

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO MANEJO DE SUELOS Y AGUAS

EVALUACIÓN EN EL TIEMPO DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DE UN SUELO CON MANEJO AGROFORESTAL Y COSECHA DE AGUA EN EL SECANO INTERIOR DE LA ZONA CENTRAL DE CHILE

Memoria para optar al Título Profesional de Ingeniero Agrónomo. Mención: Manejo de Suelos y Aguas

CAROLINA ISABEL LEIVA MADRID

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

Santiago, Chile. 2005

PROFESORES CONSEJEROS Sr. Osvaldo Salazar G. Sr. Wilfredo Vera E.

..	1
AGRADECIMIENTOS .	3
RESUMEN .	5
Summary . .	7
INTRODUCCIÓN .	9
MATERIALES Y MÉTODO .	11
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .	15
Propiedades químicas del suelo .	15
Testigo .	15
Tratamientos .	17
Parámetros de crecimiento de las especies vegetales . .	26
Acacia saligna .	26
Pradera mediterránea anual .	28
Funciones de respuesta de las especies vegetales .	31
CONCLUSIONES . .	35
LITEATURA CITADA . .	37

Dedico esta memoria al esfuerzo y apoyo durante todos estos años de mi madre Isabel, mi hermano David y mi abuela Ana (Q.E.P.D.).

AGRADECIMIENTOS

Quedan aquí registrados mis más sinceros agradecimientos a todos aquellos que me apoyaron y de alguna forma se involucraron en este trabajo. En especial:

A Don Manuel Casanova por haberme impulsado en esta importante investigación y guiado permanentemente.

A Don Carlos Benavides por sus valiosas sugerencias y acertados aportes en el análisis de los resultados.

A Osvaldo Salazar por orientarme con sus conocimientos y experiencia en este estudio.

A Don Wilfredo Vera por las revisiones y sugerencias realizadas para mejorar este trabajo.

A la Sra. Adriana Carrasco, Sra. Mary-Sol Aravena y Sra. Cristina Pedraza, del Laboratorio de Química de Suelos y Aguas, por su ayuda en las determinaciones analíticas.

A las secretarías del departamento Manejo de Suelos y Aguas, Pili y Nancy, por tener siempre una excelente disposición.

Al profesor Alberto Mansilla por su claridad, sencillez y desinteresado apoyo en el área estadística.

Al profesor Alfredo Olivares cuyos consejos me fueron de gran utilidad.

A Gabriel y Eduardo Madrid por la importante ayuda brindada en la etapa de muestreo en terreno.

A mi erudito amigo Rodrigo Fuenzalida cuyas reflexiones constituyeron una verdadera fuente de voluntad e incentivo en este y otros tantos pasos a dar.

Finalmente, no puedo terminar sin agradecer el esfuerzo conjunto de muchas personas que antecedieron en esta investigación, y que permitieron la realización de esta memoria.

RESUMEN

En una condición de secano semiárido de Chile central (33°28' LS - 70°50' LO) se evaluó, sobre la base de algunas propiedades químicas del suelo, el comportamiento de un sistema agroforestal sustentado por un sistema de cosecha de agua. Luego de siete años de establecido el sistema los resultados muestran significancia en variables de fertilidad. La concentración de aguas provenientes de las lluvias en determinadas áreas influyó en el crecimiento de plantas (*Acacia saligna*) y análogamente en las propiedades químicas del suelo (materia orgánica del suelo y contenidos totales de nitrógeno y potasio). Respecto de la evaluación previa realizada el año 2000, los contenidos de materia orgánica del suelo aumentaron en un 55% en el tratamiento Agroforestería-Escurrimiento (a la profundidad de 30-40 cm). Los tratamientos Agroforestería-Labranza-Escurrimiento y Agroforestería-Escurrimiento, tuvieron incrementos en los niveles de nitrógeno total (a la profundidad de 10-20 cm) de 27 y 44%, respectivamente. Por otro lado, se advirtió que los niveles de potasio total disminuyeron en los primeros 30 cm de profundidad en el tratamiento Agroforestería-Escurrimiento. Las funciones de respuesta de *A. saligna* mostraron que sólo los contenidos totales de potasio (en el rango de 10-30 cm de profundidad) fueron determinantes en su crecimiento. Al respecto, el incremento en biomasa aérea de *A. saligna* implica, en condiciones de secano, un uso más eficiente del agua donde el potasio tendría un rol crítico en la economía de este recurso.

Palabras clave: Agroforestería, cosecha de agua, propiedades químicas de suelos, *Acacia saligna*, pradera mediterránea anual.

Summary

In a semiarid rainfed zone of central Chile (33°28' SL - 70°50' WL), the behavior of an agroforestry system under runoff farming was evaluated starting from some soil chemical properties. After seven years of the establishment the results show significance in fertility variables. The concentration of runoff into the soil profile determined changes in the growing of the plants (*Acacia saligna*), and in the same way in soil chemical properties (soil organic matter, total contents of nitrogen and potassium). According to the previous evaluation, carried out the year 2000, the soil organic matter contents increased 55% in Agroforestry-Runoff treatment (at 30-40 cm soil depth). The Agroforestry-Tillage-Runoff and Agroforestry-Runoff treatments, had increments in the levels of total nitrogen (at 10-20 cm soil depth), which were 27 and 44%, respectively. On the other hand, it was noticed that the levels of total potassium decreased in the first 30 cm of depth for the Agroforestry-Runoff treatment. The response functions of *A. saligna*, showed that only total contents of potassium (at 10-30 cm soil depth) were determinant in its growth. In this respect, the increase in biomass of *A. saligna*, involves under rainfed conditions, a more efficient water use, where potassium would have a critical role in the water economy.

Key words: Agroforestry, water harvesting, soil chemical properties, *Acacia saligna*, annual mediterranean prairie.

INTRODUCCIÓN

En zonas semiáridas el agua es un recurso natural escaso de gran valor para la agricultura. Bajo condiciones de secano sólo los aportes de las precipitaciones determinarán el éxito o fracaso de la producción agrícola. En el secano interior de la zona central de Chile el régimen de precipitaciones tiene una distribución irregular, donde pocas lluvias de gran intensidad incrementan las tasas de erosión hídrica del suelo (Ellies, 2000).

En orden a contrarrestar la degradación de suelos en estos ecosistemas frágiles surge como alternativa la implementación de sistemas agroforestales. Estos sistemas, al combinar especies leñosas con especies herbáceas, contribuyen a una mayor protección contra la erosión (Young, 1989) y a un uso más eficiente de los recursos del suelo (Lehmann *et al.*, 1998). Las raíces de los árboles actúan como un sistema de red (van Noordwijk *et al.*, 1998) recuperando nutrientes bajo el sistema de raíces de los cultivos anuales (Lehmann *et al.*, 1999), restituyéndolos en superficie a través del mantillo (Mafongoya *et al.*, 1998).

Sin embargo, en zonas de secano los componentes vegetales de los sistemas agroforestales presentan competición más que complementariedad por el uso del agua (Le Roux *et al.*, 1995), en donde los mayores rendimientos esperados no ocurren debido a que sus ventajas sólo se expresan cuando el agua en el suelo se mantiene en un contenido alto durante toda la temporada de crecimiento (McIntyre *et al.*, 1997).

La cosecha de escurrimientos superficiales ha sido usada como riego suplementario en áreas de secano ayudando tanto a incrementar como a sostener la producción de

alimentos en estas regiones (Droppelmann *et al.*, 2000).

En estas circunstancias es posible deducir que muchos de los factores que caracterizan a los ambientes semiáridos pueden ser integrados de manera de lograr una interrelación sinérgica. En consecuencia el objetivo general de este estudio fue relacionar el comportamiento de un sistema agroforestal asociado a un sistema de cosecha de agua con algunas propiedades químicas del suelo, a siete años de su establecimiento en el secano interior de Chile central.

MATERIALES Y MÉTODO

El presente estudio fue realizado en la Estación Experimental Agronómica Germán Greve Silva (33°28' LS - 70°50' LO) perteneciente a la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, ubicada en la comuna de Maipú, Región Metropolitana. El muestreo en terreno se extendió desde diciembre de 2003 a marzo de 2004. Los análisis químicos se realizaron en el Laboratorio de Química de Suelos y Aguas de esta Facultad.

Las condiciones que caracterizan al sitio del ensayo son la presencia de clima templado cálido. Las lluvias presentan montos altamente variables entre años siendo la media aproximada de 317 mm (Figura 1). Estos montos se concentran principalmente en invierno, con un período seco que puede abarcar desde 7 hasta 10 meses (Olivares *et al.*, 1998).

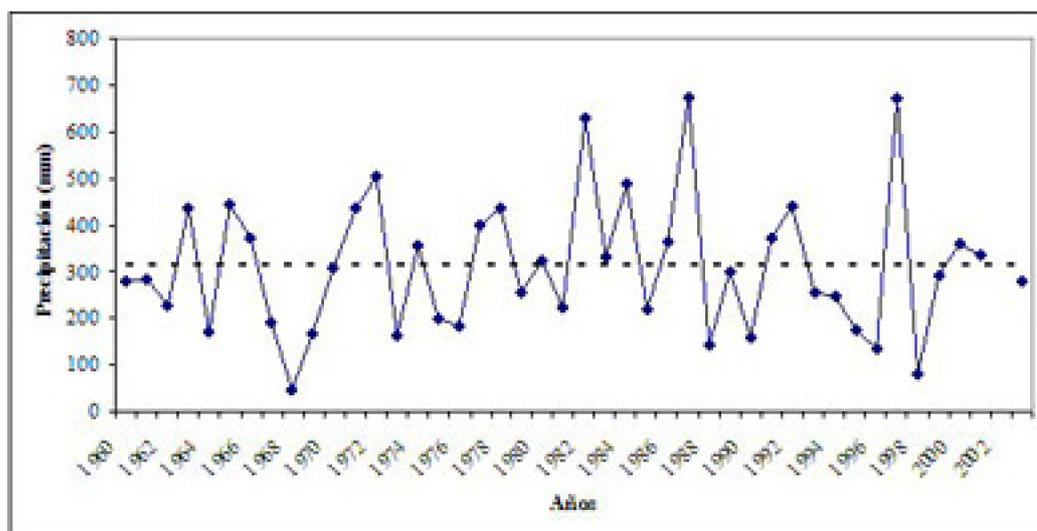


Figura 1. Registros pluviométricos anuales de la Estación Experimental Agronómica Rinconada, período 1960-2003 (Fuente: Olivares et al. 1998; Estación Experimental Germán Greve Silva, 2005).

Línea segmentada indica monto medio anual de precipitación (317 mm).

No se encuentra el registro para el año 2002, debido a que éste no fue medido.

El suelo tiene un gradiente de pendiente de 10%, su origen es coluvial con influencia aluvial. Pertenece a la Fase franco arenosa, delgada, bien drenada, ligeramente pedregosa de la Serie de Suelos Cuesta Barriga (CIREN-CHILE, 1996) y ha sido clasificado como Typic Haploxeroll.

El ensayo comenzó en 1996 con el establecimiento de aramo azul (*Acacia saligna*), cultivos de tuna (*Opuntia ficus indica*) y avena (*Avena sativa*), además de la pradera mediterránea anual natural (PMA), todo ello sustentado por un sistema de cosecha de aguas de escurrimiento. Los tratamientos fueron cinco, dos de la asociación *Acacia*/avena/tuna, con y sin áreas de escurrimiento (ALE y AL), otros dos de la asociación *Acacia*/PMA/tuna también con y sin áreas de escurrimiento (AE y A), y finalmente el testigo (T). No obstante, debido a dificultades serias durante el primer año de establecido el ensayo, causadas por una alta población de roedores (*Octon degu*) y a un pastoreo de ovinos accidental, las plantas de tuna fueron eliminadas casi por completo y muchos de los árboles de *A. saligna* debieron ser replantados. En tales circunstancias el sistema fue modificado a una condición de tipo silvopastoral (*Acacia*/PMA), como se muestra en el Cuadro 1. Pese a ello se mantuvieron las mismas siglas que han identificado a cada tratamiento durante el período de estudio (1996 - 2004).

Tratamiento ¹	Área de escurrimiento (%)	Especies vegetales ²	Tamaño de parcela (m)	Intervención mecánica inicial
T	100	PMA	11 x 10	No
AL	0	<i>Acacia saligna</i> , PMA	11 x 15	Si
ALE	67	<i>Acacia saligna</i> , PMA	11 x 15	Si
A	0	<i>Acacia saligna</i> , PMA	11 x 15	No
AE	67	<i>Acacia saligna</i> , PMA	11 x 15	No

Cuadro 1. Caracterización de los tratamientos evaluados

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

²⁾ PMA = Pradera mediterránea anual.

El T no fue intervenido mecánicamente, manteniendo sólo la PMA. Su tamaño inferior (11 x 10 m) respecto de las otras parcelas (11 x 15 m), se debe a que sus dimensiones son equivalentes a los 2/3 superiores de las parcelas que poseen sistema de cosecha de agua (AE y ALE). En los tratamientos A y AL se establecieron 16 árboles de *A. saligna*, distribuidos en toda la parcela con un marco de plantación de 2 x 3 m, sin áreas de escurrimiento. En el tratamiento A se mantuvo la PMA, a diferencia del tratamiento AL en el que inicialmente se sembró avena entre las hileras de *A. saligna*, llevándose a cabo una inversión mecánica del perfil de 10 cm. Finalmente, en los tratamientos AE y ALE se establecieron 8 árboles de *A. saligna* en el tercio inferior de la parcela (11 x 5 m), con igual marco de plantación y aportes extras de agua provenientes de las áreas de escurrimiento. En el tratamiento ALE, al igual que en el tratamiento AL, se sembró inicialmente avena entre las hileras (Figura 2).

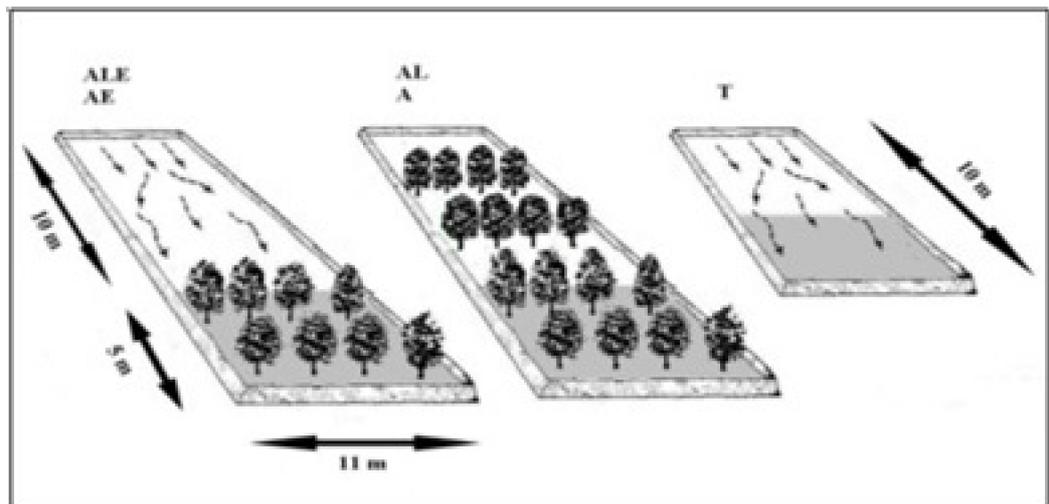


Figura 2. Representación gráfica de los tratamientos del ensayo.

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

Área sombreada corresponde a la superficie de muestreo (11 x 5 m).

El muestreo de suelos se realizó considerando, para todos los casos, como unidad de muestreo el área inferior de cada parcela correspondiente a una superficie de 11 x 5 m (Figura 2). Se tomaron muestras compuestas, constituidas de 15 muestras representativas de la unidad de muestreo, a cuatro profundidades fijas: 0-10, 10-20, 20-30 y 30-40 cm.

La materia orgánica del suelo (MOS) se determinó mediante oxidación por vía húmeda del carbono orgánico utilizando el método de Walkley-Black (Page *et al.*, 1982). Los contenidos totales de nitrógeno (Nt), fósforo (Pt) y potasio (Kt), fueron medidos por el

método de Lachica *et al.* (1965). El pH, determinado en agua (relación 1:2,5), fue medido electrométricamente. El crecimiento de los árboles de *A. saligna* fue determinado midiendo el perímetro del tronco (a 10 cm sobre la superficie del suelo) y el perímetro basal de ramas de primer orden. La producción de la PMA, en base a materia seca, se determinó cortando la estrata herbácea a nivel de la superficie del suelo en un marco de 1 m²; este muestreo fue realizado tomando cuatro puntos en cada parcela, dos de ellos bajo la copa de *A. saligna* y dos fuera de su influencia. Posteriormente las muestras fueron llevadas a estufa por un período de 48 horas a 70°C. Por último, la composición botánica de la PMA se determinó utilizando el método del *point quadrat*.

Los resultados fueron sometidos a un análisis de varianza ($\alpha=5\%$) de acuerdo a un diseño de bloques completos al azar, con tres repeticiones. Los tratamientos fueron comparados entre sí y, dentro de cada tratamiento, por intervalos de profundidad utilizando la prueba de Duncan. El testigo, en cambio, fue analizado en forma individual y comparado posteriormente con el resto de los tratamientos debido a que sus dimensiones eran distintas respecto de los otros tratamientos; tal comparación fue realizada mediante la prueba t de Student. Además se realizó un análisis de correlación entre los parámetros de crecimiento de las especies vegetales y las propiedades químicas del suelo, en base al cual fueron seleccionadas aquellas variables con coeficientes de correlación más altos. Así, las variables seleccionadas fueron sometidas a un análisis de regresión múltiple paso a paso (stepwise) empleando como variables independientes las propiedades químicas medidas en los suelos en cada intervalo de profundidad, obteniendo de esta manera las funciones de respuesta para las variables de crecimiento de los árboles y la pradera. Finalmente, todos los resultados, caracterizados básicamente en términos de crecimiento de las especies vegetales y propiedades químicas del suelo, fueron comparados con los resultados obtenidos en el mismo sitio por Salazar (2003) durante el año 2000, utilizando la prueba t de Student.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la presente evaluación se muestran y discuten comenzando por las propiedades químicas del suelo del testigo y posteriormente de los distintos tratamientos. Luego se continúa con los parámetros de crecimiento de las especies vegetales y finalmente las funciones de respuestas de las especies vegetales.

Propiedades químicas del suelo

Testigo

El testigo (T) representa la condición no alterada del sitio del ensayo, por consiguiente sus propiedades han evolucionado en forma natural a través del tiempo. Tal situación implica que muchas de las variaciones que éste presente podrían ser el reflejo de un comportamiento considerado más bien constante dentro de su ciclo evolutivo. Los resultados de las propiedades químicas del suelo medidas en tal condición se muestran en el Cuadro 2.

EVALUACIÓN EN EL TIEMPO DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DE UN SUELO CON MANEJO AGROFORESTAL Y COSECHA DE AGUA EN EL SECANO INTERIOR DE LA ZONA CENTRAL DE

Propiedad del suelo ¹	Profundidad (cm)			
	0 - 10	10 - 20	20 - 30	30 - 40
MOS (g kg ⁻¹)	44,2 (26,3)a ²	27,6 (44,8)b	23,9 (58,9)c	20,9 (69,3)c
pH	6,3 (2,6)a	6,6 (2,7)a	6,7 (1,7)a	6,6 (2,2)a
Nt (g kg ⁻¹)	2,1 (21,4)a	1,2 (41,7)b	1,1 (47,0)b	1,0 (60,2)b
Pt (g kg ⁻¹)	1,5 (12,9)ab	1,6 (12,1)a	1,6 (15,6)a	1,4 (17,5)b
Kt (g kg ⁻¹)	4,9 (4,9)a	4,8 (6,9)a	4,9 (2,5)a	4,7 (3,5)a

Cuadro 2. Valores promedio de las propiedades químicas del suelo medidas en el testigo por intervalos de profundidad. Entre paréntesis el coeficiente de variación (%)

¹) MOS = Materia orgánica del suelo; pH = Reacción del suelo; Nt = Nitrógeno total; Pt = Fósforo total; Kt = Potasio total.

²) Letras distintas en una fila indica diferencias significativas ANDEVA ($\alpha = 5\%$) en cada propiedad del suelo.

Los contenidos de materia orgánica del suelo (MOS) fueron significativamente mayores en los primeros 20 cm de profundidad con coeficientes de variación en aumento conforme se profundizó. El pH no mostró diferencias significativas a través de todo el perfil muestreado. El nitrógeno total (Nt) presentó valores significativamente más altos en superficie (0-10 cm) y coeficientes de variación en aumento con la profundidad, tal como ocurrió con la MOS. Los contenidos totales de fósforo (Pt) y potasio (Kt) mostraron valores relativamente estables a través del perfil, detectándose diferencias significativas sólo para el caso del Pt en la profundidad de 30-40 cm, cuyo valor fue menor en comparación con las profundidades de 10-20 y 20-30 cm.

La comparación de los distintos parámetros medidos en el suelo, respecto de los resultados obtenidos por Salazar (2003) el año 2000 (figuras 3 y 4), mostró que sólo los valores de MOS y Pt en los primeros 10 cm fueron significativamente menores en la presente evaluación (2004).

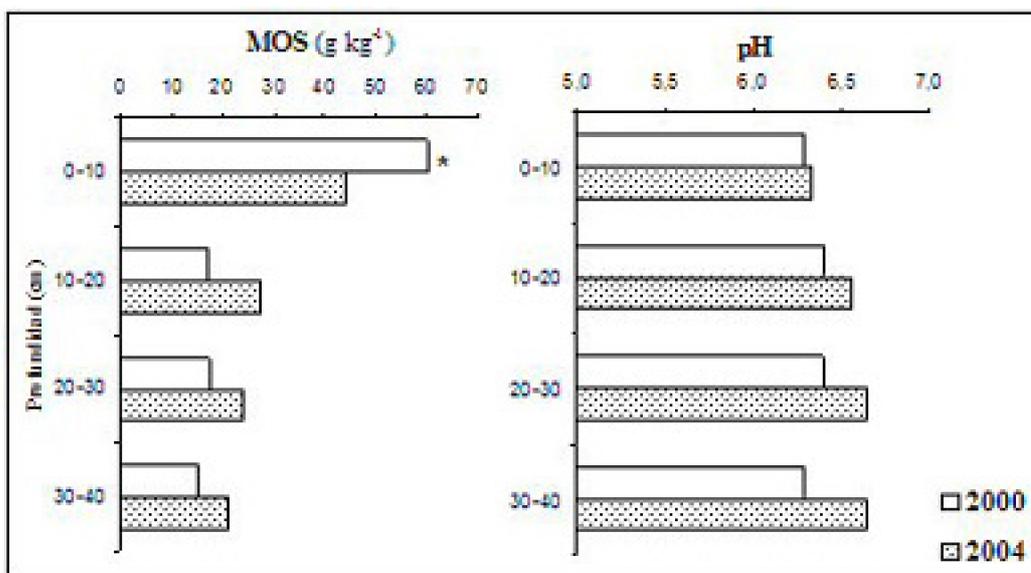


Figura 3. Contenidos promedio de materia orgánica del suelo (MOS) y pH por intervalos de profundidad, años 2000 y 2004.

*) Indica diferencias significativas entre años, por intervalos de profundidad, según prueba t de Student.

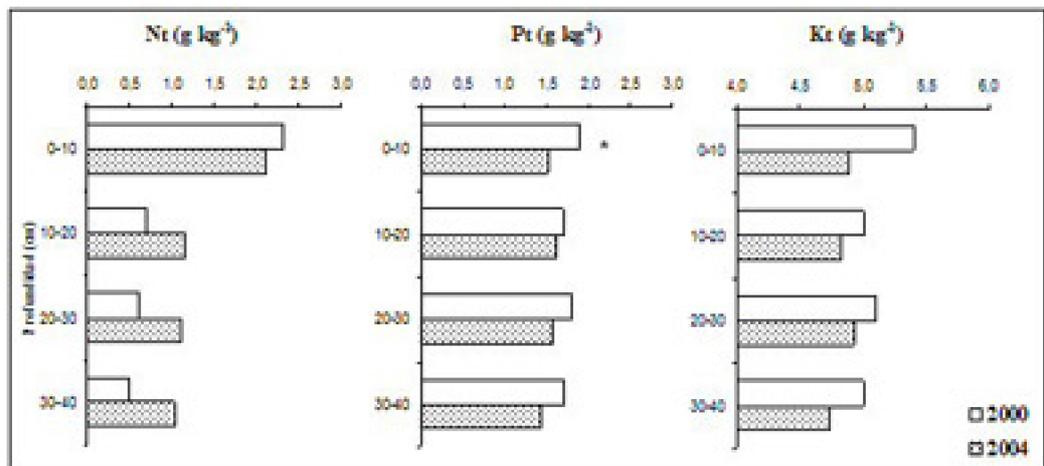


Figura 4. Valores promedio de nitrógeno total (Nt), fósforo total (Pt) y potasio total (Kt), por intervalos de profundidad, años 2000 y 2004.

*) Indica diferencias significativas entre años, por intervalos de profundidad, según prueba t de Student.

Si bien tales diferencias podrían sugerir, en parte, un posible efecto de los agentes externos (lluvia, viento) sobre la superficie del suelo, no se debe excluir la posibilidad de que también pueda deberse a una variabilidad de estos parámetros en el sitio de muestreo; aunque las diferencias entre los valores promedio no hayan sido suficientes como para descartarlas.

Tratamientos

Los niveles de materia orgánica del suelo (MOS), contenidos totales de nitrógeno (Nt), fósforo (Pt) y potasio (Kt), y pH para los distintos tratamientos (AL, ALE, A y AE) se muestran a continuación, analizando sus variaciones dentro del suelo y respecto a la evaluación anterior.

Materia orgánica del suelo

Los contenidos de MOS por intervalos de profundidad, mostraron en todos los tratamientos niveles significativamente mayores en superficie (0-10 cm), lo que estaría reflejando la zona principal de acumulación de materiales orgánicos (Cuadro 3).

Intervalo de profundidad (cm)	Tratamientos ¹				
	T	AL	ALE	A	AE
0 - 10	44,2 (26,3)	52,0 (15,4)a ²	53,5 (26,9)a	50,4 (18,6)a	49,7 (18,6)a
10 - 20	27,6 (44,8)	33,5 (22,5)b	32,5 (33,6)b	28,5 (37,6)b	32,1 (25,3)b
20 - 30	23,9 (58,9)	24,4 (22,8)c	27,5 (46,2)c	23,4 (40,3)c	25,5 (31,5)bc
30 - 40	20,9 (69,3)	21,2 (25,1)c	23,2 (45,0)d	19,4 (44,5)d	20,2 (24,4)c

Cuadro 3. Valores promedio de materia orgánica del suelo para cada tratamiento por

intervalos de profundidad, año 2004. Entre paréntesis el coeficiente de variación (%)

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

²) Letras distintas en una columna indica diferencias significativas ANDEVA ($\alpha = 5\%$) por intervalos de profundidad en cada tratamiento.

Las diferencias entre tratamientos y de éstos con el T no fueron estadísticamente significativas.

Al igual que en el T, los coeficientes de variación aumentaron en la medida que se profundizó en el perfil, en casi todos los tratamientos, pero con una magnitud menor que la de éste (Cuadro 3). De acuerdo a observaciones de Contreras y Solé-Benet (2003), aquellos suelos de regiones semiáridas expuestos a temperaturas altas y secas, tienden a presentar vías preferenciales de infiltración debido a una humectación irregular del suelo; lo que en cierta medida permitiría explicar los cursos por los cuales la materia orgánica se movería en profundidad. Ahora, los coeficientes de variación menores observados en los distintos tratamientos (AL, ALE, A y AE) en comparación con la condición no alterada del sitio del ensayo (T), se deberían a la presencia de *A. saligna* la cual estaría contribuyendo a minimizar este efecto mediante una distribución más homogénea de los materiales orgánicos en profundidad.

Los perfiles de MOS graficados en la Figura 5 muestran, al cabo de cuatro años, diferencias significativas en los tratamientos AL (10-20 cm) y AE (30-40 cm), las cuales representaron incrementos de 37 y 55%, respectivamente.

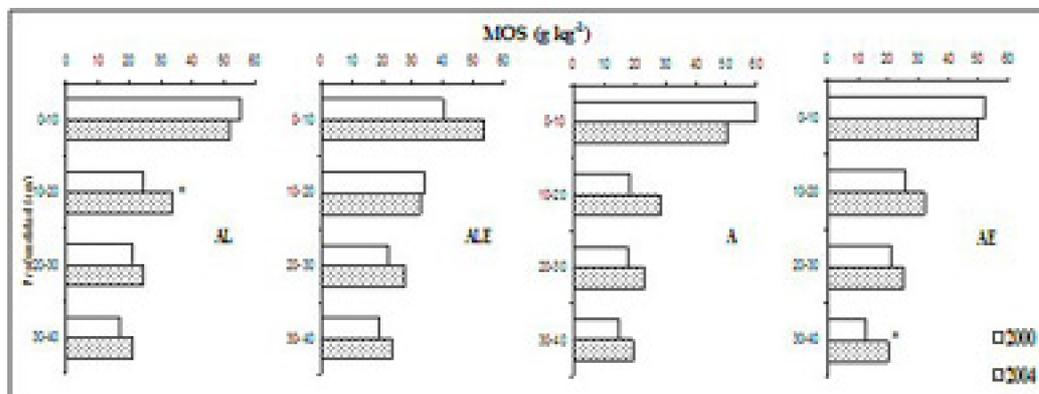


Figura 5. Valores promedio de MOS ($g\ kg^{-1}$) por intervalos de profundidad para cada tratamiento, años 2000 y 2004.

AL = Agroforestería-Labranza; ALE = Agroforestería-Labranza-Escurreamiento; A = Agroforestería; AE = Agroforestería-Escurreamiento.

*) Indica diferencias significativas entre años, por intervalos de profundidad, según prueba t de Student.

Los incrementos de MOS en intervalos de poca profundidad, como lo observado en el tratamiento AL (10-20 cm) respecto de la evaluación anterior (2000), se deben al modo de incorporación principal que ésta tiene (mantillo) pero además, según lo planteado por Szott *et al.*(1991), a los aportes orgánicos provenientes de las raíces muertas de las

especies que componen el sistema, principalmente de *A. saligna* y probablemente en menor grado de la PMA. Estudios realizados por Sánchez (1995) en árboles de multipropósito, señalan que la acumulación de biomasa subterránea proveniente de las raíces puede llegar a ser de 3 a 6 Mg ha⁻¹ año⁻¹, lo que representa una contribución substancial de material orgánico al suelo. No obstante, el grado de aporte de estas raíces muertas a la fracción orgánica del suelo y su consiguiente liberación de nutrientes va a depender de sus características, tales como diámetro de raíces (Lehmann *et al.*, 1995), proporción de raíces y cantidad de lignina (Szott *et al.*, 1991), y también de la biomasa microbiana que actúa sobre ellas (Kätterer *et al.*, 1995); en particular, Grayston *et al.* (1996) destacan el aumento de la actividad microbiana en la rizósfera debido a los exudados de las raíces, lo que estaría favoreciendo este proceso.

Por otra parte, Porta *et al.* (1999) señalan que la condición hídrica del suelo es uno de los factores que determina las posibilidades de translocación de MOS en profundidad. De este modo los aportes extras de agua provenientes de las áreas de escurrimiento en el tratamiento AE, estarían justificando los aumentos significativos de MOS detectados después de cuatro años en la profundidad de 30-40 cm.

Nitrógeno total

Al igual que para la MOS, los niveles mayores de nitrógeno total (Nt) se concentraron en los primeros 10 centímetros del suelo, los cuales fueron significativos en todos los tratamientos (AL, ALE, A y AE) según el análisis estadístico por intervalos de profundidad (Cuadro 4).

Intervalo de profundidad (cm)	Tratamientos ¹				
	T	AL	ALE	A	AE
0 - 10	2,1 (21,4)	2,4 (12,7)a ²	2,1 (23,1)a	2,4 (18,7)a	2,5 (5,8)a
10 - 20	1,2 (41,7)	1,5 (17,4)b	1,4 (23,3)b	1,3 (31,3)b	1,3 (21,7)b
20 - 30	1,1(47,0)	1,1 (16,4)c	1,2 (29,1)b	1,1 (31,2)bc	1,0 (19,1)bc
30 - 40	1,0 (60,2)	1,0 (23,4)c	1,1 (34,2)b	1,0 (29,4)c	0,9 (14,1)c

Cuadro 4. Valores promedio de Nt del suelo para cada tratamiento por intervalos de profundidad, año 2004. Entre paréntesis el coeficiente de variación (%)

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

²) Letras distintas en una columna indica diferencias significativas ANDEVA ($\alpha = 5\%$) por intervalos de profundidad en cada tratamiento.

Las diferencias entre tratamientos y de éstos con el T no fueron estadísticamente significativas.

A pesar de la falta de significancia entre tratamientos y de éstos con el T, los niveles de Nt presentaron un comportamiento según lo teóricamente esperado. Al respecto, Shulten y Schnitzer (1998) informan que casi un 95% del Nt del suelo está asociado a la MOS, por lo tanto el comportamiento que ambos parámetros presenten debería ser

bastante similar (Figura 6), lo que confirma la alta correlación positiva entre estos dos parámetros ($r=0,97$; $P<0,01$) obtenida en la presente investigación.

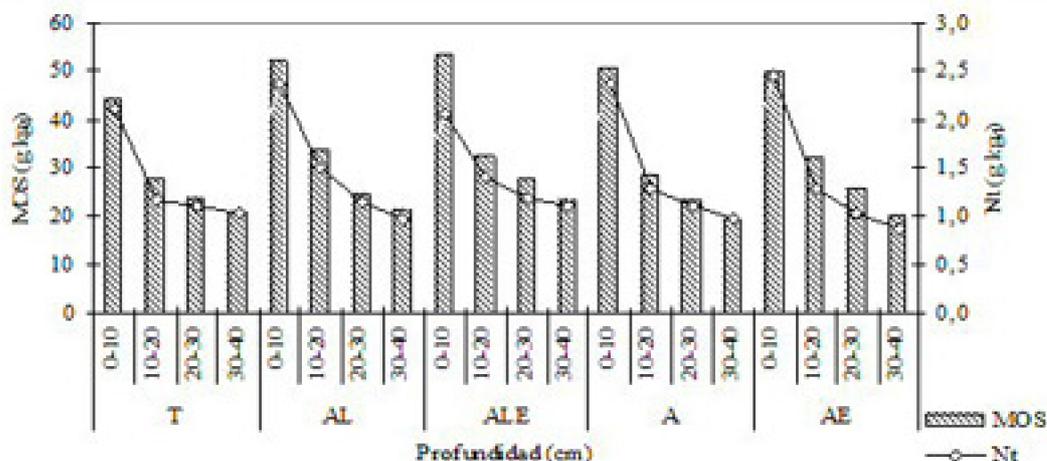


Figura 6. Contenidos promedio de materia orgánica del suelo (MOS) y nitrógeno total (Nt), por intervalos de profundidad para los distintos tratamientos y el testigo, año 2004.

Una de las características que distingue y que ha sido ampliamente documentada en el uso de árboles de multipropósito, ha sido el mantenimiento o mejoramiento de la fertilidad del suelo, especialmente en los niveles de nitrógeno. Especies como *Gliricidia sepium* y *Eritrina* spp., han sido usadas principalmente por su capacidad de fijación de N_2 (a través de la asociación simbiótica con bacterias del género *Rhizobium*), producción de mantillo rico en nutrientes y sombra (Schroth *et al.*, 2001). Tal condición no excluye a la fabácea *A. saligna* que, según se observa en la Figura 7, después de cuatro años mostró aumentos en los niveles totales de nitrógeno del suelo.

De acuerdo a Beer (1988) la fijación biológica de fabáceas arbóreas puede llegar a niveles de $60 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, lo cual es una cantidad importante en sistemas agrícolas con baja o nula adición de fertilizantes. Binkley *et al.* (1992) encontraron que después de seis años los retornos de nitrógeno a través de los residuos vegetales en un sistema asociado (*Albizia* sp. y *Eucalyptus*) fueron de $130 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Sin embargo en esta investigación, después de cuatro años, los aumentos significativos sólo se presentaron en aquellos tratamientos con cosecha de agua (ALE y AE) en el intervalo de profundidad de 10-20 cm (Figura 7), los que representaron incrementos de 27% (ALE) y 44% (AE).

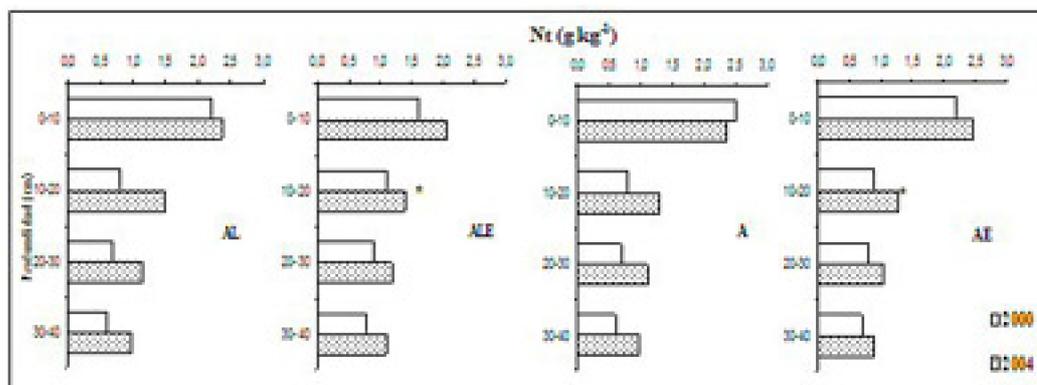


Figura 7. Valores promedio de nitrógeno total (Nt) por intervalos de profundidad para cada

tratamiento, años 2000 y 2004.

AL = Agroforestería-Labranza; ALE = Agroforestería-Labranza-Escurrimiento; A = Agroforestería; AE = Agroforestería-Escurrimiento.

*) Indica diferencias significativas entre años, por intervalos de profundidad, según prueba t de Student.

Considerando que se trata de contenidos totales de nitrógeno ($N_{\text{orgánico}} + N_{\text{mineral}}$), la significancia de tales aumentos podría deberse a una concentración mayor de raíces a esta profundidad producto de la mejor condición hídrica (sistemas con cosecha de agua). Este hecho es demostrado por Lehmann *et al.* (1998) y Peter y Lehmann (2000) quienes observaron que las raíces de *A. saligna* en sistemas con cosecha de agua se concentraban principalmente en los primeros 15 cm del suelo, lo que estaría indicando una zona de alto aporte de raíces muertas a la fracción orgánica del suelo.

Por otra parte existe también la posibilidad de una translocación de las formas minerales de nitrógeno desde la porción superficial de suelo (0-10 cm). Cabe recordar que dentro de estas formas se encuentra el NO_3^- (móvil) y el NH_4^+ (inmóvil), ambos utilizables por las plantas, y cuyos incrementos en el suelo responden a procesos de mineralización de las fracciones orgánicas. Al respecto, las tasas de mineralización pueden verse incrementadas debido a la abundancia de raíces finas (Cheng y Coleman, 1990), como también debido a sus exudados (Grayston *et al.*, 1996); lo que determinaría un balance positivo de nitrógeno disponible para las plantas. No obstante, en caso de que estas formas no estén siendo utilizadas, particularmente aquellas formas móviles, existiría una mayor posibilidad de translocación. Desde este punto de vista, los tratamientos con cosecha de agua (ALE y AE) al presentar una menor producción de la pradera (tal como será analizado más adelante), supondría una posible translocación de nitrato desde el intervalo más superficial (0-10 cm), producto de que éste no estaría siendo utilizado por el componente herbáceo; proceso que a su vez es facilitado por los ingresos adicionales de agua.

Fósforo total

Los contenidos totales de fósforo (Pt) mostraron valores significativamente menores bajo los 20 cm de profundidad en el tratamiento ALE respecto a los intervalos más superficiales. En cambio en el tratamiento A su valor menor se detectó en el último intervalo analizado (Cuadro 6).

Intervalo de profundidad (cm)	Tratamientos ¹				
	T	AL	ALE	A	AE
0 - 10	1,5 (12,9)	1,7 (16,0)a ²	1,7 (12,6)a	1,5 (11,4)a	1,6 (15,1)a
10 - 20	1,6 (12,1)	1,8 (16,1)a	1,7 (12,7)a	1,5 (13,4)a	1,7 (14,9)a
20 - 30	1,6 (15,6)	1,6 (12,6)a	1,6 (11,3)b	1,5 (12,3)a	1,6 (13,4)a
30 - 40	1,4 (17,5)	1,5 (12,1)a	1,5 (14,9)b	1,4 (12,8)b	1,4 (8,8)a

Cuadro 6. Valores promedio de fósforo total del suelo para cada tratamiento por intervalos de profundidad. Entre paréntesis el coeficiente de variación (%)

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

2) Letras distintas en un columna indica diferencias significativas ANDEVA ($\alpha = 5\%$) por intervalos de profundidad en cada tratamiento.

Las diferencias entre tratamientos y de éstos con el T no fueron estadísticamente significativas.

Considerando que no hay aportes externos (fertilizantes), las diferencias que se puedan detectar en profundidad estarían relacionadas a aumentos en sus formas disponibles, las que estarían determinando una mayor absorción de este macronutriente por las raíces de los árboles. Algunos autores (Bowen, 1985; Grayston *et al.* 1996) destacan el rol importante que cumplen los exudados de las raíces de los árboles en la rizósfera, los que favorecen la solubilización de formas no disponibles de ciertos nutrientes, dejándolos asequibles para las plantas. Es más, Khanna (1998) destaca que grandes cantidades de fosfatasa son exudadas por las raíces de fabáceas arbóreas, las que estarían favoreciendo la mineralización del fósforo orgánico en los suelos. Sin embargo los resultados obtenidos en esta investigación, al cabo de cuatro años, no mostraron diferencias significativas respecto a la evaluación anterior como para destacar este comportamiento (Figura 8).

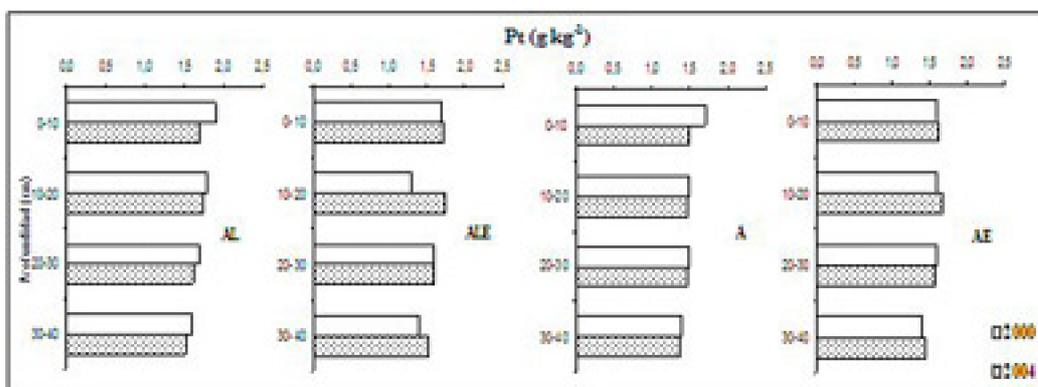


Figura 8. Valores promedio de fósforo total (Pt) por intervalos de profundidad para cada tratamiento, años 2000 y 2004.

AL = Agroforestería-Labranza; ALE = Agroforestería-Labranza-Escurrecimiento; A = Agroforestería; AE = Agroforestería-Escurrecimiento.

En tal caso se infiere que las variaciones en los contenidos totales de fósforo fueron prácticamente nulas. La causa se debe a su afinidad con los minerales del suelo, lo que en definitiva determina que tanto las pérdidas por lixiviación o bien por absorción radical son muy bajas (Noble y Randall, 1998), sin afectar significativamente a esta fracción del Pt.

Potasio total

Como se indica en el Cuadro 7, los tratamientos A (0-10 y 10-20 cm) y AE (0-10 y 20-30 cm) mostraron contenidos totales de potasio (Kt) significativamente menores con relación al T. Además, sólo en el tratamiento AE se encontró que los valores en superficie (0-10 cm) eran significativamente mayores respecto de las dos últimas profundidades analizadas.

Intervalo de profundidad (cm)	Tratamientos ¹				
	T	AL	ALE	A	AE
0 - 10	4,9 (4,9)	4,3 (10,6)a ²	4,7 (12,5)a	4,2 (4,3)a ³	4,5 (4,1)a ³
10 - 20	4,8 (6,9)	4,3 (14,4)a	4,8 (13,8)a	4,1 (8,1)a ³	4,4 (4,4)ab
20 - 30	4,9 (2,5)	4,2 (13,1)a	4,7 (6,8)a	4,3 (9,6)a	4,2 (3,5)b ³
30 - 40	4,7 (3,5)	4,1 (13,2)a	4,6 (8,1)a	4,8 (5,7)a	4,2 (4,6)b

Cuadro 7. Valores promedio de Kt del suelo para cada tratamiento por intervalos de profundidad. Entre paréntesis el coeficiente de variación (%)

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

²) Letras distintas en una columna indica diferencias significativas ANDEVA ($\alpha = 5\%$) por intervalos de profundidad en cada tratamiento.

³) Presenta diferencias significativas con el testigo según prueba t de Student.

Las diferencias entre tratamientos no fueron estadísticamente significativas.

El potasio en los residuos orgánicos ocurre predominantemente como K^+ inorgánico soluble (Havlin *et al.*, 1999). Así, los niveles altos de MOS en superficie (0-10 cm) del tratamiento AE sumado a los ingresos adicionales de agua (tratamiento con cosecha de agua), estaría indicando una mayor dinámica en su reciclaje y consecuentemente una concentración mayor en superficie, según muestra el análisis entre intervalos de profundidad (Cuadro 7). Por otro lado, las diferencias detectadas en los tratamientos A y AE respecto al T, podrían atribuirse a la extracción de potasio por la *A. saligna*, obviamente ausente en el T.

Desde el punto de vista fisiológico, el potasio cumple una función esencial en la eficiencia de uso del agua de las plantas debido a su capacidad de regular la apertura y cierre de los estomas (Jordán, 1988). Un mejoramiento en la absorción de potasio trae consigo una capacidad mayor de soportar estrés hídrico. Por consiguiente, los valores significativamente menores encontrados después de cuatro años (Figura 9) en el tratamiento AE (0-10 y 20-30 cm) serían producto de una mayor absorción de este macronutriente; absorción que se vería favorecida por los aportes adicionales de agua. Al respecto, Havlin *et al.* (1999) señalan que la mejor condición hídrica del suelo facilita los procesos de difusión de nutrientes hacia las raíces de las plantas.

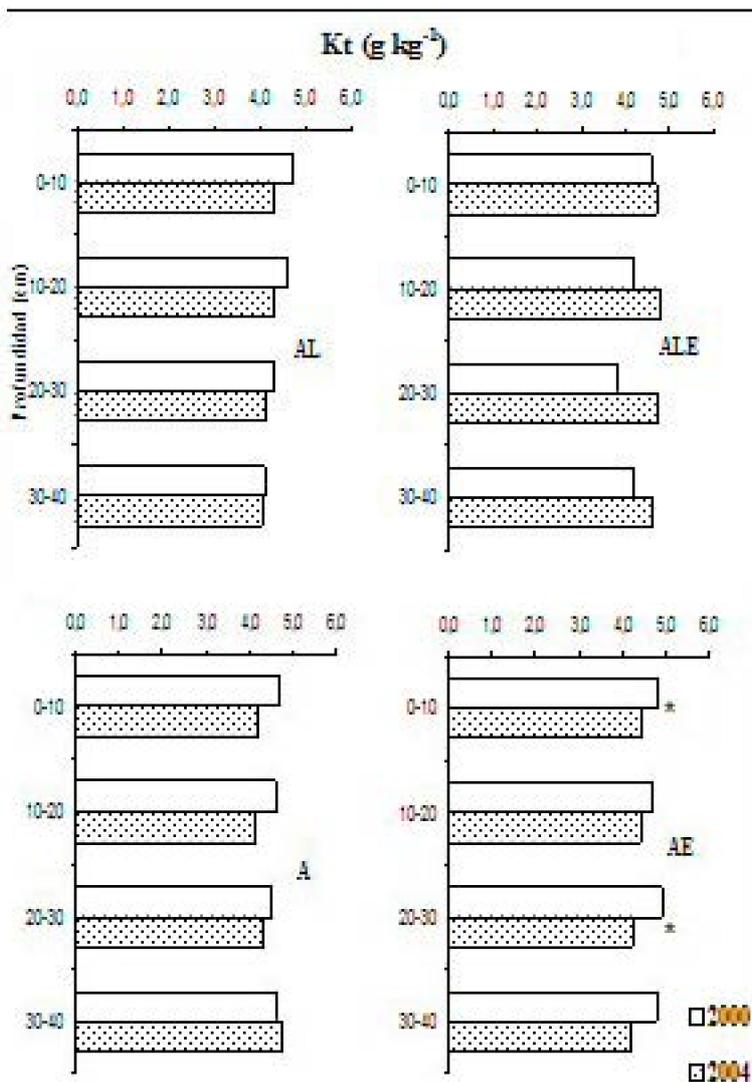


Figura 9. Valores promedio de K_t ($g\ kg^{-1}$) por intervalos de profundidad para cada tratamiento, años 2000 y 2004.

AL = Agroforestería-Labranza; ALE = Agroforestería-Labranza-Escurrimiento; A = Agroforestería; AE = Agroforestería-Escurrimiento.

*) Indica diferencias significativas entre años, por intervalos de profundidad, según prueba t de Student.

Reacción del suelo (pH)

Los valores promedio de pH fueron significativamente menores en la profundidad de 20-30 cm del tratamiento A al ser comparados con el T. Por otro lado, tras analizar dentro de cada tratamiento por intervalos de profundidad, se encontró que los niveles menores y significativos estaban en superficie (0-10 cm) en los tratamientos AL, ALE y AE (Cuadro 8), como consecuencia de los contenidos de MOS mayores a esa profundidad (Cuadro 3).

Intervalo de profundidad (cm)	Tratamientos ¹				
	T	AL	ALE	A	AE
0 - 10	6,3 (2,6)	6,3 (2,5)a ²	6,3 (1,8)a	6,3 (2,2)a	6,4 (0,5)a
10 - 20	6,6 (2,7)	6,4 (2,4)ab	6,5 (1,4)b	6,5 (0,7)a	6,6 (1,8)b
20 - 30	6,7 (1,7)	6,5 (2,2)b	6,5 (0,1)b	6,5 (2,3)a ³	6,6 (2,8)b
30 - 40	6,6 (2,2)	6,5 (2,3)b	6,6 (0,4)b	6,6 (1,8)a	6,7 (2,6)b

Cuadro 8. Valores promedio de pH del suelo para cada tratamiento por intervalos de profundidad. Entre paréntesis el coeficiente de variación (%)

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

²) Letras distintas en una columna indica diferencias significativas ANDEVA ($\alpha = 5\%$) por intervalos de profundidad en cada tratamiento.

³) Presenta diferencias significativas con testigo según prueba t de Student.

Las diferencias entre tratamientos no fueron estadísticamente significativas.

La disminución del pH debido a la MOS se debe a la presencia de grupos carboxílicos y fenólicos que se comportan como ácidos débiles liberando H^+ durante la descomposición de los residuos vegetales (Havlin *et al.*, 1999). Pese a ello, con el tiempo (comparación años 2000 y 2004) se observó un alza (Figura 10), la cual fue significativa en los tratamientos AL (0-10 y 30-40 cm), ALE (30-40 cm) y AE (0-10 y 10-20 cm).

En tal situación es posible inferir que a pesar de los cambios de uso del suelo, el sistema con el tiempo ha regulado las variaciones de pH debido a que su capacidad tampón ha aumentado, dado los incrementos en los contenidos de MOS.

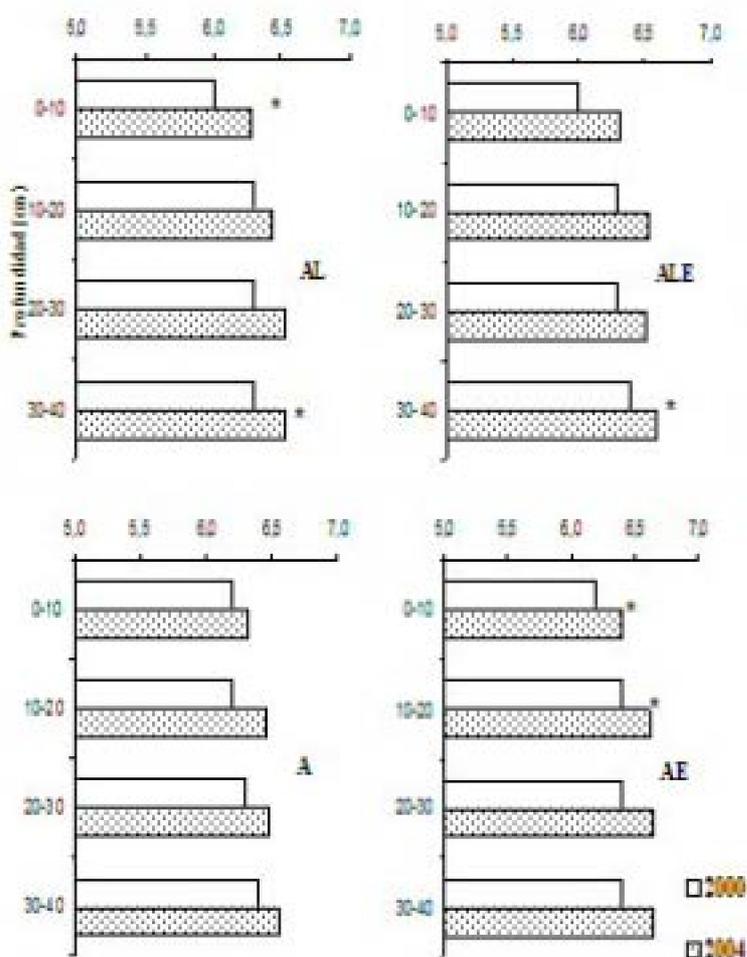


Figura 10. Valores promedio de pH por intervalos de profundidad para cada tratamiento, años 2000 y 2004.

AL = Agroforestería-Labranza; ALE = Agroforestería-Labranza-Escurrimiento; A = Agroforestería; AE = Agroforestería-Escurrimiento.

*) Indica diferencias significativas entre años, por intervalos de profundidad, según prueba t de Student.

Parámetros de crecimiento de las especies vegetales

Acacia saligna

Los parámetros de crecimiento de *A. saligna*, expresados en términos de perímetro basal del tronco (PB) y perímetro basal de ramas de primer orden (PBRP), a pesar de no mostrar diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 9), en general mostraron

valores mayores en aquellas condiciones con cosecha de agua (ALE y AE).

Tratamientos	Parámetros de crecimiento (cm)	
	PB ¹	PBRP
AL	46,52 (9,6)a ²	26,67 (5,0)a
ALE	58,71 (20,2)a	35,70 (14,6)a
A	47,57 (3,0)a	28,97 (4,9)a
AE	53,88 (6,0)a	31,36 (20,4)a

Cuadro 9. Parámetros de crecimiento de la A. saligna, para cada tratamiento. Entre paréntesis el coeficiente de variación (%)

¹) PB = Perímetro basal del tronco; PBRP = Perímetro basal de ramas de primer orden.

²) Letras distintas en un columna indica diferencias significativas ANDEVA ($\alpha = 5\%$).

En la Figura 11 se muestra en forma gráfica los aumentos en el tiempo para estos dos parámetros. Los incrementos significativos de PB detectados en los tratamientos AL, A y AE, fueron de 74, 69 y 83% respectivamente. Del mismo modo, los valores de PBRP presentaron aumentos significativos en los tratamientos AL, A y ALE, correspondientes a 56, 71 y 91% respectivamente.

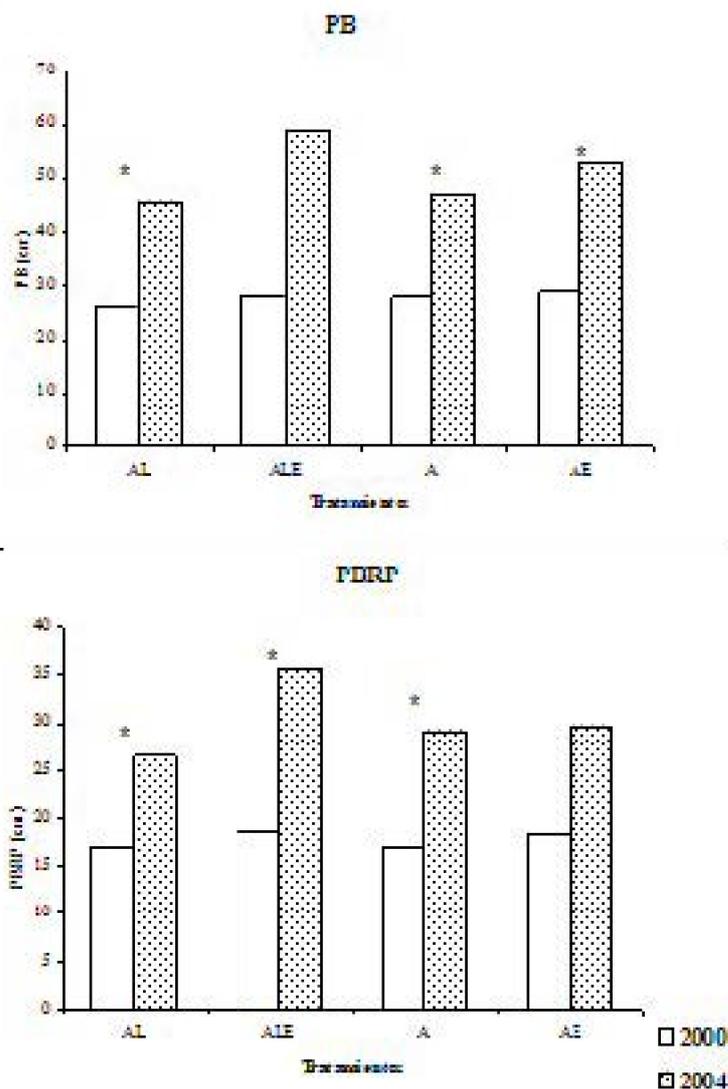


Figura 11. Valores promedio de perímetro basal del tronco (cm) y perímetro basal de ramas de primer orden (cm) por tratamiento, años 2000 y 2004.

*) Indica diferencias significativas entre años, según prueba t de Student.

Pradera mediterránea anual

Tras analizar la composición botánica de la PMA, los resultados mostraron una proporción mayor de *Bromus berterianus* en los distintos tratamientos (AL, ALE, A y AE) en comparación con el T, en donde *Erodium cicutarium* se encontró en un porcentaje mayor (Cuadro 10).

Identificación	Tratamientos				
	T	AL	ALE	A	AE
<i>Bromus berterianus</i>	45,7	92,3	82,9	96,4	69,3
<i>Erodium cicutarium</i>	53,2	2,8	3,8	3,0	24,8
<i>Vulpia</i> sp.	0,5	-	-	-	-
<i>Gnaphalium</i> sp.	0,5	-	-	-	-
<i>Galium aparine</i>	-	2,8	-	-	5,8
<i>Amsinckia</i> sp.	-	2,1	12,7	0,6	-
<i>Urtica urens</i>	-	-	0,6	-	-

Cuadro 10. Contribución específica promedio (%) de la pradera mediterránea anual por tratamiento, septiembre 2004

El dominio de *B. Berterianus* en condiciones con influencia arbórea se debe al efecto de sombreamiento, el que estaría determinando mejores condiciones hídricas (Olivares *et al.*, 2000) y de fertilidad en el suelo (Castillo *et al.*, 1988 y Olivares *et al.*, 1988). No obstante, tal efecto modificador no sólo se vio reflejado en la composición botánica de la PMA, sino que también en su producción.

De acuerdo al Cuadro 11, la producción de la PMA (kg materia seca ha⁻¹) presentó valores menores en aquellos tratamientos con incrementos mayores de biomasa arbórea, en términos de PB (AE) y PBRP (ALE), aunque sin significancia estadística.

Tratamientos	Producción pradera kg ha ⁻¹
T	1.424 (37,5)
AL	1.334 (51,7)a ¹
ALE	1.273 (42,5)a
A	1.590 (17,7)a
AE	1.205 (31,1)a

Cuadro 11. Producción promedio de la pradera mediterránea anual (kg materia seca ha⁻¹) para cada tratamiento, diciembre 2003. Entre paréntesis el coeficiente de variación (%)

¹) Letras distintas en una columna indica diferencias significativas ANDEVA (α=5%) entre tratamientos.

Más aún, se observó en términos generales que las producciones fueron menores a las obtenidas en la primera evaluación, probablemente en respuesta al crecimiento de *A. saligna* durante el transcurso de los años en los distintos tratamientos (Figura 12). No obstante, tales diferencias no mostraron ser estadísticamente significativas.

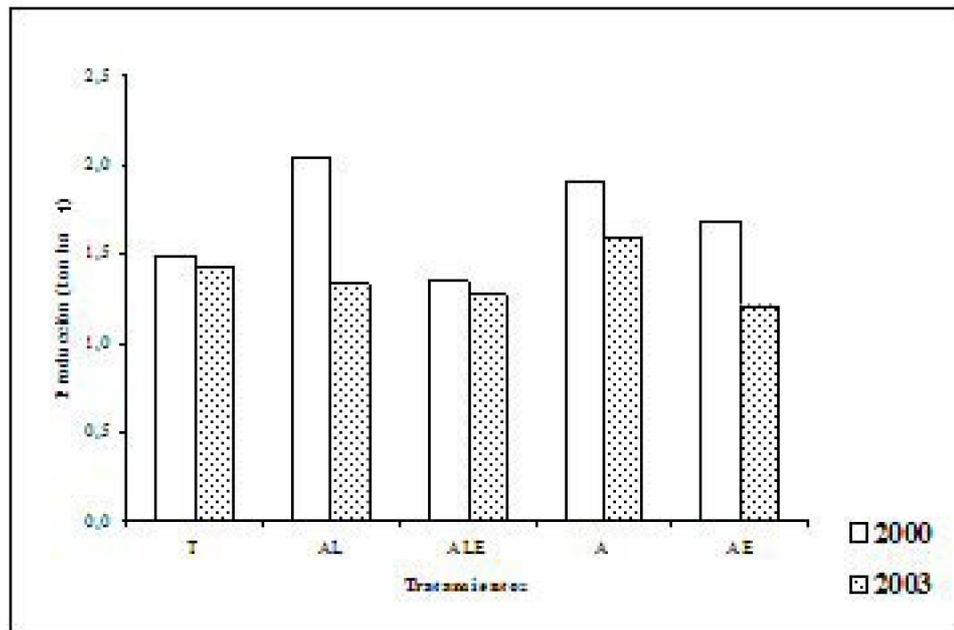


Figura 12. Comparación de la producción promedio de la pradera mediterránea anual para ambos periodos (2000 y 2003), por tratamiento.

Eastham *et al.* (1990) señalan que la producción de la pradera bajo la influencia del árbol disminuye con mayores producciones de biomasa arbórea debido al sombreado. En efecto, en esta investigación se observó una correlación negativa entre los parámetros de crecimiento medidos en los árboles (PB y PBRP) y la producción de la pradera, sin embargo ésta no fue significativa.

Por otro lado, tanto Percival y Hawkes (1985) como Eason (1991), dedujeron que la acumulación de mantillo sobre el suelo con el tiempo, posiblemente tenga un efecto inhibitorio sobre la pradera que crece bajo la influencia del árbol. Bajo este supuesto se midió la altura de mantillo acumulado en distintos puntos dentro de cada tratamiento y se compararon con los valores promedio de producción de la pradera (Figura 13).

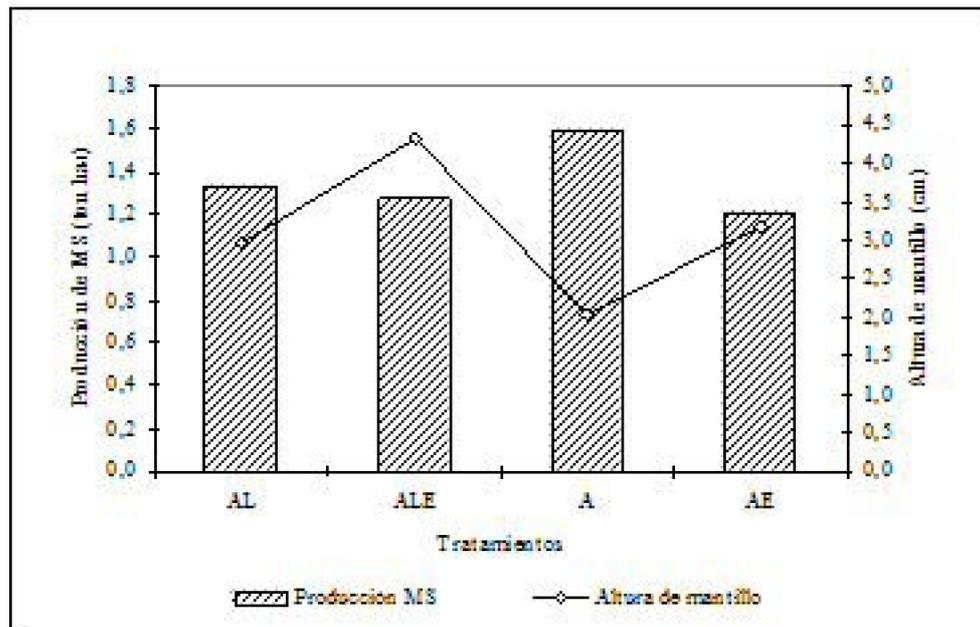


Figura 13. Producción de materia seca de la pradera mediterránea anual y altura de mantillo, temporada 2004.

Los promedios de mantillo acumulado presentaron diferencias significativas en los tratamientos ALE y A. Analizando estos dos casos se observó que la mayor acumulación de mantillo en ALE coincidió con una producción menor de la pradera; por el contrario, el menor mantillo acumulado en A pudo haber determinado una producción mayor de la pradera.

De acuerdo a lo sugerido por Eason (1991), el efecto negativo viene dado por la tasa de descomposición que tienen las hojas acumuladas en superficie. Este autor comprobó que las hojas provenientes de la especie *Picea sitchensis* inhibían en mayor medida la producción de ballica (*Lolium perenne*) en comparación con las hojas provenientes del fresno común (*Fraxinus excelsior*), debido a que éste último presentó una tasa de descomposición de hojas mayor, lo que determinó un menor efecto inhibitorio sobre la estrata herbácea. Esta afirmación podría además explicar la falta de concordancia entre los resultados de esta investigación y los obtenidos por Castillo *et al.* (1990) y Olivares *et al.* (1988), quienes encontraron que la producción de la pradera natural se veía beneficiada con la presencia de *A. caven*. Las características de las hojas de *A. caven* (hojas compuestas, con 3 a 8 pares de folíolos, con longitudes de 1 a 2 cm) en comparación con las hojas de *A. saligna* (hojas semiduras, con longitud variable de 8 a 20 cm y de 1 a 4 cm de ancho), estarían determinando una facilidad de descomposición superior a la presentada por *A. saligna* y por lo tanto, un efecto de cubrimiento menor sobre la PMA.

Funciones de respuesta de las especies vegetales

Con anterioridad a esta investigación, Salazar (2003) definió también funciones de respuesta de las especies vegetales basadas en un análisis de regresión múltiple. Ahora, a cuatro años de la primera evaluación, se verificó si las funciones de respuesta para los parámetros: perímetro basal del tronco (PB) y perímetro basal de ramas de primer orden (PBRP), siguen respondiendo a las medidas estadísticas en ese entonces definidas. Así, tras el análisis se observó que los predictores seleccionados por Salazar (2003) no coincidieron con las funciones obtenidas en la presente evaluación.

En el Cuadro 12 se muestran las funciones de respuesta definidas en ambas temporadas.

Año	Parámetro de crecimiento ¹	Función de respuesta	R ²
2000	PB	$PB = 16,420 + (5,345 \times Pt_{(20-30\text{ cm})}) + (3,568 \times Nt_{(20-30\text{ cm})})$	0,41
2004	PB	$PB = 0,700 + (5,800 \times Kt_{(10-30\text{ cm})})$	0,37
2000	PBRP	$PBRP = 10,504 + (3,813 \times Pt_{(20-30\text{ cm})}) + (1,590 \times Nt_{(20-30\text{ cm})})$	0,35
2004	PBRP	$PBRP = 2,230 + (3,200 \times Kt_{(10-30\text{ cm})})$	0,27

Cuadro 12. Funciones de respuesta de los parámetros de crecimiento de *A. saligna*

¹) PB = perímetro basal del tronco; PBRP = perímetro basal de ramas de primer orden.

Las funciones derivadas el primer año (2000), indicaban que el crecimiento de *A. saligna* estaba en función de los contenidos totales de nitrógeno (Nt) y fósforo (Pt) del suelo, dado a que en ese entonces ambos tenían un rol crítico en la nutrición de los árboles, probablemente en respuesta a los pocos años transcurridos desde el establecimiento del sistema.

Cuatro años después, aparece como factor determinante del crecimiento de *A. saligna*, aunque con coeficientes de determinación bajos, el Kt y en el rango de 10-30 cm de profundidad. Al respecto, ante condiciones de déficit hídrico las plantas que no son xerófitas se adaptan mediante cambios xeromórficos, como por ejemplo en la dinámica de apertura y cierre de los estomas. Considerando que el potasio cumple la función de modificar el potencial hídrico a nivel de células de guarda en los estomas de las hojas (Jordán, 1988), un mal funcionamiento de los estomas debido a una deficiencia de potasio tiene como resultado tasas fotosintéticas bajas y una menor eficiencia en el uso del agua, afectando negativamente la capacidad de soportar estrés hídrico (Havlin *et al.*, 1999). En tal sentido, los incrementos en la biomasa de *A. saligna* implican necesariamente, en condiciones de secano, aumentos en la eficiencia de uso del agua, donde el potasio surge como factor crítico en la economía hídrica.

En lo que respecta a la PMA, no se encontraron funciones que cumplieran con las medidas estadísticas predeterminadas lo que indicaría, según lo inferido por Salazar (2003), que son otros factores los que estarían determinando la producción de la pradera más que las propiedades químicas del suelo analizadas. De acuerdo a lo visto en este estudio, el efecto de cubrimiento del mantillo sería una de las posibles causas.

Finalmente, a pesar de que muchos de los resultados obtenidos en el presente análisis no mostraron significancia estadística, es importante destacar que en sistemas

agroforestales la aplicación rigurosa de niveles de aceptación estadística ($P \leq 0,05$) podría ser inapropiada, debido a que en comparación con ensayos de cultivos más simples las condiciones son inevitablemente más variables (Huxley, 1999). Otra posibilidad que podría estar influyendo en la falta de significancia se debería al tiempo insuficiente desde establecimiento del ensayo (Salazar, 2003).

CONCLUSIONES

- La cosecha de agua estaría teniendo, al cabo de cuatro años, un efecto en la translocación de los materiales orgánicos en profundidad, dado los incrementos de materia orgánica del suelo en la profundidad de 30-40 cm del tratamiento Agroforestería-Escurrimiento (AE).
- Los contenidos totales de nitrógeno, a su vez, presentaron incrementos correspondientes a 27% en el tratamiento Agroforestería-Labranza-Escurrimiento (ALE) y 44% en el tratamiento Agroforestería-Escurrimiento (AE), en la profundidad de 10-20 cm.
- Por otra parte se observó que el sistema con el tiempo ha regulado las variaciones de pH debido a que su capacidad tampón ha aumentado, producto de los incrementos en los contenidos de materia orgánica del suelo.
- Los árboles de *A. saligna* presentaron un crecimiento mayor en los tratamientos Agroforestería-Escurrimiento (AE) para perímetro basal (83%) y Agroforestería-Labranza-Escurrimiento (ALE) para perímetro basal de ramas primarias (91%), lo que sería atribuido a la cosecha de agua.
- La acumulación de mantillo proveniente de *A. saligna* estaría reduciendo la productividad de la pradera mediterránea anual que crece bajo su influencia, debido a un efecto de cubrimiento. Tal situación reviste gran importancia en la elección de las especies que componen el sistema.
- El incremento de la biomasa aérea de *A. saligna* implica, en ambientes de secano,

una mayor eficiencia de uso del agua en donde el potasio cumple un rol primordial en la regulación estomática. Así, de acuerdo a las funciones de respuesta, los niveles totales de potasio del suelo determinaron en mayor medida su crecimiento.

LITEATURA CITADA

- BEER, J. 1988. Litter production and nutrient cycling in coffee (*Coffea arabica*) or cacao (*Theobroma cacao*) plantations with shade trees. *Agroforestry Systems* 7: 103-114. 1.
- Binkley, D., Dunkin, K.A., DeBell, D. and Ryan, M.G. 1992. Production and nutrient cycling in mixed plantations of *Eucalyptus* and *Albizia* in Hawaii. *Forest Science* 38: 393-408. 2.
- BOWEN, G.D. 1985. Roots as a component of tree productivity. pp. 303-315. In: Cannell, M.G.R., Jackson, J.E. (Eds). *Attributes of trees as crop plants*. Institute of Terrestrial Ecology, Abbots Ripton, United Kingdom. 592 p. 3.
- CASTILLO, H., OLIVARES, A. y POLZENIUS, H. 1988. Modificaciones 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. 4.
- CASTILLO, H., OLIVARES, A., POLZENIUS, H. y POTTER, W. 1990. Variaciones de la humedad aprovechable del suelo y su efecto en la producción de materia seca de la pradera desarrollada bajo la influencia del espino *Acacia caven* (Mol.) Mol. *Avances en Producción Animal* 15(1-2): 19-27. 5.
- CIREN-Chile. 1996. Estudio agrológico de la Región Metropolitana. Centro de Información de los Recursos Naturales. Publicación N° 115.425 p. 6.
- Cheng, W. and ColLeman, d.c. 1990. Effect of living roots on soil organic matter 7.

decomposition. *Soil Biology and Biochemistry* 22: 781-787.

Contreras, S. y Solé-Benet, A. 2003. Hidrofobia en suelos mediterráneos semiáridos: 8. implicaciones hidrológicas para una pequeña cuenca experimental en el SE ibérico. *Cuaternario y Geomorfología* 17(1-2): 29-45.

DROPPELMANN, K.J., LEHMANN, J., EPHRATH, J.E. and BERLINER, P.R. 2000. 9. Water use efficiency and uptake patterns in a runoff agroforestry system in an arid environment. *Agroforestry Systems* 49: 223-243.

EASON, W. R. 1991. The effect of tree leaf litter on sward botanical composition and 10. growth. *Forest Ecology and Management* 45: 165-172.

EASTHAM, J., ROSE, C.W., CHARLES-EDWARDS, D.A., CAMERON, D.M. and 11. RANCE, S.J. 1990. Planting density effects on water use efficiency of trees and pasture in an agroforestry experiment. *New Zealand Journal of Forestry Science* 20(1): 39-53.

ELLIES, A. 2000. Soil erosion and its control in Chile. An overview. *Acta geológica 12. hispánica* 35: 279-284.

Estación Experimental Germán Greve Silva. 2005. Registros pluviométricos anuales 13. de la Estación Experimental Agronómica Rinconada años 1997-2001 y 2003. Santiago, Chile, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Datos no publicados.

GRAYSTON, S.J., VAUGHAN, D. and JONES, D. 1996. Rhizosphere carbon flow in 14. trees, in comparison with annual plants: the importance of root exudation and its impact on microbial activity and nutrient availability. *Applied Soil Ecology* 5: 29-56.

HAVLIN, J., BEATON, J., TISDALE, S. and NELSON, W. 1999. Soil fertility and 15. fertilizers. An introduction to nutrient management. 6th Edition. Prentice Hall, New Jersey. 499 p.

HUXLEY, P. 1999. Tropical agroforestry. Oxford, United Kingdom, Blackwell Science 16. 371 p.

JORDÁN, M. 1988. El rol del potasio en las plantas. *Boletín Sociedad Chilena de la 17. Ciencia del Suelo* (8): 1-14.

KÄTTERER, T., FABIÃO, A., MADEIRA, M. RIBEIRO, C. and STEEN, E. 1995. 18. Fine-root dynamics, soil moisture and soil carbon content in a *Eucalyptus globulus* plantation under different irrigation and fertilization regimes. *Forest Ecology and Management* 74: 1-12.

KHANNA, P.K. 1998. Nutrient cycling under mixed-species tree systems in southeast 19. Asia. *Agroforestry Systems* 38: 99-120.

LACHICA, M., RECALDE, L. y ESTEBAN, E. 1965. Análisis foliar. Métodos analíticos 20. utilizados en la Estación Experimental Zaidín. *Anales de Edafología y Agrobiología* 24(9-10): 589-610.

LE ROUX, X., BARIAC, T. and MARIOTTI, A. 1995. Spatial partitioning of the soil 21. water resource between grass and shrubs components in a West African humid

savanna. *Oecologia* 104: 147-155.

Lehmann, J., Droppelmann, k. and Zech, W. 1998. 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. 22.

LEHMANN J., SCHROTH G. and ZECH W. 1995. Decomposition and nutrient release from leaves, twigs and roots of three alley-cropped tree legumes in central Togo. *Agroforestry Systems* 29: 21-36. 23.

LEHMANN, J., PETER, I., STEGLICH, C., GEBAUER, G., HUWE, B. and ZECH, W. 1998. Below-ground interactions in dryland agroforestry. *Forest Ecology and Management* 111: 157-169. 24.

LEHMANN, J., WEIGL, D., DROPPELMANN, K., HUWE, B. and ZECH, W. 1999. Nutrient cycling in agroforestry system with runoff irrigation in Northern Kenya. *Agroforestry Systems* 43: 49-70. 25.

MAFONGOYA, P. L., GILLER, K. E. and PALM, C. A. 1998. Decomposition and nitrogen release patterns of tree prunings and litter. *Agroforestry Systems* 38: 77-97. 26.

McINTYRE, B.D., RIHA, S.J. and ONG, C.K. 1997. Competition for water in a hedge-intercrop systems. *Field Crop Research* 52: 151-160. 27.

NOBLE, A. and RANDALL, P. 1998. How trees affect soils. A report for the rural industries research and development corporation. RIRDC Publication N° 98/16. 129 p. 28.

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. 29.

OLIVARES, A., JOHNSTON, M. y CONTRERAS, X. 1998. Régimen pluviométrico del secano interior de la Región Metropolitana. *Avances en Producción Animal* 23(1-2): 35-43. 30.

OLIVARES, A., SERRA, M.T. y VENEGAS, F. 2000. Relación entre la altura de *Acacia caven* (Mol.) Mol. y su área de influencia en la pradera anual con exposición norte y sur. *Avances en Producción Animal* 25(1-2): 77-84. 31.

PAGE, A., MILLER, R. and KEENEY, D. 1982. *Methods of soil analysis*. ASA-SSSA. Madison, WI, USA. 1.159 p. 32.

PERCIVAL, N.S. and HAWKES, M.F. 1985. Agroforestry development and research in New Zealand. *New Zealand Agricultural Science* 19: 86-92. 33.

PORTA, J., LÓPEZ-ACEVEDO, M. y ROQUERO DE LABURU, C. 1999. *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. 2a Edición. Mundi-Prensa, Madrid, España. 849 p. 34.

PETER, I. and LEHMANN, J. 2000. Pruning effects on root distribution and nutrient dynamics in an *Acacia* hedgerow planting in northern Kenya. *Agroforestry Systems* 50: 59-75. 35.

- SALAZAR, O. 2003. Propiedades químicas de un suelo con manejo agroforestal y cosecha de aguas en el secano interior de la zona central de Chile. Memoria Ing. Agr. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. 88 p. 36.
- SÁNCHEZ, P.A. 1995. Science in agroforestry. *Agroforestry Systems*30: 5-55. 37.
- SCHULTEN, H.R. and SCHNITZER, M. 1998. The chemistry of soil organic nitrogen (review). *Biology and Fertility of Soils* 26: 1-15. 38.
- SCHROTH, G., LEHMANN, J., RODRIGUES, M.R.L., BARROS, E. and MACÊDO, J.L.V. 2001. Plant-soil interactions in multistrata agroforestry in the humid tropics. *Agroforestry Systems*53: 85-102. 39.
- SZOTT, L.T., FERNANDES, E.C.M. and SANCHEZ, P.A. 1991. Soil-plant interaction in agroforestry systems. *Forest Ecology and Management* 45: 127-152. 40.
- 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. 41.
- YOUNG, A. 1989. *Agroforestry for Soil Conservation*. CAB International, Wallingford, UK. 276 p. 42.