

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS  
ESCUELA DE AGRONOMÍA DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y SUELOS

# **PROPIEDADES QUÍMICAS DE UN SUELO CON MANEJO AGROFORESTAL Y COSECHA DE AGUAS EN EL SECANO INTERIOR DE LA ZONA CENTRAL DE CHILE**

**OSVALDO ALEJANDRO SALAZAR GUERRERO**

Memoria para optar al Título Profesional de Ingeniero Agrónomo Mención: Ingeniería y Suelos

PROFESORES GUÍAS Sr. Manuel Casanova P. Sr. Carlos Benavides Z.

COLABORADOR Profesor Sr. Oscar Seguel S.

**Santiago, Chile. 2003**

PROFESORES CONSEJEROS Sr. Wilfredo Vera E. Sr. Claudio Fernández L.



..	1
<b>AGRADECIMIENTOS .</b>	<b>3</b>
<b>1. RESUMEN .</b>	<b>5</b>
<b>Summary .</b>	<b>6</b>
<b>2. INTRODUCCIÓN .</b>	<b>7</b>
<b>Objetivo general .</b>	<b>8</b>
<b>Objetivos específicos . .</b>	<b>8</b>
<b>3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA . .</b>	<b>9</b>
<b>Agroforestería .</b>	<b>9</b>
<b>Cosecha de aguas . .</b>	<b>11</b>
<b><i>Acacia saligna</i> (Labill.) H. L. Wendl. . .</b>	<b>12</b>
<b>Mantillo . .</b>	<b>13</b>
<b><i>Opuntia ficus indica</i> (L) Mill. . .</b>	<b>14</b>
<b>Avena sativa L. .</b>	<b>14</b>
<b>Pradera mediterránea anual de Chile . .</b>	<b>15</b>
<b>Efectos de algunas prácticas culturales en el suelo . .</b>	<b>16</b>
<b>Efectos de la agroforestería .</b>	<b>16</b>
<b>Efecto del agua .</b>	<b>18</b>
<b>Efecto de la intervención mecánica nula . .</b>	<b>18</b>
<b>Efecto de la labranza . .</b>	<b>18</b>
<b>Métodos de muestreo . .</b>	<b>19</b>
<b>Muestreo de suelos . .</b>	<b>19</b>
<b>Medición de los árboles . .</b>	<b>19</b>
<b>Medición de la pradera . .</b>	<b>20</b>
<b>4. MATERIALES Y MÉTODO .</b>	<b>21</b>
<b>Materiales . .</b>	<b>21</b>
<b>Tratamiento Testigo (T) . .</b>	<b>23</b>

Tratamiento Agroforestería – Labranza (AL) .	23
Tratamiento Agroforestería – Labranza – Ecurrimiento (ALE) .	24
Tratamiento Agroforestería (A) .	24
Tratamiento Agroforestería – Ecurrimiento (AE) .	24
Manejo general de los tratamientos . .	24
<b>Método .</b>	<b>25</b>
Muestreo de suelos . .	26
Análisis químicos .	26
Análisis físicos . .	26
Parámetros de crecimiento de las especies vegetales .	26
Diseño experimental y análisis estadístico . .	27
<b>5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .</b>	<b>29</b>
Marco teórico . .	29
Propiedades del suelo .	32
Caracterización del tratamiento Testigo (T) .	32
Comparación de los tratamientos con el Testigo (T) y entre ellos . .	34
Discusión general de las propiedades del suelo .	44
Parámetros de crecimiento de las especies vegetales . .	46
Acacia saligna .	46
Pradera mediterránea anual .	48
Funciones de respuesta de las especies vegetales .	49
<b>6. CONCLUSIONES . .</b>	<b>51</b>
<b>7. LITERATURA CITADA .</b>	<b>53</b>
<b>APÉNDICE I. Descripción morfológica de los perfiles de suelo para cada bloque .</b>	<b>63</b>
Bloque 1 .	63
Bloque 2 .	64
Bloque 3 .	65
<b>APÉNDICE II. Resumen de los análisis realizados, xy CV (%) . .</b>	<b>67</b>
<b>APENDICE III. Mapas de Isolíneas de las propiedades del suelo .</b>	<b>71</b>

Mapas de isolíneas del contenido de materia orgánica del suelo (MOS) por intervalo de profundidad ( $\text{g kg}^{-1}$ ) .	71
Mapas de isolíneas del contenido de nitrógeno total del suelo ( $\text{N}_T$ ) por intervalo de profundidad ( $\text{g kg}^{-1}$ ) .	73
Mapas de isolíneas del contenido de potasio total del suelo ( $\text{K}_T$ ) por intervalo de profundidad ( $\text{g kg}^{-1}$ ) .	75
<b>APÉNDICE IV. Análisis de correlación entre los parámetros de crecimiento de las especies vegetales y las propiedades del suelo . .</b>	<b>79</b>
<b>ANEXO I. Análisis de fertilidad de suelos antes de la instalación del ensayo . .</b>	<b>83</b>
<b>ANEXO II. Precipitaciones mensuales, Estación Meteorológica de la E.E. Germán Greve Silva . .</b>	<b>85</b>



---

*A mis padres, Carmen y Juan Carlos A mis hermanos, Dayanna y Juan Carlos A mis sobrinos,  
Jenifer y Alonso A Ariela*





## AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer a todas las personas que me ayudaron en el desarrollo de esta memoria destacando en especial a:

- Mi profesor guía Sr. Manuel Casanova Pinto, por su constante ayuda e incondicional apoyo, como también por ser sus enseñanzas parte importante en mi formación profesional.
- Mi profesor guía Sr. Carlos Benavides Zavala por sus valiosos consejos y sugerencias en el transcurso de este trabajo.
- Mis profesores consejeros Sr. Wilfredo Vera E. y Sr. Claudio Fernández L., por su valiosa colaboración en el desarrollo de esta memoria.
- Mi profesor colaborador Oscar Seguel S., por su gran ayuda en los días de trabajo en terreno en Rinconada de Maipú.
- La profesora Sr. Adriana Carrasco R., por su importante ayuda y cooperación en el trabajo de laboratorio.
- Al director del Departamento de Ingeniería y Suelos Sr. Roberto Villa, por las facilidades prestadas durante el desarrollo de esta memoria.
- A todos los profesores del departamento de ingeniería y suelos, en especial al Sr. Víctor García de Cortazar y Sra. Maria Teresa Varnero.
- A los funcionarios del Departamento de Ingeniería y Suelos.
- A mis amigos Armando, Roberto, Alberto, Camilo y Jordi.



# 1. RESUMEN

La combinación de agroforestería y de cosecha de aguas, en zonas de secano, puede contribuir a superar limitaciones intrínsecas u ocasionadas por un manejo inadecuado de los recursos, mejorar la disponibilidad hídrica y aportar tanto diversidad ecológica como estabilidad económica al sistema. El objetivo de esta memoria fue establecer relaciones entre el comportamiento de un sistema agroforestal asociado a un sistema de cosecha de agua y algunas propiedades edáficas. El ensayo se estableció en 1996 con cinco tratamientos: Testigo (T), Agroforestería-Labranza (AL), Agroforestería-Labranza-Escurrecimiento (ALE), Agroforestería (A) y Agroforestería-Escurrecimiento (AE). Éstos incluyeron inicialmente árboles de aramo azul (*Acacia saligna*), cladodios de tuna (*Opuntia ficus-indica*) y avena (*Avena sativa*). Al año 2000, luego de una presión seria de roedores y un pastoreo accidental, sólo sobrevivieron *A. saligna* y la pradera mediterránea anual. En estas condiciones, se realizó un muestreo de suelo a cuatro profundidades para cada tratamiento, determinándose en ellas algunas propiedades relevantes.

Los aportes de agua y la infiltración mayores en ALE, se reflejan en una acumulación subsuperficial, respecto al testigo, en los contenidos de materia orgánica (20-30 cm) y nitrógeno total (30-40 cm). No obstante, en la superficie de este mismo tratamiento se favorecieron las pérdidas oxidativas de materia orgánica y la remoción selectiva de materiales por erosión hídrica. En AE, asociados a los escurrimientos, se advierten procesos de depositación en el área cultivada. Los tratamientos con cultivo inicial de avena (AL y ALE) presentaron los valores más bajos de potasio total, atribuido a una extracción mayor por el cultivo y al patrón de distribución espacial de este

macroelemento. Los contenidos totales de nitrógeno y fósforo, así como los de arcilla fueron determinantes para el crecimiento de la *A. saligna*, de acuerdo a las funciones de respuestas obtenidas.

Finalmente, se observa que los tratamientos presentaron diferencias significativas limitadas en muchos de los parámetros, lo que podría atribuirse a un tiempo insuficiente desde el establecimiento del sistema.

#### **Palabras clave**

Agroforestería, cosecha de agua, propiedades químicas y físicas de suelos, *Acacia saligna*, pradera mediterránea anual.

## Summary

In rainfed zones the combination of agroforestry and water harvesting can contribute to overcome the intrinsic constraints or a poor resources management, improve water use and giving both ecological diversity and economical stability. The objective of this study was to establish relationships between an agroforestry/water harvesting system and some soil properties in the inner rainfed zone of central Chile. The trial was carried out in 1996 with five treatments: Control (T), Agroforestry-Tillage (AL), Agroforestry-Tillage-Runoff (ALE), Agroforestry (A) and Agroforestry -Runoff (AE). The treatments initially included trees (*Acacia saligna*), prickly pearcladodes (*Opuntia ficus-indica*) and oats (*Avena sativa*). In 2000, after a rodent attack and an accidental sheep invasion, only survived the *A. saligna* and mediterranean annual prairie. Under these conditions, in each treatment soils were sampled at four depths in order to determine some relevant soil properties.

Associated to greater water and infiltration amounts in ALE, soil organic matter (20-30 cm) and total nitrogen (30-40 cm) were higher than the control (T). However, in the soil surface of the same treatment, soil organic matter losses and water erosion were increased. In AE, related to runoff rate, soil particle deposition processes were observed. The lowest total potassium contents ( $K_T$ ) were determined on the treatments with an initial tillage and oats (AL and ALE), according both to the crop uptake/extraction and spatial variability pattern of  $K_T$ . In terms of the response functions obtained, total nitrogen, total phosphorus and clay contents were determinant for the growth of *A. saligna* trees.

Finally, only a limited number of the measured properties showed significant differences, probably due to the short time involved.

#### **Key words**

Agroforestry, water harvesting, chemical and physical soil properties, *Acacia saligna*, annual mediterranean prairie.

## 2. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural escaso y de gran valor para la agricultura. Esta afirmación toma real importancia en zonas de secano, con agricultura de subsistencia, que no cuentan con recursos hídricos adicionales para sobrellevar períodos de sequía prolongados. En estas condiciones, principalmente el monto de las precipitaciones anuales determina su éxito o fracaso productivo. Surge entonces como desafío hacer un uso más eficiente de este recurso, tan necesario para la supervivencia del hombre, en estas situaciones extremas.

Los sistemas de cosecha de agua pueden constituir una técnica importante, orientada a mejorar la disponibilidad hídrica en regiones frágiles. Por otra parte, los sistemas agroforestales se conciben para dar solución a problemas agropecuarios verificados en suelos degradados, aportando tanto diversidad ecológica como estabilidad económica al sistema. En zonas de secano una combinación de estas técnicas puede contribuir a superar las limitaciones intrínsecas o las ocasionadas por un manejo inadecuado, en particular del recurso suelo.

Existen antecedentes que indican que las especies vegetales que componen un sistema agroforestal, al ser establecidas en un ecosistema diferente del originario, interactúan con el medio, modificando sus propiedades y alterando la secuencia de los procesos que ocurren en él. De esta manera se establece un equilibrio ecológico nuevo entre el sistema agroforestal y el medio intervenido, que requiere ser estudiado.

En consecuencia, esta investigación combina las técnicas de agroforestería y cosecha de aguas, generando un conjunto de sistemas de manejo empíricos, los cuales

son comparados de acuerdo con sus efectos tanto en las especies vegetales involucradas como en las propiedades del suelo presente.

## **Objetivo general**

Establecer relaciones entre el comportamiento de un sistema agroforestal asociado a un sistema de cosecha de agua y algunas propiedades químicas del suelo, en el secano interior de la zona central de Chile.

## **Objetivos específicos**

- Determinar cuantitativamente propiedades químicas diferentes de los suelos, tales como contenido de materia orgánica, contenidos totales de macronutrientes (N, P y K), pH y capacidad de intercambio catiónico del suelo.
- Realizar una evaluación de los parámetros de crecimiento de la vegetación que compone el sistema agroforestal.
- Definir funciones de respuesta de crecimiento en base a propiedades medidas en los suelos, para así explicar el comportamiento de las especies en el sistema agroforestal.

## 3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### Agroforestería

La agroforestería es un término colectivo, que según los criterios de la evaluación de tierras se refiere a un tipo de uso compuesto de la tierra, en el que árboles o arbustos son deliberadamente combinados en la misma tierra con cultivos agrícolas, praderas o ganado (FAO, 1976; Young, 1989). Esta combinación se realiza en la forma de un arreglo espacial o una secuencia en el tiempo, en la que hay interacciones tanto ecológicas como económicas entre los árboles y el resto de los componentes del sistema (Lundgren, 1982).

El objetivo de la agroforestería es optimizar el beneficio mutuo entre los componentes leñosos, los cultivos y/o animales, para así obtener un modelo de producción que, en términos de cantidad total, diversidad de los productos finales, o de sustentabilidad, sea preferible a lo que usualmente se obtiene desde los mismos recursos en forma separada bajo las condiciones sociales, ecológicas y económicas prevalecientes del lugar (Nair, 1984).

Los sistemas agroforestales y sus prácticas pueden ser clasificados y agrupados usando criterios variados. Dentro de los más comúnmente usados, el de Nair (1985) los categoriza según su estructura (composición y arreglo de los componentes), función,

escala socioeconómica y extensión ecológica.

Estructuralmente, el sistema puede ser agrupado según su composición en agrosilvocultural (cultivos + árboles/arbustos), silvopastoral (pradera/animales + árboles) y agrosilvopastoral (cultivos + pradera/animales + árboles); pero además, por el arreglo de los diferentes componentes en el tiempo (arreglo temporal) o en el espacio (arreglo espacial).

Respecto a funcionalidad y en referencia al rol principal del sistema, especialmente de los componentes leñosos, éste puede ser productivo (suministro de necesidades básicas como alimento, forraje, leña, etc.) o de protección (conservación de suelos, mejoramiento de la fertilidad de suelos, defensa contra el viento).

La escala socioeconómica de producción y el nivel de manejo del sistema pueden ser usados como criterios para designar los sistemas en comerciales, intermedios o de subsistencia. La extensión ecológica se refiere a la condición medioambiental y de sustentabilidad de los sistemas, en el supuesto que ciertos tipos de sistemas puedan ser más apropiados para ciertas condiciones ecológicas.

Los sistemas agroforestales han mostrado ser superiores en el control de la erosión del suelo respecto a otros sistemas de producción de cultivos, al mantener una cobertura vegetal permanente que protege al suelo de la agresividad de las precipitaciones (Wiersum, 1991).

En la agroforestería los árboles multi-propósito tienen una importancia significativa. Son producidos y manejados con el fin de cuidar la sustentabilidad del uso del terreno, aportan numerosos productos (leña, frutos, forraje, fibra, medicinas, caucho, taninos, etc.) y son una posible solución para que áreas marginales puedan ser productivas (Wolf, 1994).

En los sistemas agroforestales los árboles y los cultivos presentan hábitos radicales diferentes. En consecuencia sus modelos de extracción de agua del suelo difieren en el espacio y el tiempo (Morris *et al.*, 1990; Lehmann *et al.*, 1998a). En tales casos, las raíces de los árboles no exploran las capas superficiales del suelo eficientemente y extraen el agua desde las capas más profundas, por lo tanto, el agua de la capa arable puede ser usada por los cultivos sin afectar la producción de los árboles (Lövenstein *et al.*, 1991). Además, el sistema radical del árbol puede reaccionar a cambios en el régimen hídrico a través de las estaciones lluviosas y secas, contrayéndose o profundizándose respectivamente (Lehmann, 1998b).

Sin embargo, en zonas de secano semiárido los componentes vegetales de los sistemas agroforestales presentan competición mas que complementariedad por el uso del agua (Le Roux *et al.*, 1995; Kho, 2000). Ovalle *et al.* (2002) reportan que en sistemas agroforestales establecidos en la zona central de Chile se ha encontrado una fuerte competición por el agua en la capa arable, entre los árboles y la estrata herbácea asociada. Por lo tanto, bajo estas condiciones los mayores rendimientos esperados en estos sistemas no ocurrirán, debido a que sus ventajas sólo se expresan cuando el agua en el suelo se mantiene en un contenido alto a través de toda la temporada de crecimiento (McIntyre *et al.*, 1997). Además, en estas condiciones la contribución de nutrientes a través de la incorporación de raíces es menor (Govindarajan *et al.*, 1996).



## Cosecha de aguas

Reij *et al.* (1988) destacan que la cosecha de aguas es usualmente empleada como un término amplio, que describe un conjunto de métodos distintos para colectar y concentrar varias formas de escurrimiento (flujos superficiales precanalizado y encauzado en el suelo, escurrimiento desde techumbres, etc.), desde varias fuentes (precipitación, neblina, etc.) y para varios usos (consumo humano, agrícolas, ganaderos, etc.).

En la agricultura de secano, donde la disponibilidad de agua escasa es la restricción principal, intentar prácticas de manejo como la disminución del escurrimiento superficial e incremento de la tasa de infiltración son medidas ineficientes, pues la limitada cantidad de agua que puede almacenarse en el suelo no es suficiente para la producción satisfactoria de cultivos (Arnon, 1992). En este sentido, los barbechos que en estas zonas se practican, constituyen además una forma altamente ineficiente de almacenamiento y uso de las precipitaciones (Farahani *et al.* 1998). Por el contrario, un apropiado manejo distributivo y almacenamiento del escurrimiento superficial puede ser la estrategia más adecuada que permita suplir las necesidades hídricas en zonas áridas con agricultura de subsistencia (Boers y Ben-Asher, 1982).

En consecuencia, los esfuerzos deben ser orientados en la dirección opuesta: “desarrollar un sistema de cosecha de aguas en el que, en ciertas áreas, al incrementarse el escurrimiento superficial y al reducirse la infiltración, sirvan de fuentes de suministro para otras”, manteniendo una proporción y ubicación apropiada entre el área de aporte y la receptora de los escurrimientos superficiales de agua (Arnon, 1992; Frasier y Myers, 1983). Así por ejemplo, en una investigación realizada en Chile, en suelos coluviales, se observó que los escurrimientos superficiales en parcelas de 10 x 5 m equivalen a un aporte adicional entre el 12 y el 27 % de las precipitaciones (Joel *et al.*, 2002).

En caso que el agua recolectada sea destinada al riego de cultivos o árboles, normalmente el suelo servirá de reservorio de los escurrimientos en el área receptora por un cierto período de tiempo (Finkel y Finkel, 1986).

Laryea (1992) indica que para la construcción de las áreas aportantes de escurrimientos superficiales, es necesario construir diques alrededor del perímetro de las áreas de captación que conduzcan el agua a las áreas de almacenamiento. Además, se deberá compactar y emparejar la superficie de las áreas de captación para mejorar la eficiencia del escurrimiento. Incluso eliminar la vegetación, piedras y escombros del lugar.

Los sistemas de cosecha de aguas han ayudado tanto a incrementar como a sostener la producción agrícola en zonas áridas y semi-áridas (Bhushan, *et al.*, 1992; Tabor, 1995; Li, *et al.*, 2000). Además, han sido usados como riego suplementario en sistemas agroforestales en estas mismas zonas, elevando considerablemente la productividad de las especies vegetales asociadas (Lövenstein, 1991; Kaarakka, 1996; Lehmann *et al.*, 1998a).

## ***Acacia saligna* (Labill.) H. L. Wendl.**

La *Acacia saligna* (Labill.) H. L. Wendl., también clasificada como *Acacia cyanophylla* Lindl. es una especie nativa de Australia Occidental, donde crece entre los 28° y 30° L.S., desarrollándose como parte del sotobosque asociado a *Eucalyptus gomphocephala* sobre formaciones calcáreas de la zona costera del sudoeste australiano (FAO, 1995; NAS, 1979).

Es un árbol denso que alcanza entre 2 y 8 m de altura, con una copa amplia, abierta y muy ramificada, con un fuste principal de hasta 0,3 m de diámetro. Es de crecimiento rápido, pudiendo alcanzar los 8 m de altura en 4 o 5 años, aunque en zonas muy áridas la tasa de crecimiento es menor (NAS, 1980).

Carnevale (1955) la caracteriza botánicamente como una planta que presenta filodios persistentes, de forma lineal oblongos o lanceolados de 15 - 23 cm de longitud y 17 mm de ancho, aunque en una misma planta se observan tipos distintos de hojas de mayor tamaño y de color verde lúteo. Las flores no son perfumadas, de color amarillo, en capítulos esféricos reunidos en racimos simples y compuestos, que florecen en agosto (Hemisferio Sur). El fruto es una vaina larga, contraída entre las semillas, de 12 a 15 cm de largo y 4 a 5 mm de ancho, de color pardo rojizo a la madurez. Las semillas son de color negro, brillantes, lisas, duras, alargadas, de unos 6 mm de longitud, 3 mm de ancho y 1 mm de espesor.

Su sistema radical está compuesto principalmente por raíces estructurales permanentes, además de otras muy finas responsables de la adquisición de nutrientes y agua desde el suelo (Shelton, 1994).

Estudios de Lehmann y Zech (1998) en un ensayo de *A. saligna* bajo cosecha de aguas en Kenia (precipitación promedio de 318 mm año<sup>-1</sup>), mostraron que en la estación lluviosa las raíces se encontraron principalmente en la capa arable (0 - 15 cm), pero con una gran cantidad de raíces bajo los 30 cm. Aunque en la estación seca las raíces subsuperficiales se expandieron a diferencia de las ubicadas en la capa superficial.

La *Acacia saligna* (Labill.) H. L. Wendl. es una fabácea cuyas raíces se encuentran en simbiosis con bacterias que le permiten aportar nitrógeno al suelo. Estudios realizados por Marsudi *et al.* (1999) en Australia determinaron que esta leguminosa es ampliamente colonizada por muchas especies de bacterias destacándose dos grupos, unas de rápido crecimiento como *Rhizobium leguminosarum* y *Rhizobium tropici*, y otras de lento desarrollo como *Bradyrhizobium* spp.

La *Acacia saligna* (Labill.) H. L. Wendl. es un árbol multi-propósito y es cultivado en diversos países de zonas áridas, semiáridas, tropicales y subtropicales (FAO, 1995). En su hábitat natural las temperaturas en el verano varían entre los 23° y 36°C, y en el invierno de 4° a 9°C. No tolera las heladas y el mejor rango de crecimientos se encuentra entre los 13° y 30°C. Se desarrolla desde el nivel del mar hasta los 300 m de altitud. Es muy resistente a la sequía, aunque el monto de precipitaciones óptimo se encuentra en

regiones semiáridas con 350 a 600 mm año<sup>-1</sup> donde tiene un gran potencial de producción de biomasa (NAS, 1980).

Anualmente los rendimientos varían entre 1,5 a 10,0 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de leña, dependiendo del sitio y la edad de corte (NAS, 1980). En el secano interior de la provincia de Choapa en Chile, con clima mediterráneo árido y precipitación promedio de 220 mm año<sup>-1</sup>, Alcaíno *et al.* (1995) obtuvieron en una plantación de 4 años 1,1 ton ha<sup>-1</sup> de forraje, base materia seca. En dos localidades de Etiopía, con precipitaciones que fluctuaban entre los 625 y 695 mm año<sup>-1</sup> y temperaturas medias de 21,3°C a 20,3°C, se registraron al cabo de 5 años alturas medias de 5,7 a 6,7 m y diámetros de troncos de 10,5 a 14,2 cm respectivamente (Tsfaye Abebe, 1994). En Túnez, con clima Mediterráneo y precipitación promedio de 300 a 400 mm año<sup>-1</sup>, en una plantación de 3,2 años se tuvo rendimientos de forraje de 1,4 ton ha<sup>-1</sup> base materia seca (Tiedeman y Johnson, 1992).

Crece principalmente en suelos arenosos bien drenados de terrazas costeras, pero puede desarrollarse sin problemas en sitios pantanosos, bordes de ríos, laderas, suelos graníticos y espodosoles (NAS, 1980). Presenta una buena adaptación a suelos salinos, ácidos, calcáreos, de clases texturales arenosas a franco arenosas, poco profundos (<0,5 m), pobres en nitrógeno y fósforo (FAO, 1995).

Esta fabácea es extremadamente rústica y resistente, se adapta a condiciones extremas por lo que es usada para fijación de dunas, control de cárcavas y también con fines ornamentales (NAS, 1979).

Además, está siendo usada y estudiada como base de sistemas agroforestales, donde la pradera o los cultivos se establecen entre las hileras de los árboles (Lefroy *et al.*, 1992). También, ha sido usada en Kenia en estudios de agroforestería asociada a sistemas de cosecha de aguas (Lehmann *et al.*, 1998a).

Sus filodios, frescos o secos, son palatables para el ganado y son especialmente usados como alimento suplementario para ovinos y caprinos, presentando un buen rebrote, lo que le permite ser ramoneado completamente sin poner en peligro la vida de la planta (NAS, 1980). Bratti (1996) agrega que la productividad en material forrajero aumentaría al efectuar la poda a temprana edad; incrementando además el crecimiento, el vigor y la succulencia de la planta. Sin embargo, al cortar los árboles con menor frecuencia se produce más madera, manteniendo un vigor elevado de ellos, lo que además permite una mayor acumulación de forraje para los años secos (Tiedeman y Johnson, 1992).

## Mantillo

El mantillo corresponde a cualquier aporte vegetal que cae de los árboles y se acumula en la superficie del suelo. Tanto los montos de mantillo aportados como la composición de éstos dependen de la especie. Así por ejemplo en dos sitios de Australia con *Acacia saligna*, precipitaciones anuales de 522 y 570 mm y temperaturas medias anuales de 17,3 y 16,3°C respectivamente, los montos varían entre 3790 y 4920 kg MS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y

están compuestos principalmente por hojas (98,4%) y solo un 1,4% de semillas (Witkowski, 1991). Otro estudio en Indonesia, con precipitaciones anuales de 2.800 mm y temperatura media anual de 27,6°C, mostraron que en *Acacia mangium* los montos se estiman en 6.000 kg MS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y están compuestos principalmente por hojas (75%) y en solo un 25% de semillas (Saharjo y Watanabe, 2000).

En los sistemas agroforestales la descomposición del mantillo es el principal proceso por el cual carbono y nutrientes son transferidos desde la vegetación al suelo (Szott *et al.*, 1991). La tasa de descomposición del mantillo fresco decrece con el tiempo. Mediciones realizadas por Berg (2000) en suelos bajo bosque, en distintos puntos entre Escandinavia y el norte de Alemania, indican que la descomposición del mantillo va desde un 0,1% día<sup>-1</sup> (materiales frescos) hasta menos de 0,00001% día<sup>-1</sup> (materiales completamente descompuestos).

## ***Opuntia ficus indica (L) Mill.***

El tipo de fotosíntesis que presenta esta especie corresponde al metabolismo ácido crasuláceo (plantas CAM), donde el CO<sub>2</sub> absorbido durante la noche es transformado en ácidos orgánicos que son acumulados en las vacuolas. Los tallos son verdes, suculentos y articulados, denominados cladodios y que corresponden a tallos modificados que reemplazan a las hojas en su función fotosintética (Sudzuki *et al.*, 1993).

La tuna se caracteriza por presentar un sistema radical muy extenso, densamente ramificado y rico en raíces finas absorbentes. Es notablemente superficial, distribuido en forma horizontal por varios metros, y alcanza un máximo de 0,8 m de profundidad si proviene de semillas y sólo 0,2 a 0,3 m en aquellas plantas multiplicadas vegetativamente (Sudzuki *et al.*, 1993).

Por otra parte, la tuna en zonas semi-áridas presenta un uso del agua altamente eficiente y una gran resistencia a la sequía (Pimienta-Barrios, 1994; Le Houérou, 1986). Además, en esta misma zona la plantación de tunas en hileras ha sido usada para controlar la erosión del suelo, al mejorar las propiedades físicas del suelo, aumentar los contenidos de materia orgánica y servir de barrera para los escurrimientos superficiales (Hoffman, 1980 ; Le Houérou, 1986).

## **Avena sativa L.**

En Chile la avena se cultiva prácticamente en todas las regiones del país. Este cereal tiene posibilidades como cultivo forrajero y de grano. Como forraje verde en el período invernal es el propósito más utilizado en Chile (Soto, 1988), pero también como forraje conservado (Silva y Lozano, 1986).

La altura máxima para realizar el corte o pastoreo debe ser de entre 25 y 30 cm,

lográndose una buena recuperación si se deja una altura residual entre 7 y 10 cm. En pastoreo la utilización de la pradera de avena debe ser rotativa para impedir que se vuelva a consumir el rebrote. Un cuidado especial se debe tener en condiciones muy húmedas, especialmente en suelos arcillosos, donde se puede ocasionar un grave daño por pisoteo (Soto, 1988).

Las raíces de esta gramínea se encuentran principalmente en los primeros 10 cm del suelo, llegando algunas veces hasta los 50 cm de profundidad (White *et al.*, 1959).

## Pradera mediterránea anual de Chile

Esta pradera se presenta en Chile desde la zona mediterránea árida hasta la zona mediterránea subhúmeda, que se caracteriza por poseer una estrata arbórea-arbustiva dominada por *Acacia caven* y una estrata herbácea, compuesta principalmente por gramíneas anuales (Silva y Lozano, 1986). Sin embargo, Ovalle y Squella (1988) separan ambas estratas, definiendo solo como “pradera o pastizal anual” al componente herbáceo de la formación vegetal y denominando “terreno de pastoreo” al conjunto de la vegetación herbácea y leñosa.

Dentro de la estrata herbácea dominan especies como *Erodium botrys*, *Erodium cicutarium*, *Trisetobromus hirtus* y *Vulpia dertonensis* (Segarra, 1980), pero además es posible encontrar especies como *Aira caryophillea*, *Briza maxima*, *Briza minor*, *Bromus mollis*, *Hordeum murinum*, *Hordeum berterianum*, *Hypochoeris glabra*, *Leontodon nudicaulis* y *Lolium multiflorum*, entre otras (Ovalle *et al.*, 1981).

La pradera anual inicia su crecimiento en otoño, después de la primera lluvia efectiva, la que humedece los primeros centímetros del suelo en tal magnitud que, a pesar de la evaporación, permite la germinación de las semillas que se encuentran en los horizontes superficiales del suelo. Al comienzo el crecimiento es bajo a causa del área foliar escasa por unidad de superficie y, a que tanto la temperatura como la radiación solar incidente disminuyen en la medida que se avanza hacia el invierno (Silva y Lozano, 1986).

A principios de primavera la pradera logra su mayor tasa de crecimiento. Se observa un marcado incremento en la producción de materia seca de la estrata herbácea, a partir del inicio de su desarrollo reproductivo (Segarra, 1980). Ello ocurre como producto de que la temperatura y la radiación solar incidente han aumentado con relación al invierno, manteniéndose aún suficiente agua en el suelo para la pradera (Silva y Lozano, 1986).

Posteriormente, las especies que componen esta pradera producen las semillas para perpetuarse. Sobreviene entonces la senescencia total de los tejidos, que ha venido aumentado en forma exponencial desde el invierno (Silva y Lozano, 1986). Salas (2001) agrega que la producción de semillas de dos especies de la pradera anual, como son *Erodium moschatum* y *Bromus berterianus*, se ven fuertemente determinadas por la ocurrencia de precipitaciones durante el período reproductivo.

La presencia de *Acacia caven* provoca cambios microambientales que pueden

favorecer un mejor desarrollo de la pradera que crece bajo su área de influencia (Castillo *et al.*, 1988). Esto último se manifiesta en una composición botánica y producción herbácea superior (Acuña *et al.*, 1983; Olivares *et al.*, 1988). De esta forma, Olivares *et al.* (1988) determinaron en un estudio en la Estación Experimental Germán Greve Silva en la zona de Rinconada de Maipú, que la producción mayor de la pradera estaba en la zona intermedia de la proyección de la copa del espino, con rendimientos entre 2000 y 3500 kg ha<sup>-1</sup>, base materia seca.

Los estudios realizados en la pradera natural mediterránea en la zona subhúmeda de Chile, indican que se presentan problemas de evaluación de la pradera debido a la variabilidad espacial alta de propiedades químicas y físicas del suelo, exposición de la pendiente, posición topográfica, antigüedad post-aradura, y composición y densidad de las estratas, tanto arbustivas como arbóreas (Ovalle *et al.*, 1981).

## **Efectos de algunas prácticas culturales en el suelo**

Si bien el suelo está constituido esencialmente por componentes orgánicos e inorgánicos estables, esto no implica que el sistema sea estático; por el contrario, es totalmente dinámico. Por lo tanto, los manejos agronómicos generan condiciones diferentes en el suelo, cuyo resultado puede ser evidenciado, por ejemplo, a través del cambio de sus propiedades y en plazos variables de tiempo.

### **Efectos de la agroforestería**

---

Dentro de los beneficios de la agroforestería está la mantención y mejoramiento de la fertilidad de los suelos (Young, 1989). La habilidad de los sistemas agroforestales para mantener o mejorar las propiedades químicas de los suelos, el contenido de materia orgánica y proteger el suelo de la erosión, se relaciona tanto a los procesos de producción y descomposición del mantillo y raíces, como a la dinámica de la materia orgánica en el suelo (Szott *et al.*, 1991). Además, los sistemas agroforestales exhiben un uso más eficiente de los nutrientes, que se evidencia al comparar la relación de nutriente aprovechado versus las menores pérdidas por lixiviación (Hartemink *et al.*, 1996; Lehmann *et al.*, 1999a).

Por otra parte, tanto Nair (1984) como Young (1989) señalan que las especies leñosas perennes que componen los sistemas agroforestales son las que causan los mayores cambios de la fertilidad del suelo. Estas presentan atributos potenciales para aumentar los rendimientos de los cultivos, debido a un incremento del aporte de nutrientes a los horizontes superficiales del suelo, por la translocación de nutrientes desde los horizontes más profundos que luego son liberados al sistema a través del mantillo (Buresh y Tian, 1998). Aunque, Kho (2000) sugiere que el efecto de los árboles en aumentar la disponibilidad de nutrientes, salvo el caso del nitrógeno, es en general negativo y las sustracciones superan a las adiciones de nutrientes en la zona de raíces.

No existen suficientes estudios de sistemas agroforestales compuestos por *Acacia saligna* y/o *Opuntia* y/o *Avena* y/o pradera mediterránea anual y su influencia sobre el suelo. De manera que en esta revisión se dará énfasis al efecto de otros sistemas agroforestales y algunas leguminosas arbóreas, que probablemente actúan de una forma similar a la *Acacia saligna* (Labill.) H. L. Wendl., en las propiedades químicas del suelo.

Materia orgánica: en climas semiáridos es común encontrar, bajo las copias de los árboles, contenidos de materia orgánica y nutrientes en el suelo más altos que en los terrenos descubiertos (Young, 1989). Así, por ejemplo el contenido de materia orgánica en el suelo aumenta junto con la cobertura generada por *Acacia caven* (Espinosa, 1982), *Acacia senegal* (Deans *et al.*, 1999) y otras leguminosas arbóreas como *Chamaecytisus proliferus* (Ovalle *et al.*, 2000).

En el caso del espino, el incremento orgánico bajo la copa se debería al mayor tiempo de acumulación de hojas y ramas (Polzenius, 1987), pero sería especialmente importante en los primeros 5 cm del suelo (Ovalle y Avendaño, 1984).

Nitrógeno: Witkowski (1991) en un estudio en Australia determinó que en el suelo las concentraciones de nitrógeno total fueron mayores bajo árboles de *Acacia saligna* y zonas adyacentes después de su establecimiento. Polzenius (1987) encontró en Chile que el contenido de nitrógeno total es superior en presencia de *Acacia caven*, aumentando también con la cobertura, pero disminuyendo a medida que la distancia desde el fuste aumenta. En el caso del espino, el aumento se produce en los 20 cm más superficiales del suelo (Ovalle y Avendaño, 1984).

Fósforo: al respecto, Espinosa (1982) observa que existe un mayor contenido de fósforo disponible en una pradera con *Acacia caven* que en una carente de esta especie. Además, dichos contenidos estarían también relacionados a una mayor cobertura de este árbol (Ovalle y Avendaño, 1984).

Sin embargo, Salazar *et al.* (1993) en un estudio de agroforestería en Perú en suelos aluviales de la parte alta de la cuenca amazónica, donde probaron tres leguminosas arbóreas combinadas con el cultivo de arroz, determinaron que en el sistema hubo una exportación neta de nutrientes con el grano y rastrojo de arroz que se observó en el declinar de los niveles de fósforo disponible en el suelo y en el declinar de los rendimientos.

Potasio: tanto Polzenius (1987) como Espinosa (1982), al hacer un muestreo de suelos de 0-30 cm y 0-10 cm respectivamente, encontraron que el contenido de potasio disponible aumenta en praderas con *Acacia caven*, y su valor disminuye a medida que la distancia desde el fuste aumenta. Algo similar ocurre en otro estudio hecho en Senegal para suelos bajo *Acacia senegal*, que después de 18 años el contenido de este macronutriente aumenta en los 10 cm más superficiales del suelo (Deans *et al.*, 1999). En cambio, Cornejo y Gándara (1980) no encontraron relación entre el potasio y las diferentes densidades de la *Acacia caven*, y señalan que este parámetro depende en gran medida de los elementos minerales que participan en la génesis de los suelos.

Reacción del suelo (pH): Polzenius (1987) informa que en la proximidad de la *Acacia caven* se produce cierta acidificación del suelo, efecto que decrece a mayor distancia del fuste. En cambio, otros autores (Espinosa, 1982; Cornejo y Gándara, 1980) no

encuentran relación entre el porcentaje de cobertura de esta misma especie y el pH del suelo, debido a la ausencia de carbonatos en los suelos considerados que indicaran una capacidad tampón alta.

Capacidad de intercambio catiónico (CIC): Frost y Edinger (1991) en un estudio en la región central de California, Estados Unidos, encontraron que la CIC es mayor en suelos donde existe una asociación entre árboles de *Quercus douglasii* Hook & Arn. y la pradera anual, que en sitios cercanos donde sólo se encuentra la pradera.

## **Efecto del agua**

---

El suelo es el principal suministrador de agua para las plantas, por su capacidad para almacenarla e ir cediéndola a medida que se requiere (Porta *et al.*, 1999). Este fluido disuelve y transporta elementos nutritivos, sales solubles y contaminantes, hace posible la absorción de iones por las raíces y tiene una marcada influencia en el comportamiento y proliferación de los microorganismos en el suelo (Arnon, 1992).

El agua en el suelo constituye un factor de control en la intensidad de una serie de procesos físicos, químicos y biológicos, que se verán favorecidos o inhibidos según sea su contenido (Porta *et al.*, 1999). Remitiéndose únicamente a aspectos de tipo físico, se ha establecido que el estado hídrico afecta a las propiedades mecánicas y conductivas del sistema suelo (Hillel, 1982).

## **Efecto de la intervención mecánica nula**

---

Debido a que en algunos sistemas agroforestales el suelo no es alterado mecánicamente desde su establecimiento, puede considerarse que sus propiedades químicas evolucionan en una forma similar a como lo hacen en un sistema de labranza cero.

Según Blevins *et al.* (1986) en el sistema de labranza cero, dejar los residuos en la superficie trae como consecuencia que el suelo presente propiedades biológicas, químicas y físicas distintas a las del suelo labrado convencionalmente. Por una parte, se incluye el hecho de que el suelo no se desplaza (no se produce mezcla alguna), y por otra, el efecto que produce la cobertura superficial al modificar la tasa de evaporación del suelo y el balance calórico.

## **Efecto de la labranza**

---

Los objetivos de la labranza en regiones semiáridas son: la preparación del suelo para la siembra y plantación de especies vegetales, control de malezas y mejoramiento de los regímenes hídricos del suelo y sus niveles de nutrientes derivados de la mineralización.

Existe una relación directa entre la intensidad de la labranza y el nivel de nutrientes disponibles del suelo. La tasa con que el nitrógeno es liberado tiende a ser proporcional a la intensidad y frecuencia de las operaciones de labranza (Arnon, 1992). Esta práctica convencional promueve la aireación y por consiguiente la descomposición de la materia orgánica del suelo, al actuar el oxígeno como aceptor de electrones en la humificación y



---

mineralización de ésta (Porta *et al.*, 1999).

## Métodos de muestreo

### Muestreo de suelos

---

El primer paso en un procedimiento racional de muestreo es el de subdividir el área en unidades homogéneas. Científicamente las unidades homogéneas se establecen mediante estudios de variabilidad espacial de las propiedades a muestrear. En la práctica estas unidades pueden estar basadas en diferencias visuales en el paisaje, el suelo o el cultivo, manejo anterior, u otros criterios, en tanto dichas diferencias presenten correlación con la propiedad de interés.

En el caso de propiedades indicadoras de la fertilidad de suelos, preferentemente 20 muestras deben ser colectadas desde cada unidad homogénea, constituyendo una muestra compuesta (Reisenauer *et al.*, 1978). Se debe tomar un volumen de suelo constante y pequeño, pero suficiente en cada sitio de muestreo, de tal forma que la muestra compuesta sea de un tamaño apropiado para el proceso analítico requerido. La profundidad a la cual se deben tomar las muestras está determinada por la especie vegetal, el uso propuesto para los análisis y por las características morfológicas del perfil de suelo; así por ejemplo, las muestras para análisis de fertilidad de suelos en cultivos anuales son, por razones de calibración, tomadas desde la capa arable (0-20 cm).

### Medición de los árboles

---

El conocimiento de la evolución en el tiempo de la biomasa arbórea es importante en sistemas agroforestales. La determinación de ésta mediante la destrucción de los árboles es problemática, debido a que por la variabilidad alta del crecimiento bajo condiciones de suministro hídrico limitado, el número de árboles que debieran ser muestreados es muy grande. Por lo tanto, la predicción de la biomasa usando algunas medidas simples es de gran valor para establecer el manejo agroforestal óptimo (Droppelmann *et al.*, 2000).

Varios estudios demuestran que la medición del perímetro basal del tronco es un parámetro que se relaciona directamente con la producción de biomasa arbórea (Stewart y Salazar, 1992; Lövenstein y Berliner, 1993; Droppelmann y Berliner, 2000). Para árboles multi-propósito muy densos, la medición del tronco a la altura del pecho (DAP) es claramente una medida inapropiada, debido a que estas especies presentan un gran número de ramas de primer orden de diámetro pequeño a una altura de inserción baja (MacDicken *et al.*, 1991). De esta forma, Stewart y Salazar (1992) recomiendan medir el perímetro basal del tronco a 10 cm desde la superficie del suelo, debido a que estos árboles multi-propósito presentan usualmente un tronco basal fuerte y grueso.

Un estudio de Olivares y Ortiz (1991) en *Acacia caven* indica que el diámetro basal

de las ramas de primer orden (DBRP) es un parámetro que se relaciona con la producción de flores y frutos. Otro estudio de Kannegiesser (1987) en *Peumus boldus* agrega que este mismo parámetro se relaciona con la biomasa foliar y de ramas.

Olivares y Alvarado (1991) señalan que en *Acacia caven* el número de ramas de primer orden (NRP) influye en la producción de leña y carbón. Otro parámetro utilizado por los autores anteriores es la altura de inserción de ramas de primer orden (AIRP).

## **Medición de la pradera**

---

Una forma de medir el rendimiento de una pradera es mediante su producción de materia seca por unidad de área. Ésta se evalúa cortando, al nivel de la superficie del suelo, la estrata herbácea circunscrita a un cuadrado de 1 a 2 m<sup>2</sup> de superficie (Feng, 1995). Posteriormente, la muestra de forraje verde recolectada se seca a 70°C durante 48 h.

## 4. MATERIALES Y MÉTODO

El estudio se realizó en un sitio de secano de la Estación Experimental Germán Greve Silva (33° 28' LS – 70° 50' LW), Rinconada de Maipú, perteneciente a la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, durante noviembre del año 2000. Los análisis de suelo, que posteriormente se indican, se realizaron en el laboratorio de Química de Suelos y Aguas, así como también en el laboratorio de Riego de la Facultad durante el año 2001.

### **Materiales**

En una extensión de una hectárea se ha desarrollado desde 1996 un ensayo agroforestal, en el que se estableció inicialmente como especie arbórea el aramo azul (*Acacia saligna* (Labill.) H. Wendl.) y los cultivos de tuna (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.) y avena (*Avena sativa* L.). Además, se considera a la pradera mediterránea anual que crecía en forma natural en el sitio en estudio. Las especies vegetales se ubicaron espacialmente en la superficie receptora (área de cultivo) de un sistema de cosecha de agua de los flujos superficiales generados por las precipitaciones (área de escurrimientos). Al respecto, las áreas de aporte equivalen a 0 y 2 veces las superficies receptoras experimentales (Figura 1).

El suelo del ensayo, de origen coluvial con influencia aluvial, pertenece a la fase

franco arenosa, delgada, bien drenada, ligeramente pedregosa, con un 10-20% de pendiente, de la Serie de Suelo *Piedmont Cuesta Barriga* (Chile – Comisión Nacional de Riego, 1981), y ha sido clasificado como Typic Haploxeroll (Luzio, 1996). Antes de la instalación de los tratamientos, se tomó una muestra compuesta de suelo dentro del área en la que se desarrolló el ensayo, a la cual se le realizaron algunos análisis de sus propiedades químicas (Anexo I. Análisis de Fertilidad de suelos antes de la instalación del ensayo).

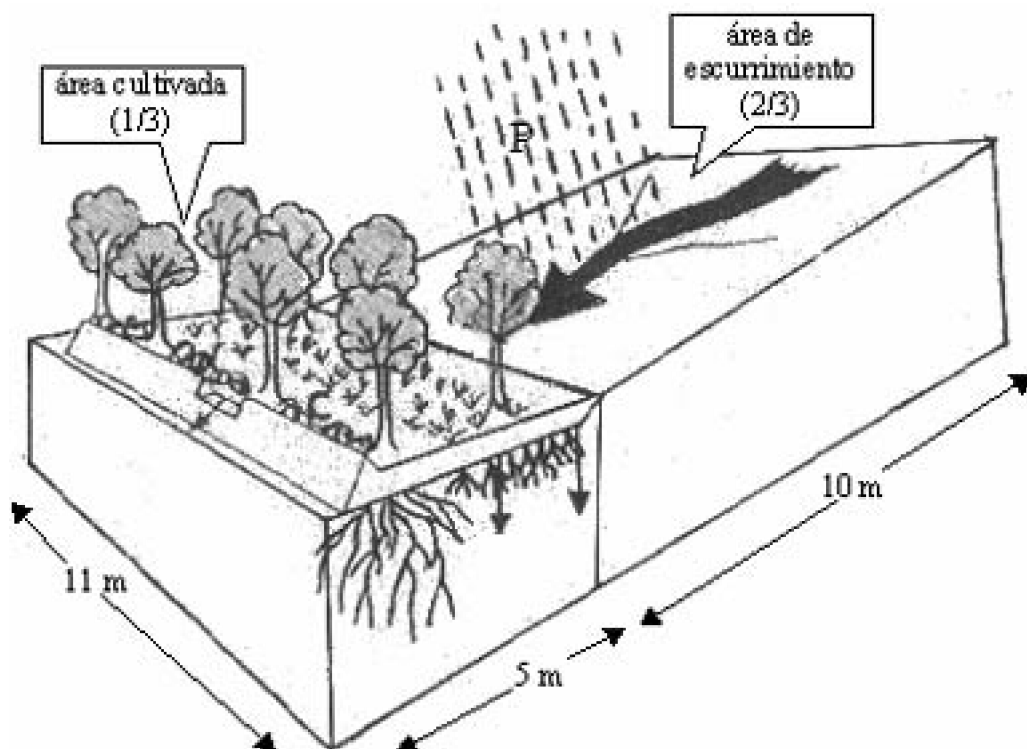


Figura 1. Diagrama del sistema establecido

El área aportante de escurrimientos (10 x 11 m) fue determinada como una primera aproximación al área ideal que debiera ser utilizada en las condiciones del estudio, tomando en consideración las precipitaciones históricas registradas en la zona (Anexo II. Precipitaciones, Estación Meteorológica de la E.E. Germán Greve Silva) y un estudio anterior desarrollado por Joel *et al.* (2002) en un sector cercano al sitio en estudio.

Además, en cada una de las parcelas el escurrimiento superficial producido y que no se infiltra en el área cultivada, es recolectado y conducido por tuberías hasta estanques individuales que tienen una capacidad para almacenar 1.600 L para el testigo y 400 L para el resto de los tratamientos.

En el ensayo se establecieron 5 tratamientos, cuyas dimensiones son 15 m de largo y 11 m de ancho, salvo los testigos que se establecieron en un tamaño de 10 x 11 m. En el Cuadro 1 se describen los tratamientos considerados en el ensayo.

	Tratamiento	Área de escurrimiento (%)	Especies vegetales	Tamaño (m)
T	Testigo	100	Pradera mediterránea anual	11x10
AL	Agroforestería - Labranza	0	<i>A saligna</i> , <i>O. ficus indica</i> y <i>A sativa</i>	11x15
ALE	Agroforestería - Labranza - Escurrimiento	67	<i>A saligna</i> , <i>O. ficus indica</i> y <i>A sativa</i>	11x15
A	Agroforestería	0	<i>A saligna</i> , <i>O. ficus indica</i> y pradera mediterránea anual	11x15
AE	Agroforestería - Escurrimiento	67	<i>A saligna</i> y <i>O. ficus indica</i> y pradera mediterránea anual	11x15

Cuadro 1. Tratamientos de Agroforestería evaluados.

### Tratamiento Testigo (T)

Este tratamiento mantuvo sólo una pradera mediterránea anual (componente herbáceo) muy degradada desde su establecimiento en 1996, y no ha sido intervenido mecánicamente por implementos que roten el suelo. De esta manera, todos los restos orgánicos generados han evolucionado en forma natural en la superficie.

El T se diseñó con un tamaño inferior (11x10 m) respecto a las otras parcelas (11x15 m), debido a que la cuantificación de los escurrimientos generados con un T de dimensiones 11x15 m necesitaría de estanques receptores de dimensiones enormes. Además, las dimensiones del T (11x10 m) son equivalentes a los 2/3 superiores de las parcelas que poseen el sistema de cosecha de aguas (ALE y AE), de tal forma que se podrían estimar los montos de los aportes de los escurrimientos a las áreas cultivadas.

### Tratamiento Agroforestería – Labranza (AL)

Este tratamiento presenta una estructura agrosilvocultural, donde se plantaron 16 árboles de *Acacia saligna*, distribuidos en toda la parcela, en un marco de plantación de 2 x 3 m en 4 filas de 4 árboles cada una. En el caso de la tuna se plantaron mitades de cladodios en hileras paralelas a las filas de los árboles. Se realizó solo una siembra de avena en la entre hilera, donde previamente se preparó el suelo a través de una inversión manual del perfil de no más de 10 cm de espesor. La avena se cosechó y fue retirada de la parcela.

### Tratamiento Agroforestería – Labranza – Ecurrimiento (ALE)

---

Este tratamiento presenta una estructura agrosilvocultural, donde se plantaron 8 árboles de *A. saligna*, distribuidos en el área cultivada (tercio inferior de las parcelas), también en un marco de plantación de 2 x 3 m en 2 filas de 4 árboles. Tanto la tuna como la avena se establecieron de igual manera al tratamiento anterior. Además, recibe riego suplementario por cosecha de aguas desde el área de escurrimientos.

### Tratamiento Agroforestería (A)

---

Este tratamiento presenta una estructura agrosilvopastoral, donde se plantaron 16 árboles de *A. saligna*, distribuidos en toda la parcela, en el mismo marco de plantación, más la tuna establecida en hileras de cladodios. Además, en el tratamiento A se mantuvo la pradera mediterránea anual que crecía en forma natural.

### Tratamiento Agroforestería – Ecurrimiento (AE)

---

Este tratamiento presenta una estructura agrosilvopastoral, donde se plantaron 8 árboles de *A. saligna*, también distribuidos en el área cultivada (tercio inferior de las parcelas), en el mismo marco de plantación, incluyendo sólo a la tuna y manteniendo la pradera mediterránea anual. Además, recibe riego suplementario por cosecha de aguas.

### Manejo general de los tratamientos

---

El sistema agroforestal se mantuvo el primer año con dificultades serias. Se verificó a) una presión de roedores (*Octodon degu*) presentes en una población elevada al interior del ensayo, atacando principalmente a los árboles de *Acacia* y b) un pastoreo accidental de ovinos, controlado con un cerco eléctrico. Como consecuencia de ambas presiones, la tuna (*Opuntia*) fue eliminada casi por completo y el segundo año (1997) gran parte de los árboles debieron ser replantados.

A partir del año 1997 se descartaron la avena y la tuna, quedando solo una asociación *A.saligna*/pradera mediterránea anual, cambiando los tratamientos a una estructura silvopastoral. Entonces, los tratamientos se diferenciaron de acuerdo al manejo (inversión del perfil de suelo, cultivo de avena y plantación de tunas iniciales), modificándose el sistema agroforestal original (Cuadro 2). Para efectos prácticos, se mantuvieron las mismas siglas que identifican a los tratamientos. Esta nueva asociación se mantuvo hasta noviembre del año 2000, fecha en la que se realizó tanto la toma de muestras de suelos como la medición de los árboles y de la pradera.

Durante el período del estudio el régimen de precipitaciones presentó una elevada variabilidad entre años, en términos de cantidad y distribución, registrándose por ejemplo 671 mm el año 1997 y sólo 80 mm el año 1998. En la Figura 2 se incluye un detalle de la distribución de las precipitaciones durante el período del estudio (años 1996-2000).

Tratamiento		Especies vegetales	
		1996	1997-2000
T	Testigo	Pradera mediterránea anual	Pradera mediterránea anual
AL	Agroforestería	<i>Acacia saligna</i>	<i>Acacia saligna</i>
	Labranza	<i>Avena sativa</i> <i>Opuntia ficus indica</i>	Pradera mediterránea anual
ALE	Agroforestería	<i>Acacia saligna</i>	<i>Acacia saligna</i>
	Labranza	<i>Avena sativa</i>	Pradera mediterránea anual
	Escurrimiento	<i>Opuntia ficus indica</i>	
A	Agroforestería	<i>Acacia saligna</i> <i>Opuntia ficus indica</i>	<i>Acacia saligna</i>
		Pradera mediterránea anual	Pradera mediterránea anual
AE	Agroforestería	<i>Acacia saligna</i>	<i>Acacia saligna</i>
	Escurrimiento	<i>Opuntia ficus indica</i>	Pradera mediterránea anual

Cuadro 2. Especies vegetales presentes en los tratamientos evaluados a través de los años

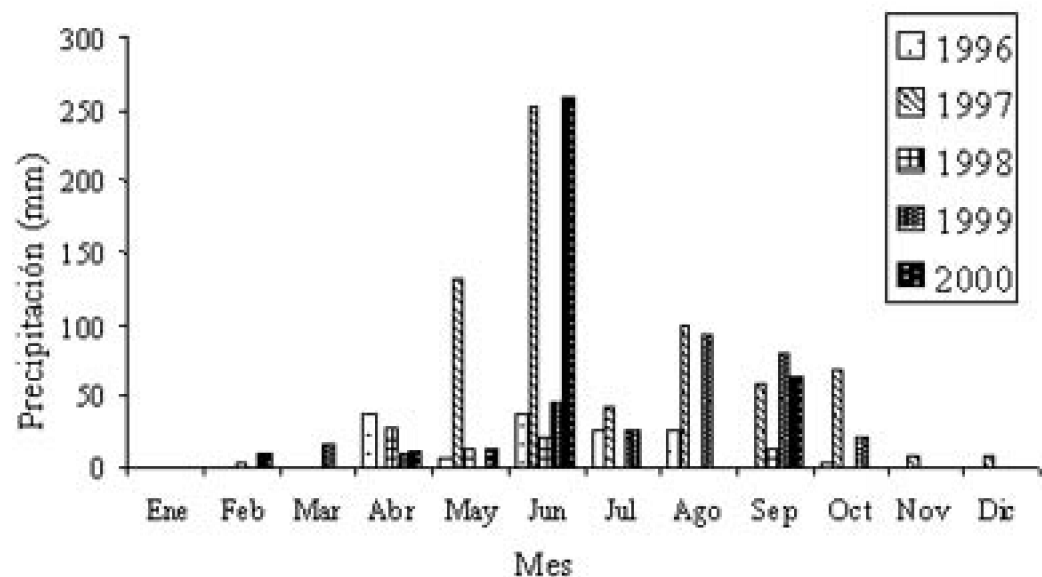


Figura 2. Distribución de las precipitaciones durante los años 1996-2000.

## Método

## Muestreo de suelos

---

Para los efectos estadísticos se usó como unidad experimental (área de muestreo) una superficie homogénea de 11 x 5 m, equivalente al tercio inferior de cada parcela. De este modo no se muestreó en las áreas de escurrimiento y solo se hizo en áreas de igual tamaño, independientemente del tratamiento.

En noviembre del año 2000 se tomaron muestras compuestas constituidas de 15 muestras dentro de cada unidad experimental, a cuatro profundidades fijas (0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm y 30-40 cm). Además, se describieron morfológicamente los suelos en calicatas para bloque, localizadas en el centro de éstos, para comparar dichas profundidades de muestreo con las de los horizontes genéticos del suelo (Apéndice I. Descripción morfológica de los perfiles de suelo para cada bloque).

## Análisis químicos

---

La materia orgánica del suelo (MOS) se determinó por vía húmeda de oxidación del carbono orgánico, utilizando el método de Walkley y Black (Page *et al.*, 1982). Los contenidos totales de nitrógeno ( $N_T$ ), fósforo ( $P_T$ ) y potasio ( $K_T$ ) fueron determinados por el método de Lachica *et al.* (1965). Finalmente, la reacción del suelo (pH) y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) fueron medidas respectivamente, en agua (relación 1:2,5) y por el método del acetato de sodio 1N a pH 8,2 (Dewis y Freitas, 1970).

## Análisis físicos

---

La caracterización física de los suelos consideró la determinación de los separados texturales por el método del hidrómetro de Bouyoucos y la densidad aparente (Db) por la vía del terrón recubierto con parafina sólida (Dewis y Freitas, 1970). Sin embargo, la medición de la Db por la vía del terrón tiende a sobrestimar el valor real de la propiedad, por lo tanto, tomando en consideración el espacio entre agregados y el contenido de arcilla de los suelos del área muestreada, se realizó un descuento de un 25% a los valores obtenidos (Letelier y Ferreyra, 1990).

## Parámetros de crecimiento de las especies vegetales

---

Todos los árboles de *A. saligna* fueron medidos utilizando parámetros de crecimiento que tuvieran correlación con la producción de materia seca (MS). Se midió entonces en cada árbol: el perímetro basal del tronco a 10 cm sobre la superficie del suelo (PB), el número de ramas de primer orden (NRP), la altura de inserción de ramas de primer orden (AIRP) y el perímetro basal de las ramas de primer orden (PBRP).

La producción de MS de la pradera mediterránea anual (PMA) se determinó recolectando las especies vegetales contenidas en un marco de 1 m<sup>2</sup>. Se realizó un muestreo al azar por triplicado dentro de cada unidad experimental, cortando al nivel de



la superficie del suelo la estrata herbácea. Finalmente cada muestra se secó durante 48 h en una estufa a 70° C.

### Diseño experimental y análisis estadístico

En el ensayo se utilizó un diseño de bloques completamente al azar con cinco tratamientos y tres repeticiones cada uno, es decir, un total de 15 parcelas (Figura 3). La unidad experimental correspondió a una superficie de 11 x 15 m y 11 x 10 m (testigo). No obstante el área de muestreo fue equivalente al tercio inferior de cada tratamiento y del mismo tamaño (11 x 5 m) en el caso del testigo.

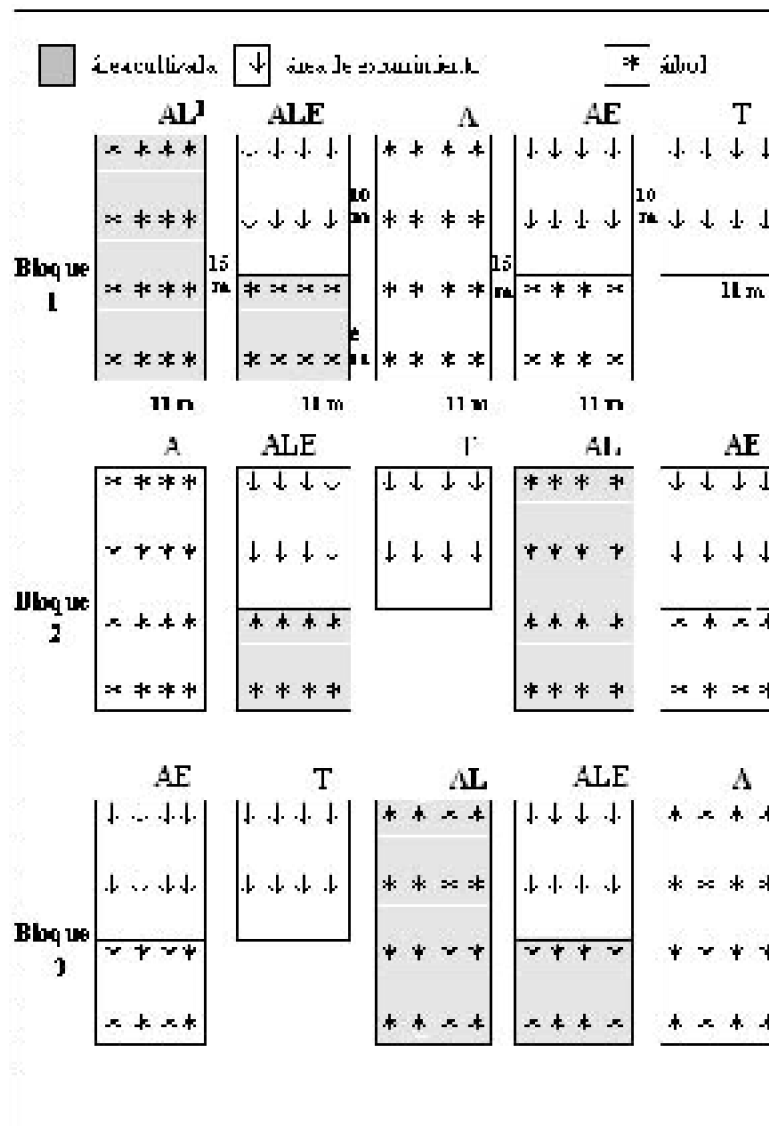


Figura 3. Distribución espacial y dimensiones de los tratamientos.

1) T = Testigo; AL= Agroforestería–Labranza; ALE = Agroforestería–Labranza–Escurremiento; A= Agroforestería; AE = Agroforestería–Escurremiento.

Los resultados fueron analizados, utilizando un software estadístico, de acuerdo con el siguiente detalle:

- El testigo fue analizado individualmente y los resultados de cada propiedad medida se sometieron a un análisis de varianza ( $\alpha = 5\%$ ), entre las distintas profundidades. Además, debido a que el testigo presenta una estructura distinta en sus dimensiones respecto a los otros tratamientos, se hicieron comparaciones individuales entre el testigo y cada tratamiento utilizando como medida estadística la prueba t de Student.
- Los resultados de los tratamientos se sometieron a un ANDEVA ( $\alpha = 5\%$ ), con el fin de determinar las diferencias posibles entre ellos. Así también, para cada tratamiento, los resultados de las propiedades medidas a las distintas profundidades se sometieron a este mismo análisis.

Se determinaron funciones de respuesta para las variables de crecimiento de los árboles y la pradera (variables dependientes), por la vía de un análisis de regresión múltiple paso a paso (stepwise), empleando las propiedades edáficas medidas en cada intervalo de profundidad como variables independientes. Previo a la definición de las funciones, se realizó un análisis de correlación con todas las variables, de manera que sólo fueron seleccionadas para el análisis posterior aquellas propiedades de suelo que presentaron el coeficiente de correlación más alto con la variable dependiente correspondiente. Finalmente, las funciones fueron definidas para un nivel de significancia del 10%, seleccionando, para cada variable de crecimiento, la función con el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) más alto.

Adicionalmente, los parámetros vegetales fueron incluidos en una matriz de correlación, para determinar posibles relaciones, tanto entre las variables medidas en la *A. saligna* como en la pradera que crece bajo su área de influencia.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se incluyen y discuten los resultados del ensayo, obtenidos de las mediciones del año 2000. Se establece primero un marco teórico simplificado del funcionamiento del sistema agroforestal/cosecha de agua estudiado y a continuación se presentan en el orden siguiente: los resultados obtenidos de las propiedades del suelo, los parámetros de crecimiento de las especies vegetales y las funciones de respuesta de las especies vegetales.

### Marco teórico

Para comprender las numerosas interacciones generadas entre las distintas especies vegetales presentes y el suelo, se plantea a continuación un marco teórico simplificado del funcionamiento de un sistema agroforestal asociado a un sistema de cosecha de aguas, basándose en estudios previos que explican la dinámica del suelo y la planta en estos sistemas (Ong, 1991; Szott *et al.*, 1991; Young, 1997; Van Noordwijk *et al.*, 1998; Lehmann *et al.*, 1999a). Esta aproximación contribuye a explicar muchos de los resultados obtenidos, tanto los de las propiedades medidas en el suelo como los de las mediciones hechas a las especies vegetales. Además, ayuda a explicar las funciones de respuesta de las especies vegetales sobre la base de propiedades medidas en los suelos. Dicho análisis se expresa gráficamente en la forma de un diagrama de flujo en la

Figura 4.

Según los autores citados en el párrafo anterior, cuando se establece el sistema agroforestal combinado con un sistema de cosecha de aguas, se produce un efecto directo sobre el suelo. Se modifican sus características por efecto de la cobertura de la asociación vegetal (balance radiativo), por el aporte mayor de agua (balance hídrico) y por los aportes de residuos vegetales que las plantas le proporcionan (balance orgánico).

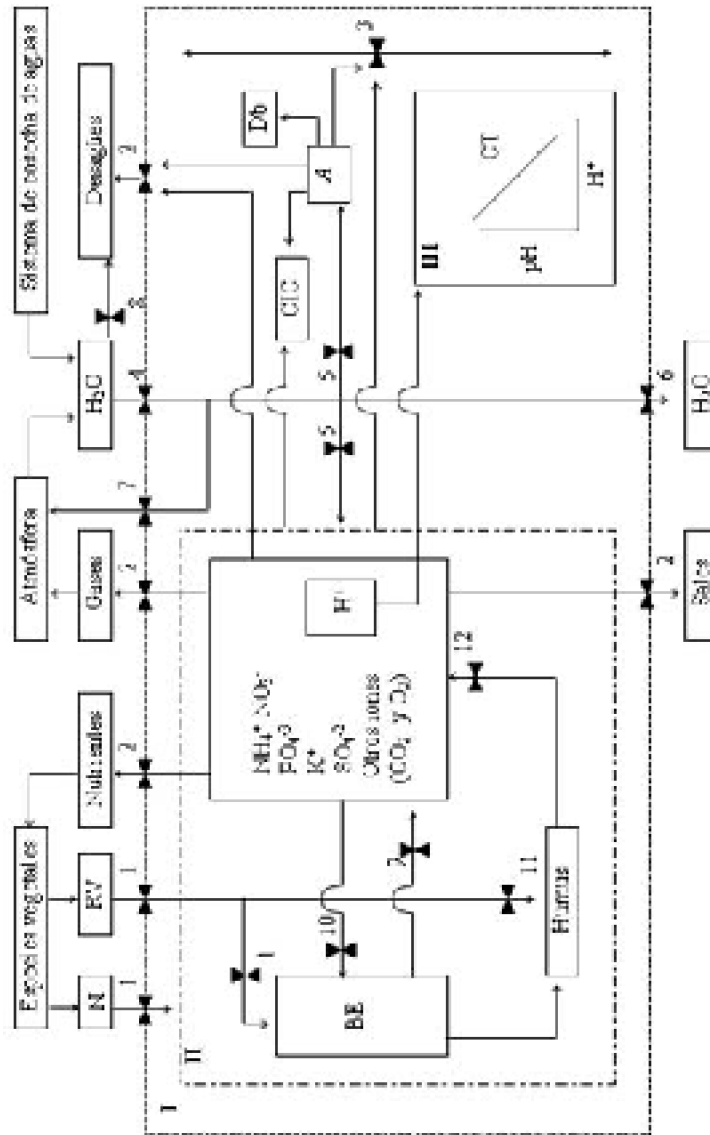


Figura 4. Diagrama de flujo en un sistema agroforestal bajo cosecha de aguas. I Sistema suelo: adición<sup>(1)</sup>, salidas<sup>(2)</sup>, translocación<sup>(3)</sup>, infiltración<sup>(4)</sup>, retención<sup>(5)</sup>, percolación<sup>(6)</sup>, evapotranspiración<sup>(7)</sup>, Escurrimiento superficial<sup>(8)</sup>; II Subsistema materia orgánica en el suelo: mineralización primaria<sup>(9)</sup>, inmovilización<sup>(10)</sup>, humificación<sup>(11)</sup>, mineralización secundaria<sup>(12)</sup>; III Subsistema de control del pH: CT (capacidad tampón).

Una forma de medir el efecto que ha tenido la combinación de sistemas sobre el suelo es evaluar las propiedades de éste, transcurrido un tiempo determinado desde su establecimiento. Este estudio se inició en 1996 y abarcó un período 5 años, aunque es

importante recordar que a partir de 1997 fueron descartados los cultivos de avena y tuna, manteniéndose sólo una asociación *A. saligna*/pradera mediterránea anual hasta el año 2000 en los tratamientos Agroforestería–Labranza (AL), Agroforestería–Labranza–Escurrimiento (ALE), Agroforestería (A) y Agroforestería–Escurrimiento (AE).

De esta forma, al analizar diferentes propiedades químicas y físicas del suelo se pueden establecer por ejemplo, relaciones entre este medio y las especies vegetales que componen el sistema agroforestal. Se obtiene así información relacionada al impacto de las especies vegetales asociadas sobre el suelo (estado nutricional, hídrico, mecánico, térmico, etc).

En el sistema suelo existe adición de residuos vegetales (RV) aportados principalmente por la incorporación (proceso de adición) tanto del mantillo depositado en la superficie por los árboles de *A. saligna* como de las raíces muertas de todas las especies vegetales (Witkowski, 1991). Otro proceso de adición lo constituye la fijación de nitrógeno (N) por parte de las raíces de la *A. saligna* en simbiosis con bacterias del suelo (Marsudi *et al.*, 1999).

La descomposición de estos RV lleva a la formación de la materia orgánica del suelo (MOS) cuya cantidad y dinámica son afectados por las propiedades del suelo y el clima local. Estos residuos vegetales (RV) son alterados por la biomasa edáfica (BE) del suelo, que se compone de una diversa microflora y microfauna. La microflora actúa a través de dos procesos simultáneos: a) transformación de las sustancias orgánicas menos resistentes que dan origen a iones inorgánicos (mineralización primaria) y b) síntesis de complejos orgánicos estables o humus (humificación). Ambos procesos son dependientes de factores de suelo tales como la temperatura, textura, pH, contenido de agua y de manejos agronómicos como la intervención mecánica nula o la labranza. Aunque el humus, en particular, es atacado lentamente por la BE (mineralización secundaria) a velocidades dependientes de las condiciones del medio (Brady, 1996).

Durante la descomposición de los residuos vegetales se produce una desprotonación de grupos funcionales orgánicos o cadenas hidrocarbonadas y una liberación de  $\text{CO}_2$ , ambos procesos contribuyen a una ganancia de  $\text{H}^+$  que disminuye el pH del suelo (McBride, 1994). No obstante, este efecto es controlado por la capacidad tampón del suelo (CT) (Casanova y Benavides, 2000).

Las numerosas especies u organismos que componen la BM necesitan de nutrientes inorgánicos para su metabolismo, por lo que tienden a inmovilizar temporalmente estos elementos. La mayor parte de los nutrientes permanecen en forma orgánica formando parte de los microorganismos hasta su muerte, momento en el que otros microorganismos mineralizan estas materias orgánicas y liberan de nuevo los nutrientes (Porta *et al.*, 1999).

Otro aporte al sistema es la incorporación de agua, que infiltra en el suelo y puede ser retenida por la matriz porosa del suelo a baja tensión y por los coloides orgánicos (MOS) e inorgánicos (arcilla, A) a alta tensión, principalmente (Hillel, 1982).

Dentro de los procesos de pérdida del sistema, las especies vegetales también extraen nutrientes, los que son absorbidos por las raíces para satisfacer sus

requerimientos y son exportados del sistema con la cosecha de los productos vegetales (Yamoah *et al.*, 1986; Lehmann *et al.*, 1999a).

Otra pérdida del sistema se produce cuando la infiltración acumulada supera la capacidad de retención del suelo, de tal forma que el agua excedente se pierde por percolación profunda. Esta pérdida conlleva la translocación o transferencia de arcilla, probablemente limo, MOS, sales simples y otras sustancias solubles que pasan rápidamente al estado de dispersión coloidal. Tanto la infiltración como la percolación dependen, entre otros factores de: la textura, porosidad (determinada por la densidad aparente, Db), el contenido de agua y la estratificación del suelo (Brady, 1996).

Otra pérdida de agua, pero en forma gaseosa, la constituye la evaporación desde el suelo y la transpiración de las plantas (evapotranspiración). Además, el agua (escurrimiento superficial) puede favorecer una remoción selectiva de partículas (arcilla, limo, MOS, nutrientes y sales) desde la capa superficial del suelo (Wiersum, 1991).

Dentro del sistema suelo la capacidad de intercambio catiónico (CIC), propiedad muy relacionada con la fertilidad de los suelos, depende de la naturaleza y cantidad de coloides minerales y orgánicos presentes (Brady, 1996).

Por otra parte, las propiedades físicas del suelo, como la textura y densidad aparente (Db), se relacionan indirectamente con el crecimiento de las especies vegetales en el sistema, al afectar el contenido de agua, aireación, temperatura y resistencia mecánica del suelo (Letey, 1985).

Finalmente, se puede agregar que las profundidades de muestreo de suelo utilizadas (0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm y 30-40 cm) coinciden con los horizontes genéticos A y B<sub>1</sub> del suelo en el sitio en estudio (Apéndice I. Descripción morfológica de los perfiles de suelo para cada bloque). Además, el horizonte A se encuentra a una profundidad de 0-19 cm en el Bloque 1, 0-17 cm en el Bloque 2 y 0-7 cm en el Bloque 3. Por su parte, el horizonte B<sub>1</sub> se encuentra a una profundidad de 19-40 cm en el Bloque 1, 17-40 cm en el Bloque 2 y 7-40 cm en el Bloque 3.

## **Propiedades del suelo**

Los resultados de las propiedades del suelo se discuten sobre la base de dos tipos de análisis: a) caracterización individual del tratamiento Testigo (T), y b) comparación de los tratamientos con T y entre ellos. En el Apéndice II (Resumen de los análisis realizados) se incluye la totalidad de los valores encontrados. Finalmente, se presenta una discusión general de las propiedades del suelo, donde se integran los resultados de los análisis anteriores.

### **Caracterización del tratamiento Testigo (T)**

---

El T es analizado individualmente, de tal forma de describir la condición no intervenida que presenta en el 5 año desde el establecimiento del ensayo. En este sentido, la

pradera mediterránea anual (componente herbáceo) ha seguido su ciclo natural durante todo el período del estudio sin modificaciones. Tanto los resultados de todas las propiedades medidas en las muestras de suelo obtenidas el año 2000, como el análisis estadístico para evidenciar diferencias entre los intervalos de profundidad (ANDEVA) se encuentran en el Cuadro 3.

El contenido de materia orgánica (MOS), es más alto en los primeros 10 cm de profundidad alcanzando los  $60,3 \text{ g kg}^{-1}$ , y presenta un descenso significativo respecto a los intervalos restantes analizados. Además, el contenido de MOS presenta un coeficiente de variación alto en el intervalo de 30-40 cm.

Propiedad del suelo <sup>1</sup>	Profundidad (cm)			
	0 – 10	10 – 20	20 – 30	30 – 40
	$\bar{x}$ CV (%)	$\bar{x}$ CV (%)	$\bar{x}$ CV (%)	$\bar{x}$ CV (%)
MOS ( $\text{g kg}^{-1}$ )	60,3 (16,0) a <sup>2</sup>	16,9 (12,4) b	17,3 (13,8) b	15,3 (24,9) b
pH	6,3 (5,5) a	6,4 (1,3) a	6,4 (0,2) a	6,4 (5,5) a
N <sub>T</sub> ( $\text{g kg}^{-1}$ )	2,3 (22,9) a	0,7 (44,4) b	0,6 (41,0) b	0,5 (12,3) b
P <sub>T</sub> ( $\text{g kg}^{-1}$ )	1,9 (10,1) a	1,7 (5,1) a	1,8 (13,0) ab	1,7 (14,3) b
K <sub>T</sub> ( $\text{g kg}^{-1}$ )	5,4 (13,1) a	5,0 (8,8) b	5,1 (3,1) a	5,0 (6,4) a
CIC ( $\text{cmol (+) kg}^{-1}$ )	25,8 (44,2) a	22,7 (61,0) ab	20,8 (61,8) b	21,2 (53,9) ab
Arcilla ( $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ )	13,8 (12,5) a	15,9 (14,9) a	17,6 (12,2) a	18,2 (5,7) a
Limo ( $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ )	20,5 (37,9) a	20,0 (4,0) a	22,2 (22,4) a	24,5 (7,1) a
Arena ( $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ )	65,7 (11,6) a	64,1 (4,4) a	60,2 (11,2) a	57,3 (1,8) a
Db ( $\text{Mg m}^{-3}$ )	1,1 (8,7) b	1,3 (5,3) a	1,3 (3,7) a	1,3 (5,3) a

Cuadro 3. Propiedades del suelo medidas en el testigo el año 2000 a distintos intervalos de profundidad.

1) MOS = materia orgánica; pH = reacción del suelo; N<sub>T</sub> = nitrógeno total; P<sub>T</sub> = fósforo total; K<sub>T</sub> = potasio total; CIC = capacidad de intercambio catiónico; A = arcilla; L = limo; a = arena; Db = densidad aparente.

2) Letras distintas en una fila indican que hay diferencias significativas ANDEVA ( $\alpha=5\%$ )

Los contenidos totales de nitrógeno (N<sub>T</sub>), fósforo (P<sub>T</sub>) y potasio (K<sub>T</sub>) son más elevados en el intervalo de profundidad más superficial, con valores de  $2,3 \text{ g kg}^{-1}$ ,  $1,9 \text{ g kg}^{-1}$  y  $5,4 \text{ g kg}^{-1}$ , respectivamente. Aunque el primero muestra un descenso abrupto, K<sub>T</sub> y P<sub>T</sub> disminuyen sólo gradualmente en profundidad. Contrariamente al K<sub>T</sub>, tanto N<sub>T</sub> como P<sub>T</sub> muestran diferencias significativas respecto a los intervalos inferiores, salvo P<sub>T</sub> respecto al intervalo 20-30 cm. Esta tendencia es similar a la seguida por los contenidos de MOS. También, el contenido de N<sub>T</sub> presenta un coeficiente de variación alto en el intervalo de profundidad de 0-30 cm.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es más alta en el intervalo de profundidad de 0-10 cm ( $25,8 \text{ cmol (+) kg}^{-1}$ ), presenta diferencias significativas con el intervalo de 20-30 cm, el que tiene los valores más bajos. Asimismo, la CIC presenta en todos los intervalos muestreados coeficientes de variación muy altos ( $> 40\%$ ).

La densidad aparente del suelo ( $D_b$ ) se encuentra en un rango medio en todos los intervalos ( $1,1 \text{ Mg m}^{-3}$  a  $1,3 \text{ Mg m}^{-3}$ ), aunque el intervalo de 0-10 cm es el menos denso y presenta diferencias significativas con los otros intervalos.

Finalmente, siendo la clase textural franco arenosa (Fa) en todos los intervalos, ninguno de los separados texturales presenta diferencias significativas en el perfil analizado. Aunque, el contenido de limo muestra un coeficiente de variación alto en los intervalos 0-10 cm y 20-30 cm.

## Comparación de los tratamientos con el Testigo (T) y entre ellos

Materia orgánica del suelo (MOS): Al comparar los resultados de los tratamientos con el T, sólo el tratamiento Agroforestería–Labranza–Escurrimiento (ALE) presenta un contenido significativamente mayor de MOS que el T, en el intervalo de profundidad de 20-30 cm (Cuadro 4 y Figura 5).

Profundidad cm	Tratamientos <sup>1</sup>				
	T	AL	ALE	A	AE
	$\text{g kg}^{-1}$				
0-10	60,3 (16,0)	55,2 (18,5) a <sup>2</sup>	40,3 (57,4) a	60,1 (21,5) a	52,1 (21,7) a
10-20	16,9 (12,4)	24,4 (34,0) a	33,9 (47,1) a	18,5 (36,7) a	25,8 (31,0) a
20-30	17,3 (13,8)	21,0 (20,3) a	22,1 (8,0) a*	18,2 (30,2) a	20,7 (5,1) a
30-40	15,3 (24,9)	16,9 (8,0) a	19,1 (36,9) a	14,7 (41,5) a	13,0 (36,8) a
$\bar{x}$ (0-40)	27,5 (16,2)	29,4 (19,8) a	28,9 (37,3) a	27,9 (27,6) a	27,9 (15,5) a

Cuadro 4. Niveles promedios ( $\text{g kg}^{-1}$ ) de materia orgánica del suelo (MOS) de los tratamientos por profundidad; entre paréntesis el CV (%)

1) 1) T = Testigo; AL = Agroforestería–Labranza; ALE = Agroforestería–Labranza–Escurrimiento; A = Agroforestería; AE = agroforestería–escurrimiento.

2) 2) Letras distintas en una fila indican que hay diferencias significativas ANDEVA ( $\alpha=5\%$ )

\*) en una fila indica diferencias significativas con T, según la prueba t de Student ( $p = 5\%$ )

Esta diferencia se atribuye a que ambas prácticas (cosecha de agua y labranza) en el tratamiento ALE, incrementarían los aportes de agua y la infiltración. Como consecuencia, mejorarían las condiciones para que la biomasa edáfica actúe sobre las



raíces muertas y las transformen en MOS (Peugeot et al., 1997; Rockström y Valentin, 1997). Por otra parte, tanto Lehmann y Zech (1998) como Lehmann et al. (1999b), trabajando con *A. saligna* y sorgo destacan que en estas condiciones se favorece el desarrollo radicular de la asociación, por lo tanto, se verificaría una mayor producción e incorporación de raíces muertas.

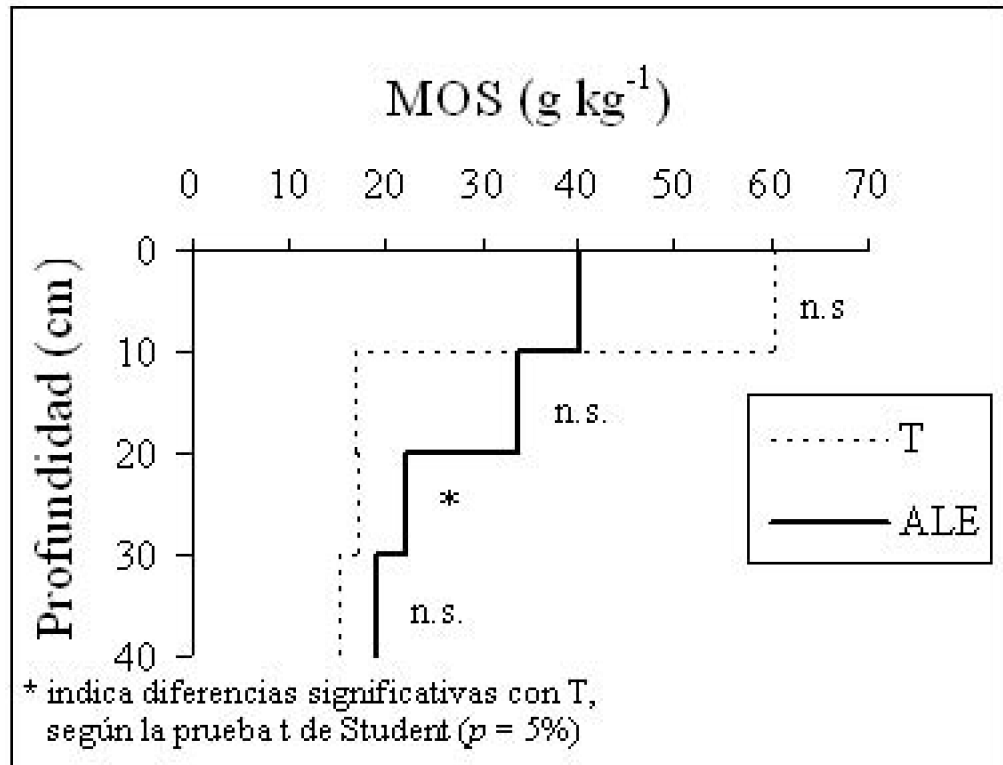


Figura 5. Perfiles de materia orgánica del suelo (MOS), para el testigo (T) y el tratamiento Agroforestería-Labranza-Escurrecimiento (ALE)

Todos los tratamientos entre sí, por intervalo de profundidad, no presentaron diferencias significativas en el contenido de MOS (Cuadro 4). No obstante, dentro de cada tratamiento, sí se encontraron diferencias significativas en estos contenidos, a las distintas profundidades (Figura 6). En este sentido, se aprecia una acumulación significativamente mayor de MOS, en el intervalo de 0-10 cm, en los tratamientos Agroforestería-Labranza (AL), Agroforestería (A) y Agroforestería-Escurrecimiento (AE), lo que expresa cómo opera la adición de la MOS en los suelos (Figura 6). Este proceso de formación de suelo (adición) permite explicar los modelos de distribución decreciente de la MOS en profundidad (Porta et al., 1999).

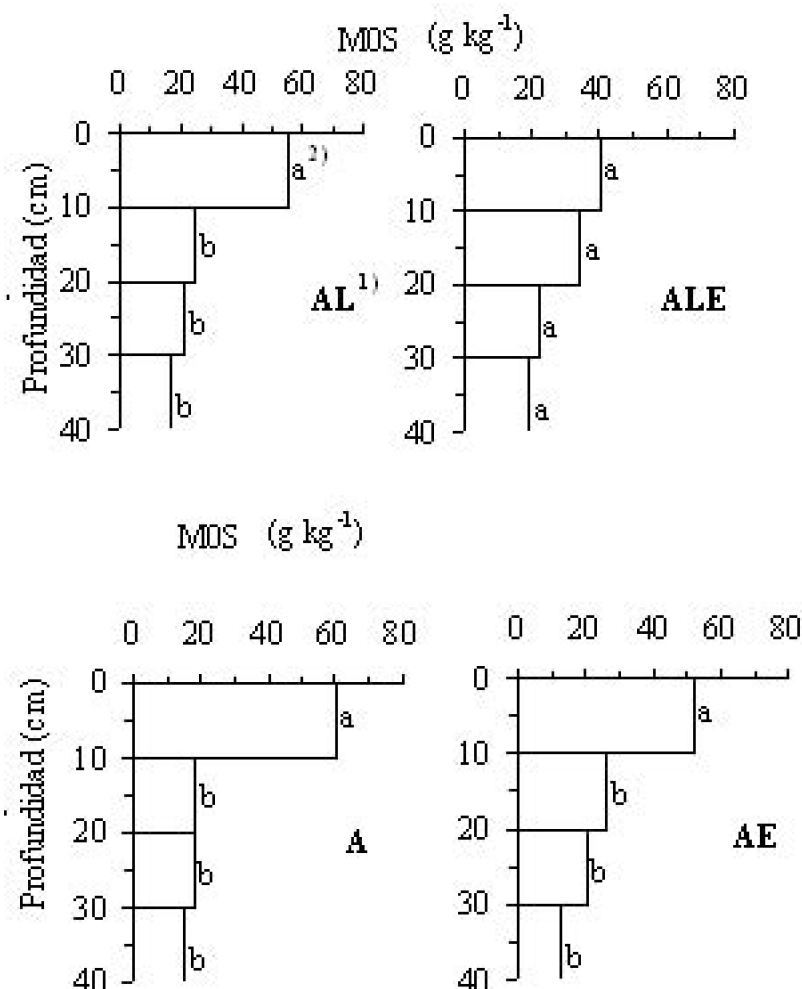


Figura 6. Perfiles de MOS de los tratamientos considerados.

1) Tratamientos: AL = Agroforestería-Labranza; ALE = Agroforestería-Labranza-Escurrimiento; A = Agroforestería; AE = Agroforestería-Escurrimiento.

2) Letras distintas en un gráfico, indican diferencias significativas en profundidad ANDEVA ( $\alpha=5\%$ )

Sin embargo, en el tratamiento Agroforestería-Labranza-Escurrimiento (ALE) tanto su valor menor en el primer intervalo de profundidad como la ausencia de diferencias significativas en este análisis entre sus intervalos (Figura 6), podrían constituir también respuestas a las prácticas culturales realizadas en él.

La labranza realizada habría implicado una disminución de la estabilidad de agregados. Esta práctica, junto con el aporte mayor de escurrimientos superficiales recibidos, habrían favorecido pérdidas oxidativas (Porta *et al.*, 1999) y también una remoción selectiva de materiales más finos del suelo por erosión hídrica en las áreas cultivadas, en particular de la MOS estrechamente asociada a estos materiales (Wiersum, 1991; Rodríguez *et al.*, 2000; Shoenholtz *et al.*, 2000).

Finalmente, dada su variabilidad espacial alta, esta propiedad en los tratamientos presenta coeficientes de variación elevados en varios de los intervalos de profundidad muestreados.

**Nitrógeno total ( $N_T$ ):** Al comparar los resultados de los tratamientos con el testigo (T), sólo el tratamiento Agroforestería–Labranza–Escurrecimiento (ALE) presenta un contenido significativamente mayor de  $N_T$ , en el intervalo de profundidad de 30-40 cm, el resto de los tratamientos a las distintas profundidades no presenta diferencias significativas con dicho control (Cuadro 5).

Por otra parte, los tratamientos entre sí y por intervalo de profundidad, no presentaron diferencias significativas, en el contenido de  $N_T$  (Cuadro 5); tampoco al comparar entre las distintas profundidades dentro de cada tratamiento. Al igual que la MOS, los tratamientos presentan coeficientes de variación elevados al analizar por intervalos de profundidad.

Profundidad cm	Tratamientos <sup>1</sup>				
	T	AL	ALE	A	AE
	$g\ kg^{-1}$				
0-10	2,3 (22,9)	2,2 (9,2) a <sup>2</sup>	1,6 (56,8) a	2,5 (8,3) a	2,2 (26,0) a
10-20	0,7 (44,4)	0,8 (54,6) a	1,1 (33,2) a	0,8 (12,3) a	0,9 (23,9) a
20-30	0,6 (41,0)	0,7 (42,7) a	0,9 (29,5) a	0,7 (10,7) a	0,8 (11,8) a
30-40	0,5 (12,3)	0,6 (34,9) a	0,8 (5,8) a*	0,6 (24,8) a	0,7 (7,9) a
$\bar{x}(0-40)$	1,0 (27,4)	1,1 (26,5) a	1,1 (34,0) a	1,1 (11,2) a	1,1 (13,5) a

Cuadro 5. Niveles promedios ( $g\ kg^{-1}$ ) de nitrógeno total del suelo ( $N_T$ ) de los tratamientos por profundidad; entre paréntesis el CV (%)

1) T= Testigo; AL= Agroforestería–Labranza; ALE = Agroforestería–Labranza–Escurrecimiento; A= Agroforestería; AE= Agroforestería–Escurrecimiento.

2) Letras distintas en una fila indican que hay diferencias significativas ANDEVA ( $\alpha=5\%$ )

\*) en una fila indica diferencias significativas con T, según la prueba t de Student ( $p = 5\%$ )

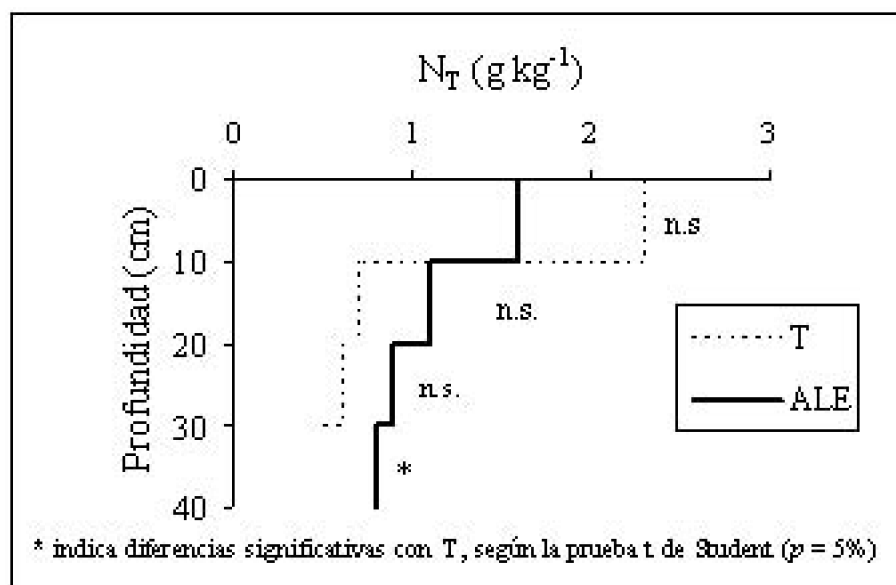


Figura 7. Perfiles de nitrógeno total suelo ( $N_T$ ), para el testigo (T) y el tratamiento Agroforestería-Labranza-Escurreamiento (ALE).

El aumento detectado en  $N_T$  para ALE en los 30-40 cm (Figura 7) es atribuible al hecho que tanto la cosecha de agua como la labranza habrían favorecido una mayor incorporación de raíces muertas de *A. saligna*, las cuales fueron transformadas por la biomasa edáfica aportando nitrógeno al suelo (Haggar *et al.*, 1993; Lehmann *et al.*, 1999b). Además, la fijación de nitrógeno por parte de las raíces de la *A. saligna* en simbiosis con bacterias del suelo, habría sido incrementada por los aportes de agua mayores (Bryan, 2000).

Fósforo total ( $P_T$ ): No se encontraron diferencias significativas al comparar los resultados de los tratamientos con los del testigo (T). Además, los tratamientos no presentaron diferencias significativas, al compararlos entre sí por intervalo de profundidad (Cuadro 6), ni al comparar dentro de cada tratamiento las distintas profundidades analizadas. Por otra parte, se destaca que en esta propiedad del suelo sólo el tratamiento ALE presenta coeficientes de variación altos, bajo los 10 cm de profundidad.

Profundidad cm	Tratamientos <sup>1</sup>				
	T	AL	ALE	A	AE
	g kg <sup>-1</sup>				
0-10	1,9 (10,1)	1,9 (14,8) a <sup>2</sup>	1,7 (8,9) a	1,7 (21,4) a	1,6 (4,7) a
10-20	1,7 (5,1)	1,8 (17,7) a	1,3 (54,1) a	1,5 (19,0) a	1,6 (3,8) a
20-30	1,8 (13,0)	1,7 (18,3) a	1,6 (23,3) a	1,5 (19,9) a	1,6 (7,1) a
30-40	1,7 (14,3)	1,6 (2,4) a	1,4 (30,9) a	1,4 (18,7) a	1,4 (5,2) a
$\bar{x}(0-40)$	1,8 (10,3)	1,7 (13,0) a	1,5 (23,5) a	1,5 (19,9) a	1,6 (4,2)

Cuadro 6. Niveles promedios ( $g\ kg^{-1}$ ) de fósforo total ( $P_T$ ) de los tratamientos por

profundidad; entre paréntesis el CV (%)

1) T= Testigo; AL= Agroforestería–Labranza; ALE = Agroforestería–Labranza–Escurrecimiento; A= Agroforestería; AE= Agroforestería–Escurrecimiento.

2) Letras distintas en una fila indican que hay diferencias significativas ANDEVA ( $\alpha=5\%$ )

Potasio total ( $K_T$ ): Al comparar los resultados en el contenido de  $K_T$  de los tratamientos con el testigo (T), sólo los tratamientos Agroforestería–Labranza (AL) y Agroforestería–Labranza–Escurrecimiento (ALE) presentan diferencias significativas con éste (Cuadro 7 y Figura 8). Se puede destacar un nivel menor de  $K_T$  en los tratamientos AL (intervalo 30-40 cm) y ALE (intervalos 10-20 y 20-30 cm).

Al comparar los tratamientos entre sí, por intervalo de profundidad, se aprecia que el tratamiento Agroforestería–Escurrecimiento (AE) presenta un contenido significativamente mayor que AL en los 30-40 cm y que ALE tanto en los 20-30 cm como al promediar los 4 intervalos de profundidad (Cuadro 7). No se encontraron diferencias significativas al comparar, dentro de cada tratamiento, las distintas profundidades analizadas.

Profundidad cm	Tratamientos <sup>1</sup>				
	T	AL	ALE	A	AE
	$g\ kg^{-1}$				
0-10	5,4 (13,1)	4,7 (9,3) a <sup>2</sup>	4,6 (6,5) a	4,7 (4,6) a	4,8 (3,2) a
10-20	5,0 (8,8)	4,6 (7,6) a	4,2 (1,9) a*	4,6 (8,9) a	4,7 (2,6) a
20-30	5,1 (3,1)	4,3 (13,1) ab	3,8 (4,8) b*	4,5 (16,1) ab	4,9 (7,1) a
30-40	5,0 (6,4)	4,1 (7,6) b*	4,2 (9,5) ab	4,6 (12,0) ab	4,8 (6,2) a
$\bar{x}(0-40)$	5,1 (5,1)	4,4 (9,1) ab	4,2 (4,2) b	4,6 (7,7) ab	4,8 (2,7) a

Cuadro 7. Niveles promedios ( $g\ kg^{-1}$ ) de potasio total ( $K_T$ ) de los tratamientos por profundidad; entre paréntesis el CV (%)

1) T = Testigo; AL = Agroforestería–Labranza; ALE = Agroforestería–Labranza–Escurrecimiento; A= Agroforestería; AE = Agroforestería–Escurrecimiento.

2) Letras distintas en una fila indican que hay diferencias significativas ANDEVA ( $\alpha=5\%$ )

\*) en una fila indica diferencias significativas con T, según la prueba t de Student ( $p = 5\%$ )

Los tratamientos Agroforestería–Labranza (AL) y Agroforestería–Labranza–Escurrecimiento (ALE) difieren del testigo (T) por la presencia de avena y *A. saligna*; con Agroforestería–Escurrecimiento (AE) sólo por la avena. Cabe recordar que en AL y ALE el cultivo de avena estuvo presente solamente en el primer

año. Por lo tanto, este contenido de  $K_T$  menor en AL y ALE se podría explicar, principalmente, por la extracción de este macroelemento que habría hecho esta gramínea, exportándolo desde el sistema a través del grano y de la caña (Yamoah *et al.*, 1986; Lehmann *et al.*, 1999a). Este proceso se ve favorecido por la densidad de raíces mayor de las gramíneas respecto a las de la *A. saligna* (Bowen, 1985; Schroth y Zech, 1995), manifestándose en la ventaja de absorber nutrientes menos móviles del suelo, tales como  $K^+$ ,  $H_2PO_4^-$  y  $NH_4^+$  (Ong, 1991; Shelton, 1994).

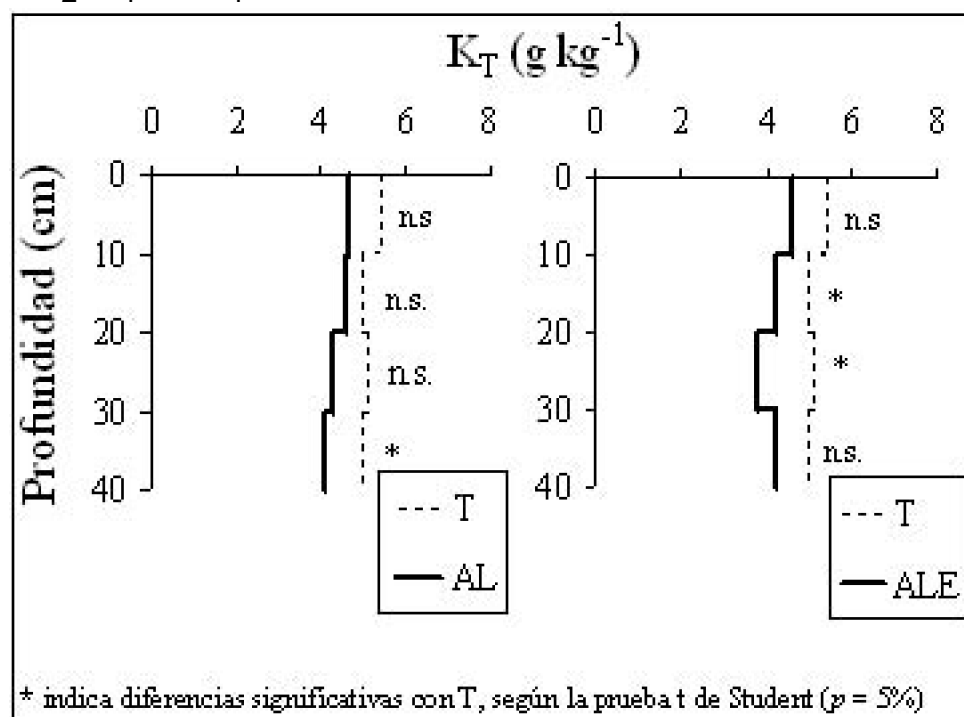


Figura 8. Perfiles de potasio total ( $K_T$ ), del testigo (T), versus los tratamientos Agroforestería-Labranza (AL) y Agroforestería-Labranza-Escurreamiento (ALE).

Reacción del suelo (pH): No se encontró ningún tipo de diferencias significativas entre los todos los tratamientos, ni dentro de ellos por profundidad (Cuadro 8).

Capacidad de intercambio catiónico (CIC): No se encontró ningún tipo de diferencias significativas entre los todos los tratamientos, ni dentro de ellos por profundidad (Cuadro 9). Sin embargo la CIC presenta coeficientes de variación muy altos en algunos de los intervalos de profundidad muestreados.

Profundidad	Tratamientos <sup>1</sup>				
	T	AL	ALE	A	AE
cm					
0-10	6,3 (5,5)	6,0 (1,1) a <sup>2</sup>	6,0 (3,8) a	6,2 (1,5) a	6,2 (1,0) a
10-20	6,4 (1,3)	6,3 (3,9) a	6,3 (1,6) a	6,2 (3,8) a	6,4 (1,7) a
20-30	6,4 (0,2)	6,3 (2,7) a	6,3 (3,8) a	6,3 (2,7) a	6,4 (1,7) a
30-40	6,3 (5,5)	6,3 (2,6) a	6,4 (0,9) a	6,4 (4,1) a	6,4 (0,9) a
$\bar{x}$ (0-40)	6,4 (3,1)	6,2 (2,6) a	6,3 (2,5) a	6,3 (3,0) a	6,3 (1,3) a

Cuadro 8. Reacción del suelo (pH) de los tratamientos por profundidad; entre paréntesis el CV (%)

1) T = Testigo; AL = Agroforestería–Labranza; ALE = Agroforestería–Labranza–Ecurrimiento; A= Agroforestería; AE= Agroforestería–Ecurrimiento.

2) Letras distintas en una fila indican que hay diferencias significativas ANDEVA ( $\alpha=5\%$ )

Profundidad	Tratamientos <sup>1</sup>				
	T	AL	ALE	A	AE
cm	$\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$				
0-10	25,8 (44,2)	26,0 (25,3) a <sup>2</sup>	20,8 (29,1) a	18,6 (10,0) a	20,4 (5,9) a
10-20	22,7 (61,0)	21,7 (24,6) a	22,0 (35,8) a	17,6 (4,3) a	19,1 (17,5) a
20-30	20,8 (61,8)	18,8 (33,1) a	21,3 (16,3) a	15,1 (55,7) a	18,0 (20,9) a
30-40	21,2 (53,9)	18,2 (32,0) a	23,0 (26,7) a	15,0 (55,1) a	18,8 (6,7) a
$\bar{x}$ (0-40)	22,6 (54,2)	21,2 (25,5) a	21,7 (26,8) a	16,6 (24,6) a	19,0 (11,7) a

Cuadro 9. Valores promedios ( $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ ) de capacidad de intercambio catiónico (CIC) de los tratamientos por profundidad; entre paréntesis el CV (%).

1) T= Testigo; AL = Agroforestería–Labranza; ALE = Agroforestería–Labranza–Ecurrimiento; A= Agroforestería; AE = Agroforestería–Ecurrimiento.

2) Letras distintas en una fila indican que hay diferencias significativas ANDEVA ( $\alpha=5\%$ )

**Separados texturales:** Entre los resultados de los tratamientos con los del testigo (T), no se aprecian diferencias significativas. No obstante, al comparar los tratamientos entre sí por intervalo de profundidad se encuentra:

**PROPIEDADES QUÍMICAS DE UN SUELO CON MANEJO AGROFORESTAL Y COSECHA DE AGUAS EN EL SECANO INTERIOR DE LA ZONA CENTRAL DE CHILE**

1) no hay diferencias significativas entre los tratamientos bajo los primeros 10 cm y

2) sólo Agroforestería-Escurrimiento (AE) presenta un contenido significativamente mayor de partículas más finas (arcilla y/o limo) sobre los 10 cm de profundidad.

Esto se aprecia en los resultados de los análisis mecánicos realizados, los que expresaron que el tratamiento AE tuviera:

1) el valor más alto de arcilla (A) sobre 10 cm entre todos los tratamientos; presenta diferencias significativas con los de Agroforestería-Labranza (AL) y Agroforestería-Labranza-Escurrimiento (ALE) (Cuadro 10),

2) el valor de arcilla más limo (A+L) superficial más alto entre todos los tratamientos, con diferencias significativas respecto a los tratamientos AL y A (Cuadro 11),

3) el valor de arena (a) más bajo de 0-10 cm de profundidad entre todos los tratamientos, presentando diferencias significativas sólo con el de Agroforestería (A) (Cuadro 12).

En el tratamiento AE, los aportes de agua desde áreas de escurrimiento han permitido la remoción selectiva de partículas finas desde el área de captación, que en este caso determinan una cierta acumulación superficial de ellas en las áreas cultivadas<sup>1</sup>. A diferencia del tratamiento ALE, en AE no se realizó una inversión del perfil (labranza), por lo tanto, se mantuvo la estabilidad de los agregados del suelo que evitó que el sistema de cosecha de aguas indujera la erosión hídrica de la zona cultivada (So *et al.*, 2001).

Profundidad cm	Tratamientos <sup>1</sup>				
	T	AL	ALE	A	AE
	g 100 g <sup>-1</sup>				
0-10	13,8 (12,5)	14,0 (20,2) b <sup>2</sup>	13,3 (14,1) b	15,1 (11,8) ab	16,4 (11,4) a
10-20	15,9 (14,9)	15,7 (20,8) a	14,1 (10,5) a	16,1 (16,9) a	16,0 (3,5) a
20-30	17,6 (12,2)	16,2 (23,7) a	13,8 (19,1) a	16,5 (15,8) a	15,6 (6,7) a
30-40	18,2 (5,7)	17,2 (22,3) a	15,4 (14,7) a	17,1 (15,4) a	17,7 (8,1) a
$\bar{x}$ (0-40)	16,4 (9,7)	15,8 (20,8) a	14,1 (12,8) a	16,2 (14,6) a	16,5 (0,9) a

**Cuadro 10. Contenido promedio (g 100 g<sup>-1</sup>) de arcilla (A) de los tratamientos por profundidad; entre paréntesis el CV (%)**

1) T = Testigo; AL = Agroforestería-Labranza; ALE = Agroforestería-Labranza-Escurrimiento; A = Agroforestería; AE = Agroforestería-Escurrimiento.

2) Letras distintas en una fila indican que hay diferencias significativas ANDEVA

<sup>1</sup> Manuel Casanova, Ing. Agr. M.Sc., Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Ingeniería y Suelos. 2002. Santiago, Chile (Comunicación personal).



( $\alpha=5\%$ )

Profundidad	Tratamientos <sup>1</sup>				
	T	AL	ALE	A	AE
cm	g 100 g <sup>-1</sup>				
0-10	34,3 (22,2)	34,6 (15,7) b <sup>2</sup>	38,5 (5,6) ab	34,8 (19,2) b	43,6 (1,6) a
10-20	35,9 (7,8)	38,5 (10,5) a	38,9 (6,9) a	37,9 (16,1) a	39,3 (9,4) a
20-30	39,8 (16,9)	37,8 (23,4) a	36,3 (8,5) a	38,9 (10,8) a	35,9 (21,3) a
30-40	42,7 (2,5)	39,1 (12,4) a	34,9 (16,4) a	38,6 (6,4) a	39,3 (7,1) a
$\bar{x}$ (0-40)	38,2 (0,6)	37,5 (13,6) a	37,2 (8,7) a	37,6 (5,6) a	39,5 (8,4) a

Cuadro 11. Contenido promedio (g 100 g<sup>-1</sup>) de arcilla más limo (A+L) de los tratamientos por profundidad; entre paréntesis el CV (%)

1) T= Testigo; AL= Agroforestería-Labranza; ALE = Agroforestería-Labranza-Escurrimiento; A= Agroforestería; AE= Agroforestería-Escurrimiento.

2) Letras distintas en una fila indican que hay diferencias significativas ANDEVA ( $\alpha=5\%$ )

Profundidad	Tratamientos <sup>1</sup>				
	T	AL	ALE	A	AE
cm	g 100 g <sup>-1</sup>				
0-10	65,7 (11,6)	64,1 (9,0) ab <sup>2</sup>	61,5 (3,6) ab	65,2 (10,2) a	56,4 (1,2) b
10-20	64,1 (4,4)	61,5 (6,5) a	61,1 (4,4) a	62,1 (10,0) a	60,7 (6,1) a
20-30	60,2 (11,2)	62,2 (14,2) a	63,7 (4,8) a	61,1 (6,9) a	64,1 (11,9) a
30-40	57,3 (1,8)	60,9 (8,0) a	65,1 (8,8) a	61,4 (4,0) a	60,7 (4,7) a
$\bar{x}$ (0-40)	61,8 (0,4)	62,2 (7,4) a	62,8 (5,2) a	62,4 (3,4) a	60,5 (5,4) a

Cuadro 12. Contenido promedio (g 100 g<sup>-1</sup>) arena (a) de los tratamientos por profundidad; entre paréntesis el CV (%)

1) T = Testigo; AL= Agroforestería-Labranza; ALE = Agroforestería-Labranza-Escurrimiento; A= Agroforestería; AE = Agroforestería-Escurrimiento.

2) Letras distintas en una fila indican que hay diferencias significativas ANDEVA ( $\alpha=5\%$ )

Densidad aparente (Db): Al comparar los tratamientos entre sí por intervalo de

profundidad se encuentra que AL presenta la Db menor en el intervalo de 0-10 cm entre todos los tratamientos, con diferencias significativas sólo con AE (Cuadro13). De este modo, en AL la labranza practicada en los primeros 10 cm habría aumentado la porosidad total del suelo y a su vez disminuido la Db.

Profundidad cm	Tratamientos <sup>1</sup>				
	T	AL	ALE	A	AE
	Mg m <sup>-3</sup>				
0-10	1,1 (8,7)	1,0 (8,0) b <sup>2</sup>	1,1 (5,7) ab	1,2 (9,1) ab	1,2 (7,6) a
10-20	1,3 (5,3)	1,2 (6,2) a	1,2 (2,9) a	1,3 (4,5) a	1,2 (13,7) a
20-30	1,3 (3,7)	1,2 (3,7) a	1,2 (2,1) a	1,2 (9,7) a	1,3 (3,5) a
30-40	1,3 (5,3)	1,3 (4,9) a	1,4 (5,1) a	1,2 (2,8) a	1,3 (2,8) a
$\bar{x}$ (0-40)	1,2 (3,6)	1,2 (4,4) a	1,2 (1,8) a	1,2 (5,5) a	1,2 (1,8) a

Cuadro 13. Densidad aparente (Db) promedio (Mg m<sup>-3</sup>) de los tratamientos por profundidad; entre paréntesis el CV (%)

1) T = Testigo; AL = Agroforestería-Labranza; ALE = Agroforestería-Labranza-Escurrimiento; A = Agroforestería; AE = Agroforestería-Escurrimiento.

2) Letras distintas en una fila indican que hay diferencias significativas ANDEVA ( $\alpha=5\%$ )

## Discusión general de las propiedades del suelo

En las propiedades del suelo, sólo Agroforestería-Labranza (AL) y Agroforestería-Labranza-Escurrimiento (ALE) presentan diferencias estadísticamente significativas con respecto al testigo (T), después de 5 años de instalado el ensayo.

Con AL se encuentran sólo para Potasio total ( $K_T$ ) en los 30-40 cm; con ALE para materia orgánica (MO) en los 20-30 cm, nitrógeno total ( $N_T$ ) en los 30-40 cm y  $K_T$  en los 10-30 cm. Estas escasas diferencias estadísticamente significativas con respecto al testigo (T) para el año 2000, podrían estar indicando que el tiempo transcurrido desde la instalación del ensayo no ha sido suficiente para mostrar cambios respecto al estado inicial del suelo. De esta manera, los beneficios potenciales de la agroforestería tendientes a mantener o mejorar las propiedades químicas de los suelos no se han manifestado claramente.

Resultados similares han sido informados por Kaya y Nair (2001) en Mali, también por Neupane y Thapa (2001) en Nepal, después de 4 y 2 años respectivamente. Además, Nair *et al.* (1995) señalan que en estos sistemas los efectos positivos en el suelo sólo se evidencian en plazos de tiempo largos.

Por otra parte, también se relacionaría al tiempo transcurrido, el hecho que los tratamientos comparados entre sí presenten diferencias significativas escasas.

Otro factor que podría estar determinando tanto la falta como la presencia de diferencias significativas, en las propiedades del suelo, sería la existencia de una variabilidad espacial elevada en el sitio estudiado. La variabilidad de las propiedades del suelo es una condición inherente al mismo, incluso a escala pequeña, debido a que en su formación intervienen varios y diversos procesos que son controlados a su vez por los factores de formación (Brady, 1996). Por lo tanto, para poder distinguir si los resultados obtenidos de las propiedades del suelo se deben realmente a la acción de los tratamientos en el suelo, es necesario considerar dichos efectos espaciales. Al respecto, las herramientas que entrega la geoestadística, particularmente la semivariografía pueden contribuir en este sentido (Bhatti *et al.*, 1991; Cahn *et al.*, 1994; Rogowski y Wolf, 1994, Shi *et al.*, 2001).

El análisis de semivariografía en esta memoria no constituía un objetivo ni sería posible llevarlo a cabo, debido a que esta herramienta para que sea estadísticamente válida, precisa de muchas más observaciones que las consideradas. No obstante, para soslayar esta dificultad, sí fue posible utilizar los mapas de isolíneas, que muestran la distribución espacial de los valores encontrados. Como una primera aproximación, estas isolíneas muestran al menos tendencias en los valores de las propiedades, además de permitir detectar la magnitud de la variabilidad espacial en el sitio de estudio (Rogowski y Wolf, 1994). Estos mapas se producen mediante técnicas de interpolación y predicción, siendo la interpolación de Kriging el procedimiento de precisión mayor en las estimaciones (Shi *et al.*, 2001).

De esta manera, en esta memoria se elaboraron mapas de isolíneas (Apéndice III: Mapas de isolíneas de las propiedades del suelo), interpolando vía Kriging, las propiedades del suelo que muestran diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos y el testigo (MOS,  $N_T$  y  $P_T$ ).

En el caso de la MOS y el  $N_T$ , las diferencias encontradas se explican por los efectos de los sistemas de manejo en el suelo, y se reflejan en los mapas de isolíneas del terreno.

Para  $K_T$  los contenidos menores en Agroforestería–Labranza (AL) y Agroforestería–Labranza–Escurrimiento (ALE) respecto al testigo (T), no pueden explicarse en su totalidad por una extracción mayor de este macronutriente por la avena y la *A. saligna*. En estas condiciones, el rango de diferencia en el contenido de  $K_T$ , supera los requerimientos de estas especies vegetales para todo el período del estudio. Así, el mapa de isolíneas indica que el testigo se localiza, en los tres bloques, en la zona de concentración mayor de  $K_T$  que cruza diagonalmente el ensayo. De esta manera, las diferencias encontradas en el contenido de  $K_T$  que se atribuyen en un principio sólo a una extracción mayor de potasio por la avena, podrían relacionarse también a la distribución espacial del contenido de  $K_T$  en el sitio de estudio.

## Parámetros de crecimiento de las especies vegetales

### Acacia saligna

De los parámetros evaluados en la *A. saligna* sólo se encontraron diferencias significativas en la medición del número de ramas de primer orden por árbol (NRP). En esta medición el tratamiento agroforestería (A) presenta el NRP mayor con 2,6 ramas por árbol y muestra diferencias significativas con los tratamientos bajo cosecha de aguas (ALE y AE) que presentan el NRP menor, con 2,1 y 2,3 ramas por árbol, respectivamente (Cuadro 14). Además, el tratamiento Agroforestería-Labranza (AL) presenta un NRP significativamente mayor que Agroforestería-Labranza-Escurrecimiento (ALE). En este caso, la disponibilidad de agua menor en los tratamientos A y AL habría inducido, en estos árboles, un NRP mayor.

Tratamientos <sup>1</sup>	Medición <sup>2</sup>			
	PB	AIRP	NRP	PBRP
	cm	cm	Nº	cm
AL	26,2 (7,2) a <sup>3</sup>	50,2 (21,2) a	2,4 (6,4) ab	17,0 (10,1) a
ALE	28,2 (5,9) a	43,0 (11,6) a	2,1 (5,9) c	18,6 (5,2) a
A	27,9 (11,1) a	50,7 (9,6) a	2,6 (2,2) a	17,0 (9,9) a
AE	28,9 (14,1) a	52,7 (18,5) a	2,3 (5,4) bc	18,5 (16,1) a

Cuadro 14. Parámetros de crecimientos de la *A. saligna*; entre paréntesis el CV (%)

<sup>1</sup>) AL = Agroforestería-Labranza; ALE = Agroforestería-Labranza-Escurrecimiento; A= Agroforestería; AE = Agroforestería-Escurrecimiento.

<sup>2</sup>) PB = perímetro basal del tronco; AIRP = altura de inserción de ramas de primer orden; NRP = Número de ramas de primer orden por árbol; PBRP = Perímetro basal de ramas de primer orden.

<sup>3</sup>) Letras distintas en una columna indican que hay diferencias significativas ANDEVA ( $\alpha=5\%$ )

Por su parte, las mediciones de perímetro basal del tronco (PB), altura de inserción de ramas de primer orden (AIRP) y perímetro basal de ramas de primer orden (PBRP) no presentan diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos (Cuadro 14). Sin embargo, se observa bajo cosecha de aguas (ALE y AE) una tendencia de los árboles a presentar PB y PBRP mayores (Cuadro 14 y Figura 9), que posiblemente en mediciones futuras muestren diferencias estadísticamente significativas con los otros

tratamientos.

En los árboles de *A. saligna* se encontró una correlación alta entre el perímetro basal del tronco (PB) y el perímetro basal de las ramas de primer orden (PBRP) (Cuadro 15).

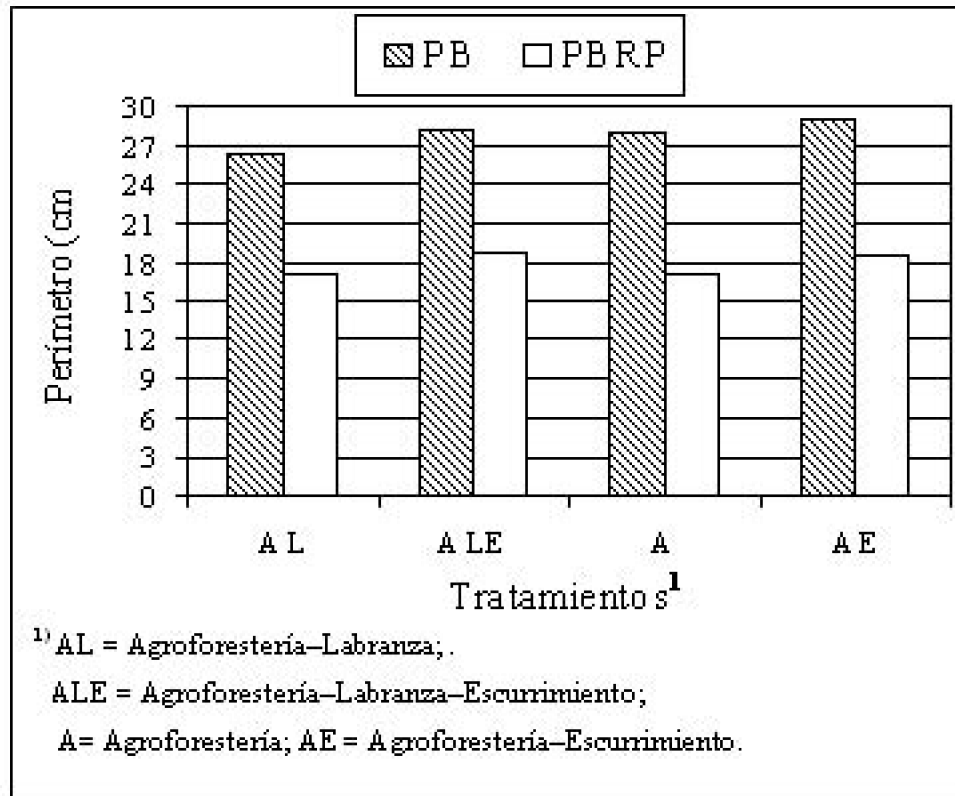


Figura 9. Mediciones en la *A. saligna* de perímetros basales del tronco (PB) y ramas de primer orden (PBRP).

Medición <sup>1</sup>	PB	AIRP	NRP	PBRP	PMA
PB	1				
AIRP	-0,11	1			
NRP	-0,37	0,61	1		
PBRP	0,92*	-0,41	-0,60	1	
PMA	-0,63	0,16	0,60	-0,69	1

Cuadro 15. Matriz de correlación de los parámetros de crecimiento de las especies vegetales

1) PB = perímetro basal del tronco; AIRP = altura de inserción de ramas de primer orden;

NRP = Número de ramas de primer orden por árbol;

PBRP = Perímetro basal de ramas de primer orden; PMA = Pradera mediterránea anual.

\* ) significativo ( $p = 5\%$ )

### Pradera mediterránea anual

Nuevamente, no se encontraron diferencias significativas entre la producción (base materia seca) de los tratamientos con la del testigo (T) (Cuadro 16). Al comparar entre los tratamientos restantes, la Agroforestería (A) tiene la producción de biomasa mayor (2.038 kg ha<sup>-1</sup>) y presenta diferencias significativas con el tratamiento de menor producción (Agroforestería-Labranza-Escurrecimiento: ALE), con 1.356 kg ha<sup>-1</sup>.

Tratamientos	Producción (base MS)
	kg ha <sup>-1</sup>
T	1.483 (32,9)
AL	2.038 (23,5) a
ALE	1.356 (22,4) b
A	1.915 (23,5) a
AE	1.685 (24,0) ab

Cuadro 16. Producción promedio (kg ha<sup>-1</sup>) de la pradera mediterránea anual (PMA) de los tratamientos; entre paréntesis el CV (%)

1) Tratamientos: T = Testigo; AL = Agroforestería-Labranza; ALE = Agroforestería-Labranza-Escurrecimiento;

A= Agroforestería; AE= Agroforestería-Escurrecimiento.

2) Letras distintas en una columna indican que hay diferencias significativas ANDEVA ( $\alpha=5\%$ )

Se encontró una correlación negativa entre la producción de la PMA y los parámetros de crecimiento de la *A. saligna* PB y PBRP, aunque estadísticamente no significativa (Cuadro 15). Sin embargo, en el tratamiento ALE la producción menor de la PMA (Cuadro 16) podría relacionarse a los PB y PBRP mayores de los árboles en este tratamiento (Cuadro 14). Cabe recordar que, de acuerdo a Dreppelmann y Berliner (2000) y otros autores, los PB mayores podrían relacionarse directamente con un crecimiento mayor de los árboles. De esta forma, una producción de biomasa arbórea mayor reduciría la intercepción de luz de la pradera y en consecuencia disminuiría su producción, interacción negativa ampliamente documentada en la literatura (Eastham *et al.*, 1990; Van Noordwijk, *et al.*, 1998). Tanto Ong (1991) como Monteith *et al.* (1991) agregan que cuando en los sistemas agroforestales el agua o los nutrientes no son un factor limitante para la producción, entonces la producción de materia seca de cada componente del

sistema está directamente relacionada con la radiación interceptada total por cada componente vegetal.

## Funciones de respuesta de las especies vegetales

Basadas en el análisis de regresión múltiple, a continuación se discuten las funciones de respuesta seleccionadas, para los parámetros de crecimiento de la *A. saligna*, que cumplieron con las medidas estadísticas definidas. En el Apéndice IV (Análisis de correlación entre los parámetros de crecimiento de las especies vegetales y las propiedades del suelo) se encuentra el análisis de correlación de todas las variables utilizadas en las funciones de respuesta. En el Cuadro 17 se muestran las funciones de respuesta seleccionadas, de acuerdo al coeficiente de determinación más alto por profundidad.

**Cuadro 17. Funciones de respuesta de los parámetros de crecimientos de la *A. saligna***

Parámetro de crecimiento <sup>1</sup>	Función de respuesta <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>
PB	$PB = 16,420 + (5,345 \times P_T (20-30 \text{ cm})) + (3,568 \times N_T (20-30 \text{ cm}))$	0,41
AIRP	$AIRP = 3,409 + (20,728 \times N_T (0-40 \text{ cm})) + (1,438 \times A (0-40 \text{ cm}))$	0,51
NRP	$NRP = 1,612 + (0,195 \times N_T (0-10 \text{ cm})) + (0,022 \times A (0-10 \text{ cm}))$	0,51
PBRP	$PRP = 10,504 + (3,813 \times P_T (20-30 \text{ cm})) + (1,590 \times N_T (20-30 \text{ cm}))$	0,35

<sup>1</sup>) PB = perímetro basal del tronco (cm); AIRP = altura de inserción de ramas de primer orden (cm); NRP = Número de ramas de primer orden por árbol; PBRP= Perímetro basal de ramas de primer orden (cm).

<sup>2</sup>)  $N_T$  = nitrógeno total ( $\text{g kg}^{-1}$ );  $P_T$  = fósforo total ( $\text{g kg}^{-1}$ ),  $A$  = arcilla ( $\text{g } 100\text{g}^{-1}$ ).

Si bien los coeficientes de determinación de las funciones de respuesta se aprecian en general estadísticamente bajos, no dejan de ser significativos considerando los innumerables factores involucrados en el crecimiento de los árboles.

Dentro de aquellas propiedades del suelo seleccionadas, se destaca que los contenidos de nitrógeno total ( $N_T$ ), fósforo total ( $P_T$ ) y arcilla ( $A$ ) fueron las únicas variables independientes seleccionadas para constituir los modelos, pero el  $N_T$  apareció en todas las funciones. Se puede apreciar también que las propiedades seleccionadas fueron directamente proporcionales a los parámetros de crecimiento evaluados para *A. saligna*.

Para el crecimiento de los árboles en los sistemas agroforestales, el nitrógeno es el nutriente mineral requerido en cantidades mayores y tiende a ser el segundo factor

limitante después del agua (Berlyn y Cho, 2000). Los mismos autores agregan que el fósforo constituye el segundo nutriente mineral más limitante para el crecimiento de los árboles.

Smith (2000) informa que el contenido de arcilla se relaciona directamente a la capacidad de retención de agua del suelo, lo que afecta el suministro hídrico de los árboles y determina su crecimiento a través de la temporada.

Por último, cabe destacar que para la pradera mediterránea anual no se encontró ninguna función que cumpliera con las medidas estadísticas predeterminadas. Esto podría indicar que otros factores ambientales (agua, luz, etc.) estarían determinando la producción de la pradera, más que las propiedades del suelo analizadas.



## 6. CONCLUSIONES

- El tratamiento Agroforestería-Labranza-Escurrimiento (ALE) habría incrementado los aportes de agua y la infiltración en el perfil, lo que se refleja en una acumulación subsuperficial, respecto al testigo (T), en los contenidos de materia orgánica (20-30 cm) y nitrógeno total (30-40 cm).
- En el mismo tratamiento (ALE) se vieron favorecidas, superficialmente, las pérdidas oxidativas de la materia orgánica del suelo y la remoción selectiva de materiales por erosión hídrica.
- En el tratamiento Agroforestería-Escurrimiento (AE), asociada a dicha remoción selectiva generada por el escurrimiento, se advierten procesos de depositación en el área cultivada.
- Los tratamientos con un cultivo inicial de avena (AL y ALE) presentaron una declinación en sus niveles de potasio total ( $K_T$ ), lo que se atribuyó a una extracción mayor por este cultivo y al patrón de distribución espacial del  $K_T$  en el sitio de estudio.
- Los contenidos de nitrógeno total ( $N_T$ ), de fósforo total ( $P_T$ ) y de arcilla (A) determinaron en mayor medida el crecimiento de los árboles de *A. saligna*, de acuerdo a las funciones de respuestas definidas.
- Si bien este ensayo permite visualizar ciertas tendencias, en función de los tratamientos considerados, éstos presentaron pocas diferencias estadísticamente significativas en muchos de los parámetros, lo que podría atribuirse a un tiempo

transcurrido insuficiente, desde el establecimiento del sistema.

---

## 7. LITERATURA CITADA

- ACUÑA, H., AVENDAÑO, J. y OVALLE, C. 1983. Caracterización y variabilidad de la pradera natural del secano de la zona Mediterránea subhúmeda. *Agricultura Técnica (Chile)*, 43 (1): 27-38.
- ALCAÍNO, E., BENEDETTI, S., PERRET, S. y VALDEVENITO, G. 1995. *Acacia saligna* una especie multipropósito: su potencial forrajero en la Provincia de Choapa, IV Región. *Ciencias Forestales* 10 (1-2): 73-84.
- ARNON, I. 1992. Agriculture in dryland, principles and practices. Amsterdam, The Netherlands, *Developments in Agricultural and Managed-Forest Ecology* 26. 979 p.
- BERG, B. 2000. Litter decomposition and organic matter turnover in northern forest soils. *Forest Ecology and Management*, 133: 13-22.
- BERLYN, G.P. and CHO, J. 2000. Light, moisture, and nutrient use by plants. pp. 9-39. *In: Ashton, M.S. and Montagnini, F. (Eds.). The silvicultural basis for agroforestry systems.* CRC Press, London. 278 p.
- BHATTI, A.U., MULLA, D.J., KOEHLER, F.E. and GURMANI, A.H. 1991. Identifying and removing spatial correlation from yield experiments. *Soil Science Society of American Journal*, 55: 1.523-1.528.
- BHUSHAN, L.S., YADAV, R.C., SINGH, B.L., TIWARI, A.K., SINGH, M., GAUR, M.L. and BABU RAM. 1992. Prospects for rainfed agriculture in gullied and ravine catchments through soil and water conservation practices. *Journal of Arid Environments*, 23 (4): 433- 441.

- BLEVINS, R., SMITH, M. y THOMAS, G. 1986. Cambios en las propiedades del suelo con el laboreo nulo. pp. 197-239. *In*: Phillips, R. y Phillips, S. (Eds.). Agricultura sin laboreo: principios y aplicaciones. Bellaterra, Barcelona, España. 316 p.
- BOERS, Th. M. and BEN-ASHER. 1982. A review of rainwater harvesting. *Agricultural Water Management*, 5: 145-158.
- BOWEN, G.D. 1985. Roots as a component of tree productivity. pp. 303-315. *In*: Cannel, M.G.R. and Jackson, J.E. (Eds.). Attributes of tree as crop plants. Institute of terrestrial Ecology, Abbots Ripton, United Kingdom. 592 p.
- BRADY, N.C. 1996. The nature and properties of soils, Eleventh Edition. Prentice-Hall International, Inc., New Jersey. 740 p.
- BRATTI, J. 1996. Efecto de la altura de corte en el rebrote de *Acacia saligna* (Labill. H. Wendl). Memoria Ing. For. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. 61 p.
- BRYAN, J.A. 2000. Nitrogen-fixing leguminous trees and shrubs: a basic resource of agroforestry. pp. 41-60. *In*: Ashton, M.S. and Montagnini, F. (Eds.). The silvicultural basis for agroforestry systems. CRC Press, London. 278 p.
- BURESH, R.J. and TIAN, G. 1998. Soil improvement by trees in sub-Saharan Africa. *Agroforestry Systems*, 38: 51-76.
- CAHN, M.D., HUMMEL, J.W. and BROUER, B.H. 1994. Spatial analysis of soil fertility for site-specific crop management. *Soil Science Society of American Journal*, 58: 1.240-1.248.
- CARNEVALE, J. 1955. Árboles Forestales. Librería Hachette, Buenos Aires, Argentina. 689 p.
- CASANOVA, M. y BENAVIDES, C. 2000. Estimación del potencial de volatilización del suelo en aplicaciones superficiales difusas de N-urea. pp. 366-371. *In*: Facultad de Agronomía UBA (Ed.). Avances en Ingeniería Agrícola (1998-2000). UBA, Argentina. 686 p.
- CASTILLO, H., OLIVARES, A. y POLZENIUS, H. 1988. Modificaciones microambientales de las características microambientales provocadas por la presencia de *Acacia caven* (Mol.) Mol. I. Influencia en el microambiente. *Avances en Producción Animal*, 13 (1-2): 31-40.
- CORNEJO, R.E. y GÁNDARA, J.W. 1980. Influencia de la estrata arbustiva en la productividad de la estrata herbácea de la estepa de *Acacia caven* (Mol.) Hook et Arn. Memoria Ing. For. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. 91 p.
- CHILE – COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO. 1981. Estudio de Suelos del Proyecto Maipo (4 vol. y 4 tomos de mapas). Agrolog-Chile Ltda., Santiago. 802 p.
- DEANS, J.D, DIAGNE, O., LINDLEY, D.K, DIONE, M. and PARKINSON, J.A. 1999. Nutrient and organic-matter accumulation in *Acacia senegal* fallows over 18 years. *Forest Ecology and Management*, 124: 153-167.
- DEWIS, J. and FREITAS, F. Physical and Chemical Methods of Soil and Water Analysis. Rome, Italy, Food and Agricultural Organization of the United Nations. Soils Bulletin N° 10. 252 p.

- DROPPELMANN, K.J. and BERLINER, P.R. 2000. Biometric relationships and growth of pruned and non-pruned *Acacia saligna* under runoff irrigation y northern Kenya. *Forest Ecology and Management*, 126: 349-359.
- , LEHMANN, J., EPHRATH, J.E. and BERLINER P.R. 2000. Water use efficiency and uptake patterns in a runoff agroforestry system in an arid environment. *Agroforestry Systems*, 49 (3): 223-243.
- EASTHAM, J., ROSE, C.W., CHARLES-EDWARDS, D.A., CAMERON, D.M. and RANCE, S.J. 1990. Planting density effects on water use efficiency of trees and pasture in a agroforestry experiment. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 20 (1): 39-53.
- ESPINOSA, M. 1982. Efecto de la temperatura y humedad del suelo sobre la degradación de la materia orgánica en un sector del secano interior de la Región Metropolitana. Memoria Ing Agr. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. 81 p.
- FARAHANI, H., PETERSON, G and WESTFALL, D. 1998. Dryland cropping intensification: A fundamental solution to efficient use of precipitation. *Advances in Agronomy*, 64: 197-223.
- FENG, J.C. 1995. Soil Conservation Handbook. China, Food Fertilizer Technology Center for the Asian and Pacific region. Book Series N° 11. 432 p.
- FINKEL, H. J. and FINKEL, M. 1986. Engineering Measures: Water Harvesting. pp. 93-101. *In*: Finkel, H. (Ed.). *Semiarid Soil and Water Conservation*. CRC Press, Inc, Israel. 126 p.
- FAO. 1976. A framework for land evaluation. Rome, Italy, Food and Agricultural Organization (FAO). *Soils Bulletin* N° 32. 72 p.
- 1995. [On-line]. *Especies Arbóreas y Arbustivas para las Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina*. Disponible en el WWW: <http://www.rlc.fao.org/redes/sisag/arboles/Chi-a-sa.htm>. Citado: 10 de diciembre del 2001.
- FRASIER, G.W. and MYERS, L.E. 1983. Handbook of water harvesting. Washington, Estados Unidos, United State Department of Agriculture. *Agriculture Handbook* 600. 45 p.
- FROST, W. and EDINGER, S. 1991. Effects of tree canopies on soil characteristics of annual rangeland. *Journal of Range Management*, 44 (3): 286-288.
- GOVINDARAJAN, M., RAO, M.R, MATHUVA, M.N. and NAIR, P.K.R. 1996. Soil-Water and root dynamics under hedgerow intercropping in semiarid Kenya. *Agronomy Journal*, 88: 513-520.
- HAGGAR, J.P., TANNER, E.V.J., BEER, J.W. and KASS, D.C.L. 1993. Nitrogen dynamics of tropical agroforestry and annual cropping systems. *Soil Biology and Biochemistry*, 25 (10): 1.363-1.378.
- HARTEMINK, A.E., BURESH, R.J., BASHIR JAMA and JANSSEN, B.H. 1996. Soil nitrate and water dynamics in sesbania fallow, weed fallows, and maize. *Soil Science Society of American Journal*, 60: 568-574.
- HILLEL, D. 1982. *Introduction to Soil Physics*. Academic Press. New York and London.

365 p.

- HOFFMAN, W. 1980. The many uses of prickly pears in Peru and Mexico. *Plant Research and development*, 12: 58-68.
- Joel, A., Messing, I., Seguel, O. and Casanova, M. 2002. Measurement of surface water runoff from plots of two different sizes. *Hydrological Processes*, 16: 1.467-1.478.
- KAARAKKA, V. 1996. Management of bushland vegetation using rainwater harvesting in eastern Kenya. Helsinki, Finland, The Finnish Society of Forest Science - The Finnish Forest Research Institute. *Acta Forestalia Fennica* N° 253. 93 p.
- KANNEGIESSER, U. 1987. Evaluación de biomasa y boldina en boldo (*Peumus boldus* Mol.), VII región. Memoria Ing For. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. 97 p.
- KAYA, B. y NAIR, P.K.R. 2001. Soil fertility and crop yields under improved-fallow systems in southern Mali. *Agroforestry Systems*, 52 (1): 1-11.
- KHO, R.M. 2000. A general tree-environment-crop interaction equation for predictive understanding of agroforestry systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 80: 87-100.
- LACHICA, M., RECALDE, L. y ESTEBAN, E. 1965. Análisis foliar. Métodos analíticos utilizados en la Estación Experimental Zaidín. *Anales de Edafología y Agrobiología*, 24 (9-10): 589 – 610.
- LARYEA, K.B. 1992. Rainfed agriculture: water harvesting and soil water conservation. *Outlook on Agriculture*, 21 (4): 271-277.
- LE HOUÉROU, H.N. 1986. The role of cacti (*Opuntia spp.*) in erosion control, land reclamation, rehabilitation and agriculture development in the Mediterranean Basin. *Journal of Arid Environment*, 33: 135-159.
- LE ROUX, X., BARIAC, T. and MARIOTTI, A. 1995. Spatial partitioning of the soil water resource between grass and shrubs components in a West African humid savanna. *Oecologia*, 104: 147-155.
- LEFROY, E.C., DANN, P.R., WILDIN, J.H, WESLEY-SMITH, R.N. and MCGOWAN, A.A. 1992. Trees and shrubs as sources of fodder in Australia. *Agroforestry Systems*, 20: 117-139.
- LEHMANN, J. and ZECH, W. 1998. Fine root turnover of irrigated hedgerow intercropping in Northern Kenya. *Plant and Soil*, 198: 19-31.
- , DROPPELMANN, K. and ZECH, W. 1998a. Runoff irrigation of crops with contrasting root and shoot development in northern Kenya: water depletion and above- and below-ground biomass production. *Journal of Arid Environments*, 38: 479-492.
- , PETER, I., STEGLICH, C., GEBAUER, G., HUWE, B. and ZECH, W. 1998b. Below-ground interactions in dryland agroforestry. *Forest Ecology and Management*, 111: 157-169.
- , WEIGL, D., DROPPELMANN, K., HUWE, B. and ZECH, W. 1999a. Nutrient cycling in agroforestry system with runoff irrigation in Northern Kenya. *Agroforestry Systems*, 43: 49-70.
- , WEIGL, D., PETER, I., DROPPELMANN, GEBAUER, G., GOLDBACH,

- H. and ZECH, W. 1999b. Nutrient interactions of alley cropped Sorghum bicolor and Acacia saligna in a runoff irrigation system in Northern Kenya. *Plant and Soil*, 210: 249-262.
- LETELIER, E. y FERREYRA, R. 1990. Comparación de tres métodos de medir la densidad aparente del suelo. *Agricultura Técnica (Chile)*, 50 (2): 125-129.
- LETEY, J. 1985. Relationship between soil physical properties and crop production. *Advances in Soil Science*, 1: 277-294.
- LI, F.R., COOK, S., GEBALLE, G.T. and BURCH, W.R. 2000. Rainwater harvesting agriculture: an integrated system for water management on rainfed land in China's semiarid areas. *Ambio*, 29 (8): 477-483.
- LUNDGREN, B. 1982. Introduction. *Agroforestry Systems*, 1 (1): 3-6.
- LUZIO, W. 1996. Clasificación taxonómica de los suelos de la Región Metropolitana y VI Región (Keys to soil Taxonomy, SCS, USDA, 1994). Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Departamento de Ingeniería y Suelos, Santiago. 21 p.
- LÖVENSTEIN, H.M., BERLINER, P.R. and VAN KEULEN, H. 1991. Runoff agroforestry in arid lands. *Forest Ecology and Management*, 45, 59-70.
- and BERLINER, P.R. 1993. Biometric relationships for non-destructive above ground biomass estimations in young plantations of *Acacia salicina* Lindl. and *Eucalyptus occidentalis* Endl. *New Forests*, 7: 255-273.
- MACDICKEN, K.G., WOLF, G.V. and BRISCOE, C.B. 1991. Standard research methods for multipurpose trees and shrubs. Arlington, USA, International Council for Research in Agroforestry and Winrock International Institute for Agricultural Development. Multipurpose tree species network research series, Manual N° 5. 92 p.
- MARSUDI, N.D.S, GLENN, A.R. and DILWORTH, M..J. 1999. Identification and characterization of fast- and slow-growing root nodule bacteria from South-Western Australian soils able to nodulate *Acacia saligna*. *Soil Biology and Biochemistry*, 31: 1.229-1.238.
- McBRIDE, M.B. 1994. Environmental Chemistry of soils. Oxford University Press, New York. 406 p.
- McINTYRE, B.D., RIHA, S.J. and ONG. 1997. Competition for water in a hedge-intercrop systems. *Field Crop Research*, 52: 151-160.
- MONTEITH, J.L., ONG, C.K. and CORLETT, J.E. 1991. Microclimatic interactions in agroforestry systems. *Forest Ecology and Management*, 45: 31-44.
- MORRIS, R.A., VILLEGAS, A.N., POLTHANEE, A. and CENTENO, H.S. 1990. Water use by monocropped and intercropped cowpea and sorghum grown after rice. *Agronomy Journal*, 82: 664-668.
- NAS. 1979. Tropical Legumes: Resources for the Future. National Academy of Sciences (NAS), Washington, D.C. 331 p.
- NAS. 1980. Firewood Crops: Shrub and Tree Species for Energy Production. National Academy of Sciences (NAS), Washington, D.C. 237 p.
- NAIR, P.K.R. 1984. Soil productivity aspects of agroforestry. Nairobi, Kenya, International Council for Research in Agroforestry (ICRAF). Science and Practice of

Agroforestry N° 1. 85 p.

- , 1985. Classification of agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 3: 97-128.
- , KANG, B.T. y KASS, D.C.L. 1995. Nutrient cycling and soil-erosion control in agroforestry systems. pp. 117-138. *In: Juo, A.S.R. and Freed, R.D. (Eds.). Agriculture and environment: bridging food production and environmental protection in developing countries. Madison, WI, United States, American Society of America (ASA). ASA special publication N° 60. 275 p.*
- NEUPANE, R.P. y THAPA, G.B. 2001. Impact of agroforestry on soil fertility and farm income under the subsistence farming system of the middle hills, Nepal. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 84 (2): 157-167.
- OLIVARES, A., CASTILLO, H. y POLZENIUS, H. 1988. Modificaciones de las características microambientales provocadas por la presencia de *Acacia caven* (Mol.) Mol. II. Influencia en la estrata herbácea. *Avances en Producción Animal*, 13 (1-2): 41-48.
- y ALVARADO, W. 1991. Relación entre el hábito de crecimiento del espino (*Acacia caven* (Mol.) Mol.) y la producción de leña y carbón. *Avances en Producción Animal*, 16 (1-2): 95-107.
- y ORTIZ, G. 1991. Influencia del hábito de crecimiento del espino (*Acacia caven* (Mol.) Mol.) en la producción de flores y frutos. *Avances en Producción Animal*, 16 (1-2): 81-93.
- ONG, C.K. 1991. Interactions of light, water, and nutrients in agroforestry systems, p. 107-124. *In: Avery M.E., Cannell, M.G.R. and Ong, C.K. (Eds.). Biophysical research for Asian agroforestry. Winrock Int. and Oxford & IBH, New Delhi. 292 p.*
- OVALLE, C., AVENDAÑO, J. ETIENNE. M., MUÑOZ, M. y SERRA M. 1981. Determinación del valor pastoral en praderas naturales de la zona Mediterránea Subhúmeda y su relación con la carga animal. *Agricultura Técnica (Chile)*, 41 (4): 221-231.
- y -----, 1984. Utilización silvopastoral del espinal. Influencia del espino (*Acacia caven* Mol.) sobre algunos elementos del medio. *Agricultura Técnica (Chile)*, 44 (4):339-345.
- OVALLE, C. y SQUELLA, F. 1988. Terrenos de pastoreo con praderas anuales en el área de influencia climática mediterránea, p. 369-410. *In: Ruiz, I. (Ed.) Praderas para Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Santiago, Chile. 723 p.*
- , ARONSON, J., AVENDAÑO, J. y DEL POZO, A. 2000. Alternativas de praderas y sistemas agroforestales en relación con el manejo sostenible de los suelos en el secano interior de la zona central de Chile. Santiago, Chile, Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Boletín INIA N° 42. 250 p.
- , ZAGAL, E., FRAGA, A., AVENDAÑO, J., ARONSON, J. and MANZANARES, P. 2002. Nutrient cycling and water balance in agroforestry systems with legume trees in Mediterranean central Chile. pp. 13-14. *In: Gamini Keerthisingue (Ed). Report of the Second Research Co-ordination Meeting of the FAO/IAEA Co-ordinated Research Project held in Kuala Lumpur, Malaysia, 7-11 May, 2001. IAEA, Vienna. 24 p.*



- PAGE, A., MILLER, R. and KEENEY, D. 1982. Methods of soil analysis. ASA-SSSA. Madison, WI, USA. 1.159 p.
- PEUGEOT, C., ESTEVES, M., GALLE, S. and RAJOT, J.L. 1997. Runoff generation processes: results and analysis of field data collected at the East Central Supersite of the HAPEX-Sahel experiment. *Journal of Hydrology*, 188-189: 179-202.
- PIMIENTA-BARRIOS, E. 1994. Prickly Pear (*Opuntia* spp.): a valuable fruit crop for the semi-arid lands of Mexico. *Journal of Arid Environments*, 28: 1-11.
- POLZENIUS, G. 1987. Características microambientales provocadas por la presencia de *Acacia caven* (Mol.) Hook. et Arn. Memoria Ing. Agr. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. 101 p.
- PORTA, J., LOPEZ-ACEVEDO, M. y ROQUERO, C. 1999. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ediciones Mundi-Prensa, España. 849 p.
- REIJ, C., MULDER, P. and BEGEMANN, L. 1988. Water Harvesting for Plant Production. Washington, D.C., United States of America, The World Bank. World Bank technical paper N° 91. 123 p.
- REISENAUER, H. M., QUICK, J., VOSS, R. E. and BROWN, A. L. 1978. Soil and Plant-Tissue Testing in California. California, USA, Division of Agricultural Sciences University of California. Bulletin N° 1879. 54 p.
- ROCKSTRÖM J. and VALENTIN, C. 1997. Hillslope dynamics of on-farm generation of surface water flows: The case of rain-fed cultivation of pearl millet on sandy soil in the Sahel. *Agricultural Water Management*, 33: 183-210.
- RODRÍGUEZ, N., RUZ, E., VALENZUELA, A. y BELMAR, C. 2000. Efecto del sistema de laboreo en las pérdidas de suelo por erosión en la rotación trigo-avena y praderas en la precordillera andina de la región centro sur. *Agricultura Técnica*, 60 (3): 259-269.
- ROGOWSKI, A.S. and WOLF, J.K. 1994. Incorporating variability into soil map unit delineations. *Soil Science Society of American Journal*, 58 (1): 163-174.
- SAHARJO, B.H. and WATANABE, H. 2000. Estimation of litter fall and seed production of *Acacia mangium* in a forest plantation in South Sumatra, Indonesia. *Forest Ecology and Management*, 130: 265-268.
- SALAS, E. 2001. Influencia de la distribución de la precipitación en la producción de semillas de dos especies de la pradera anual Mediterránea. Memoria Ing. Agr. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. 80 p.
- SALAZAR, A., SZOTT, L.T. and PALM, C.A. 1993. Crop-tree interactions in alley cropping systems on alluvial soils of the Upper Amazon Basin. *Agroforestry Systems*, 22: 67-82.
- SCHOENHOLTZ, S.H., VAN MIEGROET, H. and BURGER, J.A. 2000. A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. *Forest Ecology and Management*, 138: 335-356.
- SCHROTH, G. and ZECH. 1995. Roots length dynamics in agroforestry with *Gliricidia sepium* as compared to sole cropping in the semi-deciduous rainforest zone of West Africa. *Plant and Soil*, 170: 297-306.
- SEGARRA, F. 1980. Caracterización de la curva de crecimiento de la pradera natural,

- en el secano interior mediterráneo. Memoria Ing Agr. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. 52 p.
- SHELTON, H.M. 1994. Establishment of Forage Tree Legumes. pp. 132-142. *In*: Gutteridge, R.C. and Shelton, H.M. (Eds.). Forage Tree Legumes in Tropical Agriculture. CAB International, Wallingford, UK. 389 p.
- SHI, Z., WANG, K., BAILEY, J.S., JORDAN, C. and HIGGINS, J. 2001. Sampling strategies for mapping soil phosphorus and soil potassium distributions in cool temperate grassland. *Precision Agriculture*, 2: 347-357.
- SILVA, M. y LOZANO, U. 1986. Descripción de las principales especies forrajeras entre la zona mediterránea árida y la zona de las lluvias. Santiago, Chile, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Departamento de Producción Animal. Publicación docente N° 9. 139 p.
- SMITH, D.M. 2000. Water and climatic relationships in agroforestry. pp. 115-130. *In*: Ashton, M.S. and Montagnini, F. (Eds.). The silvicultural basis for agroforestry systems. CRC Press, cop, London. 278 p.
- SOTO, P. 1988. Forrajes suplementarios de invierno y verano. pp. 605-634. *In*: Ruiz, I. (Ed.) Praderas para Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Santiago, Chile. 723 p.
- SO, H.B., KIRCHHOF, G., BAKKER, R. and SMITH, G.D. 2001. Low input tillage/cropping systems for limited resource areas. *Soil and Tillage Research*, 61(1-2): 109-123.
- STEWART, J.L. and SALAZAR, R. 1992. A review of measurement options for multipurpose trees. *Agroforestry Systems*, 19: 173-183.
- SUDZUKI, F., MUÑOZ, C. y HORST, B. 1993. El cultivo de la tuna (Cactus Pear). Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Departamento de producción Agrícola, Santiago, Chile. 88 p.
- SZOTT, L.T., FERNANDES, E.C.M., SANCHEZ, P.A. 1991. Soil-plant interactions in agroforestry systems. *Forest Ecology Management*, 45 (1-4): 127-152.
- TABOR, J.A. 1995. Improving crop yields in the Sahel by means of water-harvesting. *Journal of Arid Environments*, 30: 83-106.
- TESFAYE ABEBE. 1994. Growth performance of some multipurpose trees and shrubs in the semi-arid areas of Southern Ethiopia. *Agroforestry Systems*, 26: 237-248.
- TIEDEMAN, J.A and JOHNSON, D.E. 1992. *Acacia cyanophylla* for forage and fuelwood in North Africa. *Agroforestry Systems*, 17: 169-180.
- VAN NOORDWIJK, M., HAIRIAH, K., LUSIANA, B. and CADISCH, G. 1998. Tree-soil-crop interactions in sequential and simultaneous agroforestry systems. pp. 173-191. *In*: Bergström, L. and Kirchmann, H. (Eds.). Carbon and nutrient dynamics in natural and agricultural tropical ecosystems. CAB International, Wallingford. 319 p.
- WHITE, R.O., MOIR, T.R.G. y COOPER, J.P. 1959. Las gramíneas en la agricultura. Roma, Italia, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Estudios Agropecuarios N° 42. 464 p.
- WIERSUM, K.F. 1991. Soil erosion and conservation agroforestry systems. pp. 209-230. *In*: Avery M.E., Cannell, M.G.R. and Ong, C.K. (Eds.). Biophysical research

- for Asian agroforestry. Winrock Int. and Oxford & IBH, New Delhi. 292 p.
- WITKOWSKI, E.T.F. 1991. Effects of invasive alien acacias on nutrient cycling in the coastal lowlands of the cape finbos. *Journal of Applied Ecology*, 28: 1-15.
- WOLF, G.V. 1994. Multipurpose trees and aspects of their yields evaluation for agroforestry. *Plant Research and Development*, 40: 88-109.
- YAMOAH, C.F., AGBOOLA, A.A., WILSON, G.F. and MULONGOY, K. 1986. Soil properties as affected by the use of leguminous shrubs for alley cropping with maize. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 18: 167-177.
- YOUNG, A. 1989. *Agroforestry for Soil Conservation*. Nairobi, Kenya, International Council for Research in Agroforestry. Science and Practice of Agroforestry N° 4. 276 p.
- . 1997. *Agroforestry for soil management*. CAB International, Wallingford, UK. 320 p.



# APÉNDICE I. Descripción morfológica de los perfiles de suelo para cada bloque

## Bloque 1

Características físicas y morfológicas del pedón:

**PROPIEDADES QUÍMICAS DE UN SUELO CON MANEJO AGROFORESTAL Y COSECHA DE AGUAS EN EL SECANO INTERIOR DE LA ZONA CENTRAL DE CHILE**

Profundidad	
0 - 19 A	Pardo amarillento oscuro (10 YR 3/4, h), pardo amarillento (10 YR 5/4, s); franco arenosa; bloques subangulares medios débiles; ligeramente duro, firme, ligeramente plástico y ligeramente adhesivo; raíces muy finas escasas; poros finos comunes; gravas angulares medias 5% y gruesas 2%; actividad biológica buena; límite claro lineal.
19 - 40 B1	Pardo amarillento oscuro (10 YR 3/4, h), pardo amarillento (10 YR 5/4, s); franco arenosa; bloques subangulares gruesos moderados; duro, firme, ligeramente plástico y ligeramente adhesivo; raíces muy finas escasas; poros finos comunes; gravas angulares medias 1% y gruesas 3%; actividad biológica buena; límite claro lineal.
40 – 50 B2	Pardo oscuro (10 YR 3/3, h), pardo amarillento oscuro (10 YR 3/6); arcillosa; bloques subangulares gruesos moderados; duro, firme, moderadamente plástico, moderadamente adhesivo; raíces muy finas escasas; poros muy finos y finos comunes; gravas angulares medias 1% y gruesas 2%; actividad biológica escasa; límite claro ondulado.
50 – 100 2C1	Pardo amarillento oscuro (10 YR 3/4, h), pardo amarillento oscuro (10 YR 3/6, s); matriz arena franca con gravilla; maciza; suelto, no plástico y no adhesivo; gravas angulares finas 15%, medias 30% y gruesas 40%, guijarros 5%; actividad biológica escasa; límite claro ondulado.
100 - 120 2C2	Pardo amarillento oscuro (10 YR 3/4, h), pardo amarillento oscuro (10 YR 4/6, s); franco arcillo arenosa con gravilla; maciza; ligeramente duro, firme, moderadamente plástico y moderadamente adhesivo; poros muy finos comunes; gravas finas 3% y medias 2%.

## Bloque 2

Características físicas y morfológicas del pedón:

## APÉNDICE I. Descripción morfológica de los perfiles de suelo para cada bloque

Profundidad	
0 - 17 A	Pardo muy oscuro (10 YR 2/2, h), pardo oscuro (10 YR 3/3, s); franco arenosa; bloques subangulares medios débiles; ligeramente duro, firme, ligeramente plástico y ligeramente adhesivo; raíces muy finas comunes; poros finos comunes y gruesos escasos; gravas angulares medias 3% y gruesas 2%; actividad biológica moderada; límite claro lineal.
17 - 40 B1	Pardo amarillento oscuro (10 YR 3/4, h), pardo amarillento (10 YR 5/4, s); franco arcillo arenosa; bloques subangulares gruesos moderados; duro, firme, moderadamente plástico y moderadamente adhesivo; raíces finas escasas; poros muy finos, finos y gruesos escasos; gravas angulares medias 5% y gruesas 2%; actividad biológica moderada; límite claro lineal.
40 – 68 B2	Pardo amarillento oscuro (10 YR 4/4, h), pardo amarillento oscuro (10 YR 3/6, s); franco arcillo arenosa; bloques subangulares gruesos moderados; duro, firme, moderadamente plástico y moderadamente adhesivo; raíces finas escasas; poros muy finos comunes y finos escasos; gravas subangulares medias 10% y angulares gruesas 1%; actividad biológica escasa; límite claro ondulado.
68 - 120 B3	Pardo amarillento oscuro (10 YR 3/4, h), pardo amarillento oscuro (10 YR 5/6, s); franco arenosa gruesa; bloques angulares finos débiles; ligeramente duro, friable, ligeramente plástico y ligeramente adhesivo; poros muy finos comunes; gravas angulares medias 10% y gruesas 10%.

### Bloque 3

Características físicas y morfológicas del pedón:

**PROPIEDADES QUÍMICAS DE UN SUELO CON MANEJO AGROFORESTAL Y COSECHA DE AGUAS EN EL SECANO INTERIOR DE LA ZONA CENTRAL DE CHILE**

Profundidad	
0 - 7 A	Pardo muy oscuro (10 YR 2/2, h), pardo amarillento (10 YR 5/4, s); franco arenosa; bloques subangulares medios débiles; duro, firme, ligeramente plástico y ligeramente adhesivo; raíces muy finas escasas; poros finos abundantes y gruesos escasos; gravas angulares medias 3%; actividad biológica moderada; límite claro lineal.
7 - 40 B	Pardo muy oscuro (10 YR 2/2, h), pardo amarillento oscuro (10 YR 4/6, s); franco arcillo arenosa; bloques subangulares medios moderados; duro, firme, ligeramente plástico y ligeramente adhesivo; raíces muy finas y finas escasas; poros muy finos comunes, gruesos escasos; gravas angulares medias 2% y gruesas 2%, guijarros 1%; actividad biológica moderada; límite claro lineal.
40 – 50 2C1	Pardo muy oscuro (10 YR 2/2, h), pardo amarillento oscuro (10 YR 4/6, s); franco arenosa gruesa; masiza; muy duro, firme ligeramente plástico y ligeramente adhesivo; gravas subangulares y angulares medias 15%; actividad biológica escasa; estrata de arena de 10 cm de espesor en forma discontinua en la base del horizonte; límite claro ondulado.
50 – 70 2C2	Pardo amarillento oscuro (10 YR 3/6, h), pardo amarillento oscuro (10 YR 5/8, s); arena franca con gravilla; masiza; suelta, no plástico y no adhesivo; gravas subangulares y angulares finas 20%, medias 30% y gruesas 45%; límite claro ondulado.
70 - 100 2C3	Pardo amarillento oscuro (10 YR 3/4, h), pardo amarillento oscuro (10 YR 6/6, s); franco arcillo arenosa; maciza; muy duro, muy firme, ligeramente plástico y ligeramente adhesivo; poros muy finos comunes; gravas angulares medias 10%.



## APÉNDICE II. Resumen de los análisis realizados, xy CV (%)

**PROPIEDADES QUÍMICAS DE UN SUELO CON MANEJO AGROFORESTAL Y COSECHA DE AGUAS EN EL SECANO INTERIOR DE LA ZONA CENTRAL DE CHILE**

Tratamiento <sup>1</sup>	Propiedades del suelo <sup>2</sup>				
	MOS	pH	N <sub>T</sub>	P <sub>T</sub>	K <sub>T</sub>
cm	g kg <sup>-1</sup> (%)	(%)	g kg <sup>-1</sup> (%)		
T 0-10	60,3 (16,0)	6,3 (3,5)	2,3 (22,9)	1,9 (10,1)	5,4 (12,1)
T 10-20	16,9 (12,4)	6,4 (1,2)	0,7 (44,4)	1,7 (5,1)	3,0 (3,8)
T 20-30	17,3 (13,8)	6,4 (0,2)	0,6 (41,0)	1,3 (13,0)	5,1 (3,1)
T 30-40	15,3 (24,9)	6,3 (3,5)	0,5 (12,3)	1,7 (14,3)	5,0 (5,4)
AL 0-10	55,2 (18,5)	6,0 (1,1)	2,2 (5,2)	1,9 (14,8)	4,7 (7,3)
AL 10-20	24,4 (34,0)	6,3 (3,5)	0,8 (44,6)	1,3 (17,7)	4,6 (7,6)
AL 20-30	21,0 (20,3)	6,3 (2,7)	0,7 (42,7)	1,7 (13,3)	4,3 (12,1)
AL 30-40	16,9 (8,0)	6,3 (2,6)	0,6 (24,9)	1,6 (2,4)	4,1 (7,6)
ALE 0-10	40,3 (37,4)	6,0 (3,8)	1,6 (26,8)	1,7 (8,9)	4,6 (5,1)
ALE 10-20	33,9 (47,1)	6,3 (1,6)	1,1 (23,2)	1,3 (54,1)	4,2 (1,9)
ALE 20-30	22,1 (8,0)	6,3 (3,8)	0,9 (29,5)	1,6 (23,3)	3,8 (4,8)
ALE 30-40	19,1 (36,9)	6,4 (0,5)	0,8 (1,8)	1,4 (30,9)	4,2 (7,5)
A 0-10	60,1 (21,5)	6,2 (1,5)	2,5 (8,3)	1,7 (21,4)	4,7 (4,6)
A 10-20	18,5 (36,7)	6,2 (3,8)	0,8 (12,3)	1,5 (19,0)	4,6 (3,9)
A 20-30	18,2 (30,2)	6,3 (2,7)	0,7 (10,7)	1,5 (19,9)	4,5 (16,1)
A 30-40	14,7 (41,5)	6,4 (4,1)	0,6 (24,8)	1,4 (13,7)	4,6 (12,0)
AE 0-10	52,1 (21,7)	6,2 (1,0)	2,2 (26,0)	1,6 (4,7)	4,8 (3,2)
AE 10-20	25,8 (31,0)	6,4 (1,7)	0,9 (23,9)	1,6 (3,8)	4,7 (2,6)
AE 20-30	20,7 (5,1)	6,4 (1,7)	0,8 (11,8)	1,6 (7,1)	4,9 (7,1)
AE 30-40	13,0 (36,8)	6,4 (0,5)	0,7 (7,9)	1,4 (5,2)	4,8 (5,2)

1) T = Testigo; AL = Agroforestería–Labranza; ALE = Agroforestería–Labranza–Escurrimiento;

A= Agroforestería; AE = Agroforestería–Escurrimiento.

2) MOS = materia orgánica; pH = reacción del suelo; N<sub>T</sub> = nitrógeno total; P<sub>T</sub> = fósforo total; K<sub>T</sub> : potasio total.

(continuación APÉNDICE II)

Tratamiento <sup>1</sup>	Propiedades del suelo <sup>2</sup>				
	CIC	A	L	a	Db
cm	cmol (+)kg <sup>-1</sup> (%)		g 100g <sup>-1</sup> (%)		Mgm <sup>-3</sup> (%)
T 0-10	25,8 (44,2)	13,8 (12,5)	20,5 (37,9)	65,7 (11,6)	1,1 (3,7)
T 10-20	22,7 (61,0)	15,9 (14,9)	20,0 (4,0)	64,1 (4,4)	1,3 (5,3)
T 20-30	20,8 (61,8)	17,6 (12,2)	22,2 (22,4)	60,2 (11,2)	1,3 (3,7)
T 30-40	21,2 (53,9)	18,2 (5,7)	24,5 (7,1)	57,3 (1,8)	1,3 (5,3)
AL 0-10	26,0 (25,3)	14,0 (20,2)	20,5 (33,1)	64,1 (5,0)	1,0 (3,0)
AL 10-20	21,7 (24,6)	15,7 (20,8)	22,8 (7,0)	61,5 (6,5)	1,2 (6,2)
AL 20-30	18,8 (33,1)	16,2 (23,7)	21,6 (27,8)	62,2 (14,2)	1,2 (3,7)
AL 30-40	18,2 (32,0)	17,2 (22,3)	21,9 (15,0)	60,9 (3,0)	1,3 (4,9)
ALE 0-10	20,8 (29,1)	13,3 (14,1)	25,2 (2,3)	61,5 (5,6)	1,1 (5,7)
ALE 10-20	22,0 (35,8)	14,1 (10,5)	24,8 (6,6)	61,1 (4,4)	1,2 (2,9)
ALE 20-30	21,3 (16,3)	13,8 (19,1)	22,6 (5,3)	63,7 (4,8)	1,2 (2,1)
ALE 30-40	23,0 (26,7)	15,4 (14,7)	19,5 (22,7)	65,1 (3,8)	1,4 (5,1)
A 0-10	18,6 (10,0)	15,1 (11,8)	19,7 (1,8)	65,2 (10,2)	1,3 (9,1)
A 10-20	17,6 (4,3)	16,1 (16,9)	21,7 (16,4)	62,1 (10,0)	1,3 (4,5)
A 20-30	15,1 (55,7)	16,5 (15,8)	23,4 (3,2)	61,1 (6,9)	1,3 (9,7)
A 30-40	15,0 (55,1)	17,1 (15,4)	21,5 (6,9)	61,4 (4,0)	1,2 (2,8)
AE 0-10	20,4 (5,9)	16,4 (11,4)	27,1 (5,4)	56,4 (1,2)	1,2 (7,6)
AE 10-20	19,1 (17,5)	16,0 (3,5)	23,3 (16,0)	60,7 (6,1)	1,2 (13,7)
AE 20-30	17,9 (20,9)	15,6 (6,7)	20,2 (2,7)	64,1 (11,9)	1,3 (3,5)
AE 30-40	18,7 (6,7)	17,7 (3,1)	21,6 (3,8)	60,7 (4,7)	1,3 (2,8)

1) T = Testigo; AL = Agroforestería–Labranza; ALE = Agroforestería–Labranza–Escarificación;

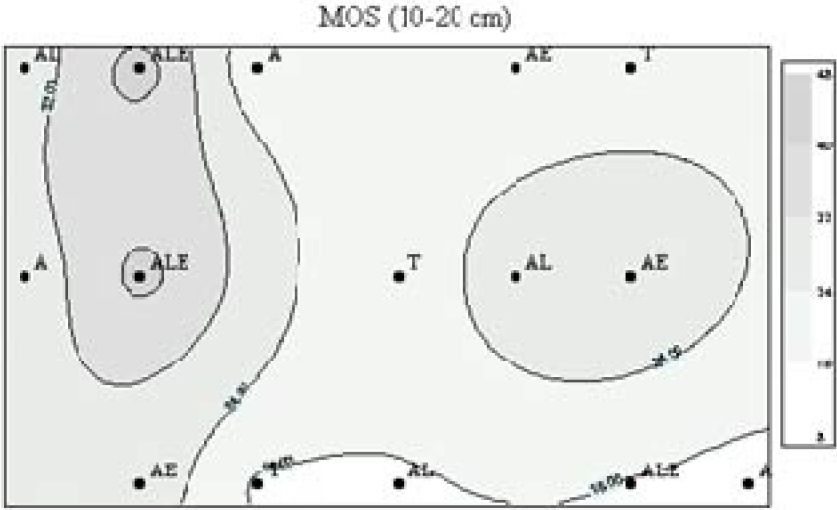
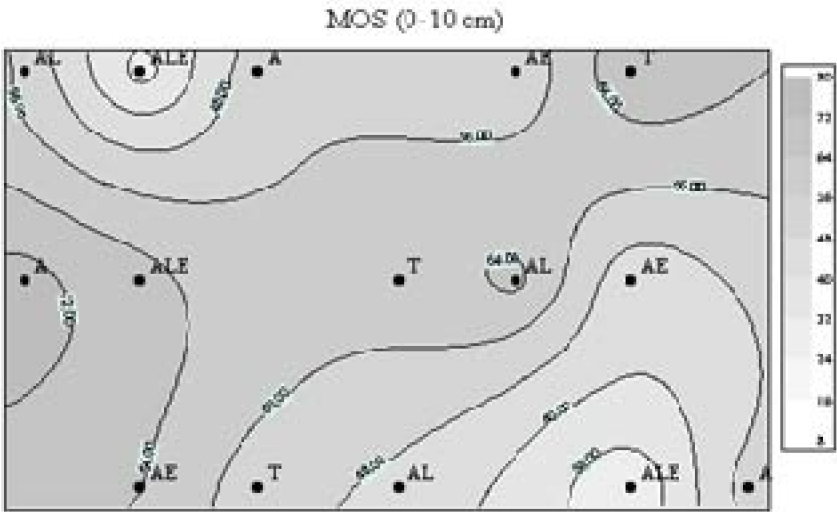
A= Agroforestería; AE= Agroforestería–Escarificación.

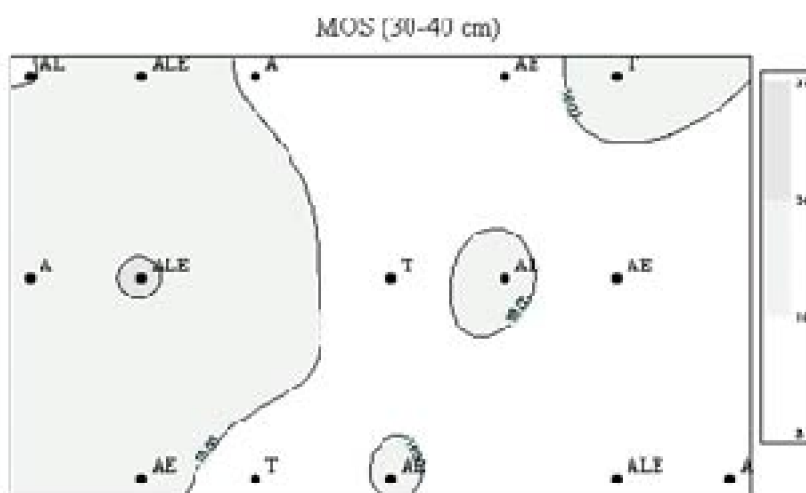
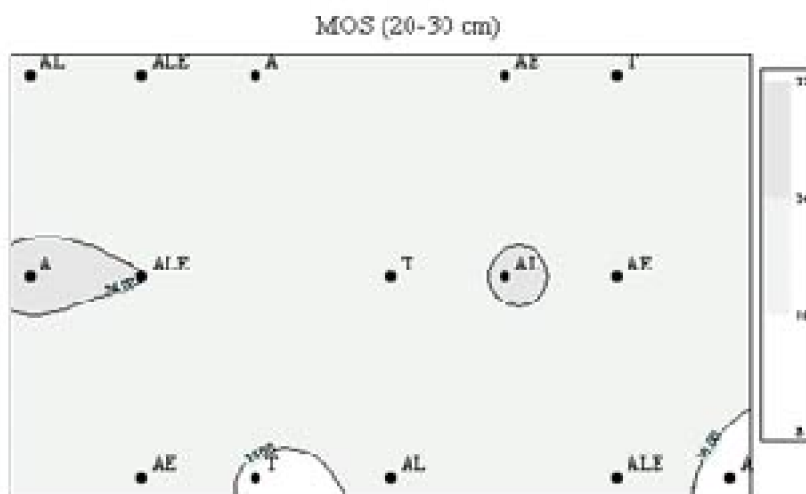
2) CIC = capacidad de intercambio catiónico; A = contenido de arcilla; L = contenido de limo; a = contenido de arena; Db = densidad aparente.



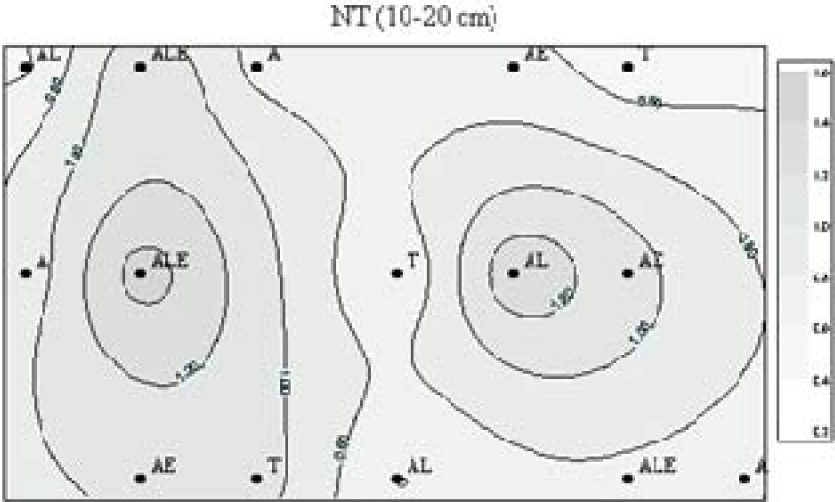
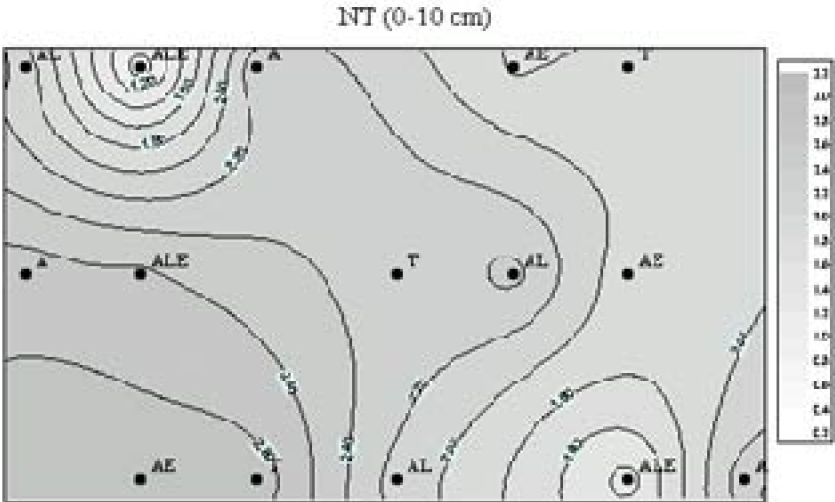
## APENDICE III. Mapas de Isolíneas de las propiedades del suelo

**Mapas de isolíneas del contenido de materia orgánica del suelo (MOS) por intervalo de profundidad ( $\text{g kg}^{-1}$ )**

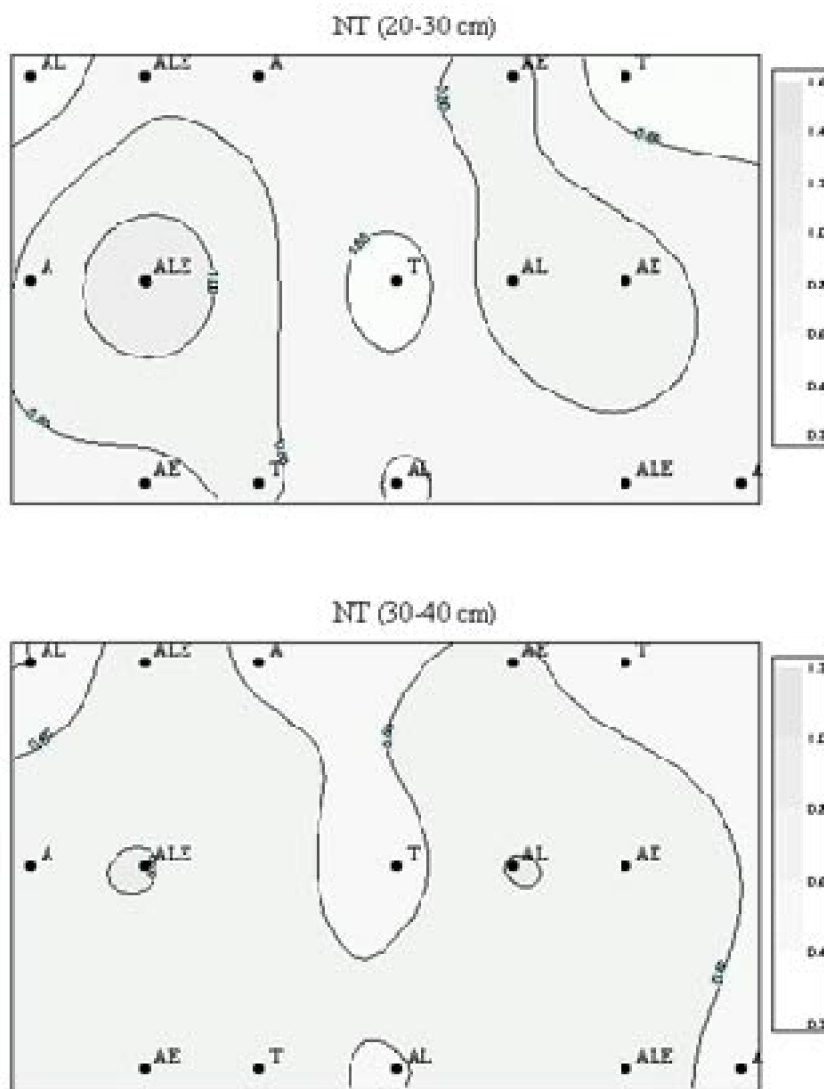




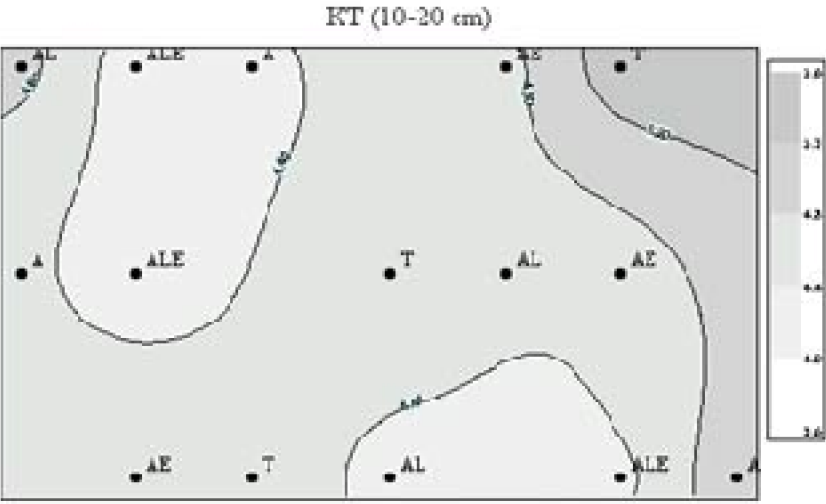
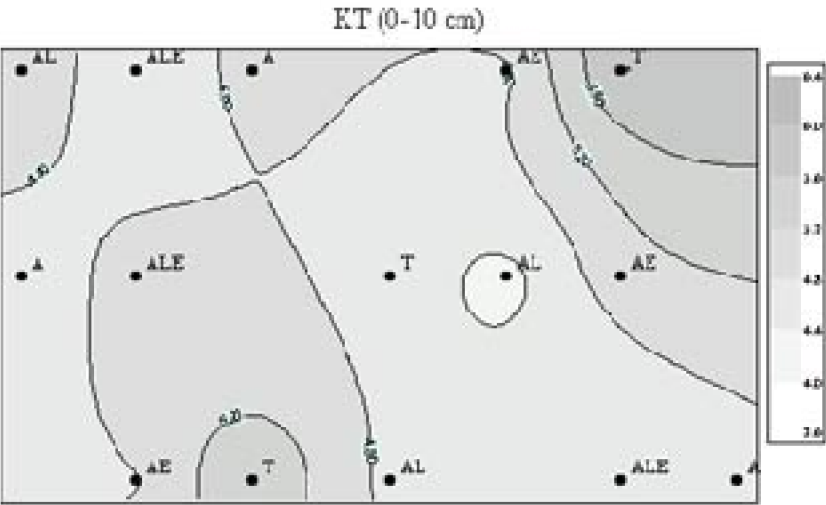
**Mapas de isolíneas del contenido de nitrógeno total del suelo (N<sub>T</sub>) por intervalo de profundidad (g kg<sup>-1</sup>)**



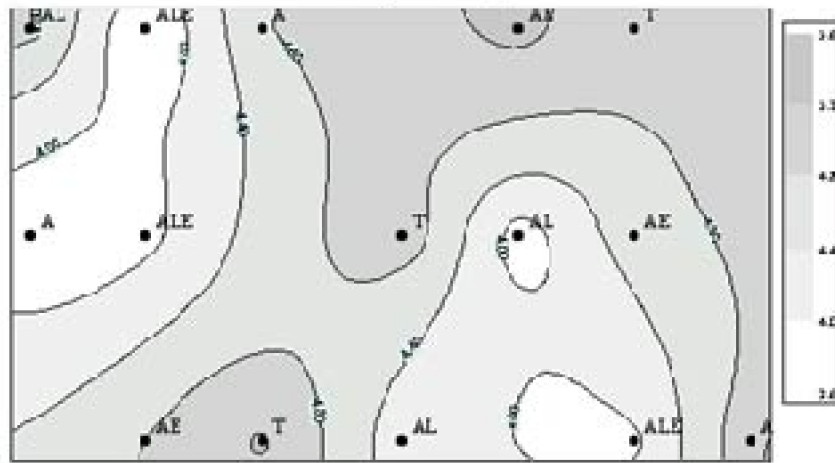




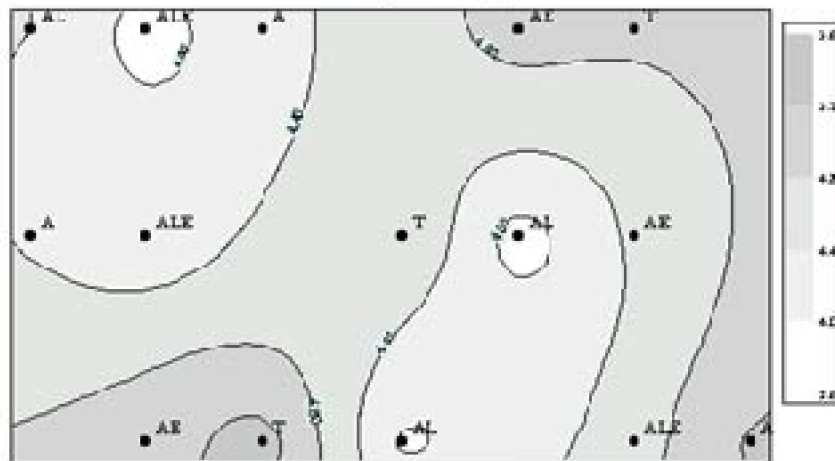
**Mapas de isolíneas del contenido de potasio total del suelo ( $K_T$ ) por intervalo de profundidad ( $\text{g kg}^{-1}$ )**



KT (20-30 cm)



KT (30-40 cm)





# **APÉNDICE IV. Análisis de correlación entre los parámetros de crecimiento de las especies vegetales y las propiedades del suelo**

**PROPIEDADES QUÍMICAS DE UN SUELO CON MANEJO AGROFORESTAL Y COSECHA DE AGUAS EN EL SECANO INTERIOR DE LA ZONA CENTRAL DE CHILE**

Propiedades del suelo <sup>1</sup>	Parámetros de crecimiento de las especies vegetales <sup>2</sup>				
	PB	-AIRP	NRP	PBRP	PMA
MOS (0-10 cm)	0,17	0,43	-1,51	-0,07	-0,01
MOS (10-20 cm)	0,22	0,01	-1,46	0,25	-0,31
MOS (20-30 cm)	0,42	0,22	-1,38	0,13	0,31
MOS (30-40 cm)	0,11	0,03	-1,18	0,07	0,21
MOS (0-40 cm)	0,21	0,27	-1,02	0,13	0,23
pH (0-10 cm)	0,22	0,00	-1,27	0,13	0,08
pH (10-20 cm)	-0,12	0,03	-1,03	-0,10	0,12
pH (20-30 cm)	-0,27	0,05	-1,15	-0,01	-0,07
pH (30-40 cm)	-0,11	0,21	-1,03	-0,12	-0,22
pH (0-40 cm)	-0,27	0,11	-1,17	-0,05	-0,13
N <sub>T</sub> (0-10 cm)	-0,12	0,54	-1,68	-0,30	-0,05
N <sub>T</sub> (10-20 cm)	0,11	0,34	-1,20	0,03	-0,27
N <sub>T</sub> (20-30 cm)	0,42	0,32	-1,13	0,32	-0,50
N <sub>T</sub> (30-40 cm)	0,22	0,37	-1,24	0,15	-0,41
N <sub>T</sub> (0-40 cm)	0,12	0,60	-1,31	-0,10	-0,37
P <sub>T</sub> (0-10 cm)	0,22	-0,05	-1,13	0,31	-0,23
P <sub>T</sub> (10-20 cm)	0,27	0,39	-1,30	0,12	-0,11
P <sub>T</sub> (20-30 cm)	0,57	0,04	-1,09	0,56	-0,36
P <sub>T</sub> (30-40 cm)	0,22	0,25	-1,19	0,31	-0,13
P <sub>T</sub> (0-40 cm)	0,47	0,22	-1,12	0,37	-0,23
K <sub>T</sub> (0-10 cm)	0,32	0,14	-1,07	0,28	0,06
K <sub>T</sub> (10-20 cm)	0,07	0,16	-1,25	0,18	0,33
K <sub>T</sub> (20-30 cm)	0,01	0,18	-1,16	0,15	0,07
K <sub>T</sub> (30-40 cm)	0,04	0,14	-1,04	0,13	0,07
K <sub>T</sub> (0-40 cm)	0,02	0,19	-1,15	0,17	0,06

1) MOS = materia orgánica; pH = reacción del suelo; N<sub>T</sub> = nitrógeno total; P<sub>T</sub> = fósforo total; K<sub>T</sub> = potasio total.

2) PB = perímetro basal del tronco; -AIRP = altura de inserción de ramas de primer orden;

NRP = Número de ramas de primer orden por árbol; PBRP= Perímetro basal de ramas de primer orden; PMA = Pradera mediterránea anual.

(continuación APÉNDICE IV)

**APÉNDICE IV. Análisis de correlación entre los parámetros de crecimiento de las especies vegetales y las propiedades del suelo**

Propiedades del suelo <sup>1</sup>	Parámetros de crecimiento de las especies vegetales <sup>2</sup>				
	PB	AIRP	NRP	PBRP	PMA
CIC (0-20 cm)	0,20	0,38	0,28	0,21	0,10
CIC (20-30 cm)	-0,22	0,27	0,10	-0,19	-0,35
CIC (30-40 cm)	0,18	0,18	0,08	0,37	0,38
CIC (40-60 cm)	0,25	0,06	0,14	0,16	0,34
CIC (0-60 cm)	0,35	0,25	0,03	0,27	0,32
A (0-20 cm)	0,27	0,55	0,51	0,27	0,12
A (20-30 cm)	-0,38	0,49	0,54	-0,51	0,30
A (30-40 cm)	-0,23	0,3	0,55	-0,33	0,29
A (40-60 cm)	-0,31	0,17	0,34	-0,31	0,35
A (0-60 cm)	-0,33	0,4	0,54	-0,44	0,39
L (0-20 cm)	0,35	0,12	-0,51	0,40	-0,35
L (20-30 cm)	0,22	0,02	-0,21	0,20	-0,05
L (30-40 cm)	0,24	0,32	0,22	0,12	-0,31
L (40-60 cm)	0,02	0,56	0,39	-0,08	-0,15
L (0-60 cm)	0,36	0,36	-0,14	0,30	-0,42
a (0-20 cm)	-0,29	-0,29	0,37	-0,30	0,20
a (20-30 cm)	0,07	-0,29	-0,16	0,15	-0,14
a (30-40 cm)	-0,07	-0,38	-0,42	0,06	0,09
a (40-60 cm)	0,18	-0,47	-0,47	0,24	-0,09
a (0-60 cm)	-0,08	-0,54	-0,23	0,03	0,07
Db (0-20 cm)	0,02	-0,32	-0,16	0,12	-0,04
Db (20-30 cm)	0,19	0,31	0,12	0,39	0,30
Db (30-40 cm)	0,18	0,01	0,14	0,38	0,20
Db (40-60 cm)	0,06	0,02	0,25	0,08	0,26
Db (0-60 cm)	0,24	0,02	0,09	0,27	0,11

1) CIC = capacidad de intercambio catiónico; A = contenido de arcilla; L = contenido de limo; a = contenido de arena; Db = densidad aparente.

2) PB = perímetro basal del tronco; AIRP = altura de inserción de ramas de primer orden; NRP = Número de ramas de primer orden por árbol; PBRP = Perímetro basal de ramas de primer orden; PMA = Pradera mediterránea anual.





# ANEXO I. Análisis de fertilidad de suelos antes de la instalación del ensayo

PROPIEDADES QUÍMICAS DE UN SUELO CON MANEJO AGROFORESTAL Y COSECHA DE AGUAS EN EL SECANO INTERIOR DE LA ZONA CENTRAL DE CHILE

---

Análisis	Unidad	Resultado
pH (H <sub>2</sub> O)	-	6,2
Materia Orgánica (Walkley y Black)	g kg <sup>-1</sup>	53,5
Conductividad Electrica	dS m <sup>-1</sup>	0,47
Nitrógeno disponible	ppm	12
Fósforo disponible	ppm	47
Potasio disponible	ppm	627

Estos análisis fueron realizados en 1996 por el Servicio de Suelos de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, dependiente del Departamento de Ingeniería y Suelos.

## **ANEXO II. Precipitaciones mensuales, Estación Meteorológica de la E.E. Germán Greve Silva**

**PROPIEDADES QUÍMICAS DE UN SUELO CON MANEJO AGROFORESTAL Y COSECHA DE AGUAS EN EL SECANO INTERIOR DE LA ZONA CENTRAL DE CHILE**

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
mm													
1960	0,0	0,0	0,0	0,0	23,0	138,7	65,7	40,2	10,7	0,3	0,0	0,0	278,6
1961	1,7	0,0	15,5	0,0	22,0	95,1	30,6	76,8	26,6	14,3	0,1	6,0	288,6
1962	0,0	0,0	0,0	0,0	5,2	166,9	18,3	18,3	8,8	10,0	0,0	0,0	227,5
1963	0,0	0,0	3,2	2,1	33,9	43,8	129,7	110,5	93,3	15,1	3,5	0,0	436,1
1964	0,0	0,0	0,0	2,2	0,0	48,9	36,4	76,5	0,0	0,0	0,0	6,7	170,7
1965	0,0	0,0	0,0	49,0	64,2	18,7	114,3	169,8	0,0	11,9	5,0	10,5	443,4
1966	0,0	0,0	0,0	45,7	9,0	165,1	108,9	6,8	0,0	0,0	21,2	16,5	373,2
1967	0,0	0,0	0,0	1,8	8,1	36,0	80,2	24,7	35,5	5,2	0,0	0,0	191,5
1968	0,0	0,0	0,0	13,5	0,0	8,0	0,6	8,0	16,0	0,0	0,0	0,0	46,1
1969	0,0	0,0	0,0	6,2	52,2	46,0	17,0	67,2	0,0	0,0	0,0	0,0	168,6
1970	0,0	0,0	0,0	0,0	69,2	53,2	159,7	3,3	4,0	18,6	0,0	0,0	308,0
1971	0,0	0,0	0,0	7,6	3,9	311,1	57,3	24,8	8,2	18,3	0,0	3,0	434,2
1972	0,0	0,0	6,8	0,0	19,6	125,7	40,1	148,9	56,8	0,5	1,6	0,0	503,0
1973	0,0	0,0	0,0	2,9	22,4	0,6	31,2	0,0	3,5	21,8	0,0	0,0	163,4
1974	0,0	0,0	0,0	0,0	97,8	187,9	23,9	7,2	28,6	0,0	0,0	11,0	356,4
1975	0,0	0,0	0,0	16,1	12,7	9,0	131,2	12,1	0,0	0,0	18,1	0,0	199,2
1976	0,0	0,0	3,3	2,5	15,6	43,6	6,8	18,2	46,4	22,4	20,0	0,0	184,8
1977	0,0	0,0	0,0	13,6	21,3	100,9	175,5	59,9	0,4	20,2	9,0	0,0	400,8
1978	0,0	0,0	0,0	0,0	22,6	59,3	272,1	10,2	15,3	0,0	55,0	0,0	434,5
1979	0,0	0,0	0,0	7,5	20,6	0,0	113,6	29,1	38,1	0,0	16,4	0,0	225,3
1980	0,0	6,5	0,0	54,2	52,5	45,3	76,9	12,2	74,5	0,0	0,0	0,0	322,1
1981	0,0	0,0	4,1	0,0	47,0	36,7	23,8	12,5	11,1	0,0	0,0	0,0	225,2
1982	0,0	0,0	12,4	0,0	92,2	250,2	114,8	60,9	45,3	14,2	0,0	0,0	628,0
1983	6,5	0,0	0,0	7,4	49,7	116,0	99,1	30,6	18,9	0,0	0,0	0,0	333,2
1984	0,0	0,0	0,0	0,0	87,6	22,0	296,1	45,8	35,9	0,0	0,0	0,0	487,4
1985	0,0	0,0	26,0	0,0	32,7	32,5	91,5	5,7	19,0	11,4	0,0	0,0	218,8
1986	0,0	0,0	0,0	34,0	22,8	119,2	0,0	62,4	1,6	0,0	26,0	0,0	366,0
1987	0,0	0,0	0,0	5,2	81,0	33,0	361,2	170,5	19,7	0,0	0,0	0,0	670,6
1988	0,0	0,0	3,0	0,0	3,5	14,5	27,5	58,0	11,9	0,0	0,0	6,0	124,4

ANEXO II. Precipitaciones mensuales, Estación Meteorológica de la E.E. Germán Greve Silva

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
	mm												
1989 <sup>1</sup>	0,0	0,0	0,0	12,4	28,4	11,5	116,3	101,0	7,3	4,5	0,0	0,0	281,4
1990 <sup>1</sup>	0,0	0,0	6,1	0,0	16,2	5,7	60,4	37,5	23,4	7,8	0,0	0,0	157,1
1991 <sup>1</sup>	0,0	0,0	0,0	0,0	66,7	102,8	101,2	1,7	54,5	5,7	0,0	33,0	365,6
1992 <sup>1</sup>	0,0	0,0	16,0	22,8	121,3	175,7	29,7	46,2	22,3	0,0	8,0	0,0	442,0
1993 <sup>1</sup>	0,0	0,0	0,0	68,3	66,5	35,0	52,4	26,6	2,7	2,5	0,0	0,0	254,0
1994 <sup>1</sup>	0,0	0,0	0,0	15,2	64,4	43,6	103,6	6,1	9,0	7,6	0,0	0,0	249,5
1995 <sup>1</sup>	0,0	0,0	0,0	14,5	2,0	44,0	74,8	31,5	8,0	0,0	0,0	0,0	174,8
1996 <sup>1</sup>	0,0	0,0	0,0	36,3	6,8	37,5	26,3	26,3	0,0	3,8	0,0	0,0	137,0
1997 <sup>2</sup>	0,0	0,0	0,0	0,0	132,0	252,0	44,0	99,0	57,0	70,0	8,0	9,0	671,0
1998 <sup>2</sup>	0,0	3,0	0,0	28,0	14,0	21,0	0,0	0,0	14,0	0,0	0,0	0,0	80,0
1999 <sup>2</sup>	0,0	0,0	17,0	10,0	0,0	46,0	26,0	93,0	80,0	21,0	0,0	0,0	293,0
2000 <sup>2</sup>	0,0	10,0	0,0	12,0	14,0	258,0	0,0	0,0	65,0	0,0	0,0	0,0	359,0
$\bar{x}$	0,2	0,5	2,7	12,0	44,0	83,5	82,7	45,0	23,7	7,6	4,7	2,5	309,1

<sup>1</sup> Fuente: Caro, W. y Marin, A. 1996. Registros pluviométricos mensuales Estación Experimental Agronómica Rinconada. Santiago, Chile, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Departamento de Producción Animal. Boletín del Programa Praderas de Secano N° 2. s.p.

<sup>2</sup> Fuente: Administración Estación Experimental Germán Greve Silva. 2002. Registros pluviométricos mensuales Estación Experimental Agronómica Rinconada años 1997-2000. Santiago, Chile, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Datos no publicados.