple cropping systems. In: Frey, K. (ed.). Plant Breeding II. The Iowa State University Press, Iowa, pp. 179-131

**Gliessman, S.** 2002a. Agroecología. Procesos Ecológicos en Agricultura Sostenible. CATIE. Turrialba, Costa Rica

**Gliessman, S.** 2002b. La biodiversidad y estabilidad de los agroecosistemas. En: *La práctica de la agricultura y la ganadería ecológicas*. Ed. Comité Andaluz de Agricultura Ecológica. Andalucía. España 69-87.

**González, M. Y Claro, D.** 2002. La avena en la zona Central. Recurso suplementario de invierno para el riego y el secano. *Tierra Adentro* (45): 32-33p.

**Gross, R.** 1982. El cultivo y la utilización del Tarwi (*Lupinus mutabilis* S.) Agencia Alemana de Cooperación técnica.

**Hall, R.L.** 1974a. Analysis of the nature of interference between plants and species. 1. Concepts and extension of the De Witt analysis to examine effects. *Aust. J. Agr. Res.* 25:739-747

**Hechenleitner, M.** 1991. Evaluación de cinco variedades de avena como recurso forrajero invernal. Trabajo de Título (Ingeniero Agrónomo). Universidad de la Frontera, Temuco. 67p.

**Hecht, S.B.** 1985. Environment, development and politics: capital accumulation and the livestock sector in Eastern Amazonian. *World Development* 13 (6):663-684 m

**Jara, R.** 1995. Comportamiento relativo de un sistema de cultivos mixtos utilizando lupino (*Lupinus albus*), intercalado a trigo (*Triticum aestivum*) y avena (*Avena sativa*). Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Agropecuarias, como requisito para optar al Título de Ingeniero Agrónomo. Temuco. Chile. 140 pp.

**Kerrigan, R. G.** 1984. Evaluación del sistema de agricultura orgánica en los cultivos de frejól (*Phaseolus vulgaris*) y maíz (*Zea mays*). Tesis para optar al grado de Licenciado en Ciencias Agrícolas (Especialidad: Economía Agraria). Escuela de Agronomía. Universidad de Chile.169 pp.

**Liebman, M.**1997. Sistemas de Policultivos. Huelva (ESP): Documento distribuido durante la III Maestría: Agroecología y desarrollo rural sostenible en Andalucía y América Latina.

**Liebman, M and Dyck, E.** 1993. Crop rotation and intercropping strategies for weed management. *Ecological Applications* 3(1) :92-122

**Lobos, J.** 2007. Capacidad de hidratación y aumento de volumen del grano en nueve líneas de *Lupinus albus* L. amargo. Trabajo de Título (Ingeniero Agrónomo). Universidad de la Frontera, Temuco.43 p.

**Loomis R.S & Connor D.J.**2002. Ecología de Cultivos. Productividad y manejo en sistemas agrarios. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid-España.583 pp. La edición original de esta obra ah sido publicada en Ingles con el titulo: CROP ECOLOGY. Productivity and management in agricultural systems for Cambridge University press.

**Mejías, J.** 1995. Manual de aleopatía básica y producto botánico. Universidad de Caldas San Fe de Bogota. Colombia.

**Mella, A. y Kühne, G.** 1985. Sistemática y descripción de las familias, asociaciones y series de suelos derivados de materiales piroclásticos de la zona central-sur de Chile. En: J. Tosso (Ed.). Suelos Volcánicos de Chile. INIA. Ministerio de Agricultura. Santiago. Chile. Cap. 1: p 25-95.

**Morales, Manuel.** 2006. Efecto alelopático de 4 especies de cereales (*Triticum aestivum* L., *Avena sativa* L., X *Triticosecale wittmack* y *Hordeum vulgare* L.), sobre el crecimiento de raíces y hojas de ballica perenne (*Lolium perenne* cv. Quartet). Trabajo de Título (Ingeniero Agrónomo). Universidad de la Frontera, Temuco.45 p.

**Ormeño, J.** 1997. Aplicación de la aleopatía en el control de malezas. Seminario internacional INIA-Quilamapu, Chillan 29-30 Octubre. Ingeniero Agrónomo. Universidad de la Frontera. Temuco, Chile. 80 p.

**Peñaloza, E., Galdamez, R. y Aguilera, A.** 1995. Nueva variedad de lupino en el sur de Chile. *Tierra Adentro* 2:34-37.

**Riffo, M.** 2006. Caracterización y tipificación del sector proveedor de lupino blanco (*Lupinus albus* L.) de la empresa “Productos Nutritivos AVELUP Ltda.” Chile IX Región, estudio de caso. Tesis presentada como parte de los requisitos para optar al grado de Licenciado en

Agronomía. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 112 p.

**Rouanet, J.** 1982. Áreas Agroecológicas determinantes de producción agropecuaria. Investigación y Progreso Agropecuario. Carillanca. Temuco, Chile 1(1): 17-21p.

**Sánchez, P.A.** 1991. Suelos del trópico, IICA, san Jose, Costa Rica.

**Sans, F.X.**2007. Agroecología. Revista Ecosistemas 16(1):1-2

**Trenbath, B.R.**1976. Plant interactions in mixed crop communities. En: Multiple Cropping, (eds. R.I. Papendick, P.A. Sanchez y G.B. Triplett). American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America.

**Ulloa, N.** 2008. Evaluación de la utilización de diferentes residuos orgánicos agropecuarios en el proceso de compostaje y seguimiento de algunas actividades biológicas. Trabajo de Título (Ingeniero Agrónomo). Universidad de la Frontera, Temuco.45 p.

**Vandermeer, J.** 1981. The interference production principles: en ecological theory for agriculture. Biociencia 31:361=364.

**Vandermeer, J. & Schultz, B.** 1990. Variability, stability and risk in intercropping. Some theoretical explorations. In Gliessman, S.R. Agroecology researching the ecological basis for sustainable. N. York. Springer Verlag.

**Von Baer, E.** 1986. Lupino: Situacion actual en Chile y perspectivas. IV seminario nacional de Leguminosas de grano. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales. Univ. De Chile. Santiago.

**Von Baer, E.** 1990. Lupino, guía de producción y utilización. Asociación Chilena de Lupino. Primera Edición. 19 pp.

**Von Baer, E.** 1995. Buen futuro para el lupino. El Campesino. pp. 48-49.

**Willey, R. W and Osiru, D.S.**1972. Studies of mixtures of maize and beans (*Pahaseolus vulgaris*) with particular reference to plant population. J.Agr. Sci. 79:519=529.