

PROPIEDADES QUÍMICAS DE UN SUELO BAJO AGROFORESTERÍA Y COSECHA DE AGUA EN EL SECANO INTERIOR DE CHILE CENTRAL

Soil Chemical Properties under Agroforestry and Water Harvesting in the Inner Dryland Region of Central Chile

Oswaldo Salazar^{1†}, Manuel Casanova¹, Carlos Benavides¹, Walter Luzio¹ y Wilfredo Vera¹

RESUMEN

La asociación agroforestería-cosecha de agua para el secano interior de la zona central de Chile constituye una estrategia interesante en el uso del recurso agua, usualmente inaccesible para sistemas de cultivo convencionales. Para estas condiciones, se ha publicado poco en materia de la asociación cosecha de agua y agroforestería en laderas. El objetivo de este estudio fue establecer algunos vínculos entre el comportamiento de un sistema agroforestal, asociado a un sistema de cosecha de agua, y algunas propiedades químicas del suelo [materia orgánica (MO), contenido total de N_T - P_T - K_T , CIC y pH] a diferentes profundidades (0-10, 10-20, 20-30 y 0-40 cm). Esta investigación se llevó a cabo en el año 2000, dentro de la Región Metropolitana de Chile, con cinco combinaciones de sistemas agroforestales (avena/*Acacia saligna*, inicialmente; pradera natural/*Acacia saligna*, hoy en día), con y sin cosecha de agua, a cuatro años de su establecimiento. Asociado a los mayores aportes de agua e infiltración en el tratamiento agroforestería-labranza-escurrimiento (ALE), el contenido de MO de suelo 20-30 cm (22.1 g kg^{-1}) y de N total 30-40 cm (0.8 g kg^{-1}) fueron superiores que aquéllos del testigo (T), 17.3 g kg^{-1} y 0.5 g kg^{-1} , respectivamente. Los tratamientos con labranza (AL y ALE) presentaron los valores más bajos de potasio total (K_T 30-40 cm: 4.1 g kg^{-1} y K_T 20-30 cm: 3.8 g kg^{-1} , respectivamente), lo cual se atribuye a una mayor extracción por el cultivo y al patrón de distribución espacial, en el ensayo de este macroelemento. Finalmente, se advierte que sólo pocas de las propiedades medidas presentan diferencias significativas ($P < 0.05$).

¹ Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Ingeniería y Suelos. Casilla 1004, Santiago de Chile.

[†] Autor responsable (osalazar@uchile.cl)

Palabras clave: *Acacia saligna*, pradera mediterránea anual, labranza.

SUMMARY

For the inner semiarid dryland region of central Chile, agroforestry associated with water harvesting can be an interesting strategy in the use of water, which is usually unavailable for conventional cropping systems. For these conditions, little has been published on water harvesting and agroforestry on slopes. The objective of this study was to establish links between this association and some soil chemical properties [soil organic matter (SOM), N_T - P_T - K_T contents, CEC, and pH] at different soil depths (0-10, 10-20, 20-30, and 30-40 cm). This study was conducted in 2000, in the Chilean Metropolitan region, and five combinations of the agroforestry systems were considered (oats/*Acacia saligna* initially and natural prairie/*Acacia saligna* at present), with and without water harvesting four years after establishment. Associated with greater amounts of water and infiltration rates in agroforestry-tillage-runoff (ALE), SOM 20-30 cm (22.1 g kg^{-1}) and NT 30-40 cm (0.8 g kg^{-1}) were higher than the control (T), 17.3 g kg^{-1} and 0.5 g kg^{-1} , respectively. The lowest K_T values (K_T 30-40 cm: 4.1 g kg^{-1} and K_T 20-30 cm: 3.8 g kg^{-1} , respectively) were observed in the treatments with initial tillage (AL and ALE), according to both crop uptake and its spatial variability pattern. Finally, only a few measured properties showed significant differences ($P < 0.05$), probably due to the short time involved.

Index words: *Acacia saligna*, annual Mediterranean prairie.

INTRODUCCIÓN

En zonas áridas y semiáridas, el agua es un recurso natural de gran valor agrícola, pero escaso. La producción vegetal, en los secanos de estas zonas, depende fundamentalmente del aporte de la precipitación.

En el secano interior de la zona central de Chile, el régimen de precipitación es de distribución irregular, con pocas pero intensas lluvias que incrementan la tasa de erosión hídrica del suelo. Para contrarrestar la degradación de suelos en estos ecosistemas frágiles, surge como alternativa la implementación de sistemas agroforestales.

No obstante, en dichas zonas y entre componentes vegetales de los sistemas agroforestales, se advierte más competitividad que complementariedad por el uso de escasa agua (Kho, 2000). En consecuencia, los mayores rendimientos esperados en estos sistemas y su permanencia en el tiempo no ocurren, pues sus ventajas sólo se expresan cuando el agua en el suelo se mantiene en un contenido alto, durante la temporada de crecimiento (McIntyre *et al.*, 1997).

Lövenstein *et al.* (1991), Droppelmann *et al.* (2000) y Li *et al.* (2000) coincidieron en que la agroforestería, asociada a un sistema de cosecha de agua, puede ser una solución viable como riego complementario en áreas de secano, ayudando tanto a incrementar como a sostener la producción de alimentos en estas zonas.

Estudios como los de Van Noordwijk *et al.* (1998) informan numerosas interacciones árboles-suelo-cultivos en los sistemas agroforestales. Sin embargo, se requieren más investigaciones con tecnologías de costo reducido, para mejorar la productividad de los sistemas agroforestales en zonas semiáridas.

El objetivo del presente estudio fue establecer las posibles relaciones entre un sistema agroforestal asociado a cosecha de agua y su relación con algunas propiedades químicas del suelo, en el secano interior de la zona central de Chile.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en una microcuenca del secano de la zona central de Chile, 20 km al oeste de Santiago (33° 28' S, 70° 50' O, 470 m de altitud), entre 1996 y 2000. El sitio experimental se estableció dentro de la Estación Experimental Agronómica Germán Greve Silva, perteneciente a la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile. En una extensión de 1 ha se estableció, inicialmente, como especie arbórea el aramo azul [*Acacia saligna* (Labill.) H. Wendl], además de avena (*Avena sativa* L.). Asimismo, se consideró a la pradera mediterránea anual que crecía en forma natural en el sitio en estudio. Las especies vegetales se ubicaron espacialmente en una superficie receptora (área de

cultivo) de flujos superficiales, los cuales provenían de un área de captación de escurrimientos generados por la precipitación. El cultivo de avena sólo se estableció en el primer año del estudio entre las hileras de árboles y para ello se realizó una labor de aradura y otra de rastraje (tratamientos con labranza) en no más de 20 cm de espesor.

El clima de la zona, según Köppen, se define como Csb1 (templado cálido, con una estación seca prolongada de seis a ocho meses). El suelo franco arenoso, localizado en un plano ligeramente inclinado, presentaba un gradiente de pendiente inferior a 10%; descansa sobre un substrato de características aluvio coluviales, cuya matriz franco arcillo arenosa no supera los 100 cm. Se trata de un Mollisol de origen coluvial con influencia aluvial, perteneciente a la Serie de suelos Cuesta Barriga y clasificado como Typic Haploxeroll (CIREN, 1996).

En el ensayo se utilizó un diseño de bloques completos al azar, con cinco tratamientos y tres repeticiones cada uno, para un total de 15 parcelas (Cuadro 1). Los tratamientos fueron: Testigo (T), Agroforestería-Labranza (AL), Agroforestería-Labranza-Escurrimiento (ALE), Agroforestería (A) y Agroforestería-Escurrimiento (AE). El área de captación de escurrimientos fue de 110 m² (11 m x 10 m) y el área cultivada de 55 m² (11 m x 5 m) en los tratamientos ALE y AE (Figura 1). Dicha área de captación y las dimensiones del testigo (11 x 10 m) se definieron tomando en consideración la precipitación

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos.

Tratamiento	Área de captación	Especies vegetales	Tamaño de parcela
	m ²		m
T Testigo	110	Pradera mediterránea anual	11 x 10
AL Agroforestería - Labranza	0	<i>Acacia saligna</i> y <i>Avena sativa</i>	11 x 15
ALE Agroforestería - Labranza - Escurrimiento	110	<i>Acacia saligna</i> y <i>Avena sativa</i>	11 x 15
A Agroforestería	0	<i>Acacia saligna</i> y pradera mediterránea anual	11 x 15
AE Agroforestería - Escurrimiento	110	<i>Acacia saligna</i> y pradera mediterránea anual	11 x 15

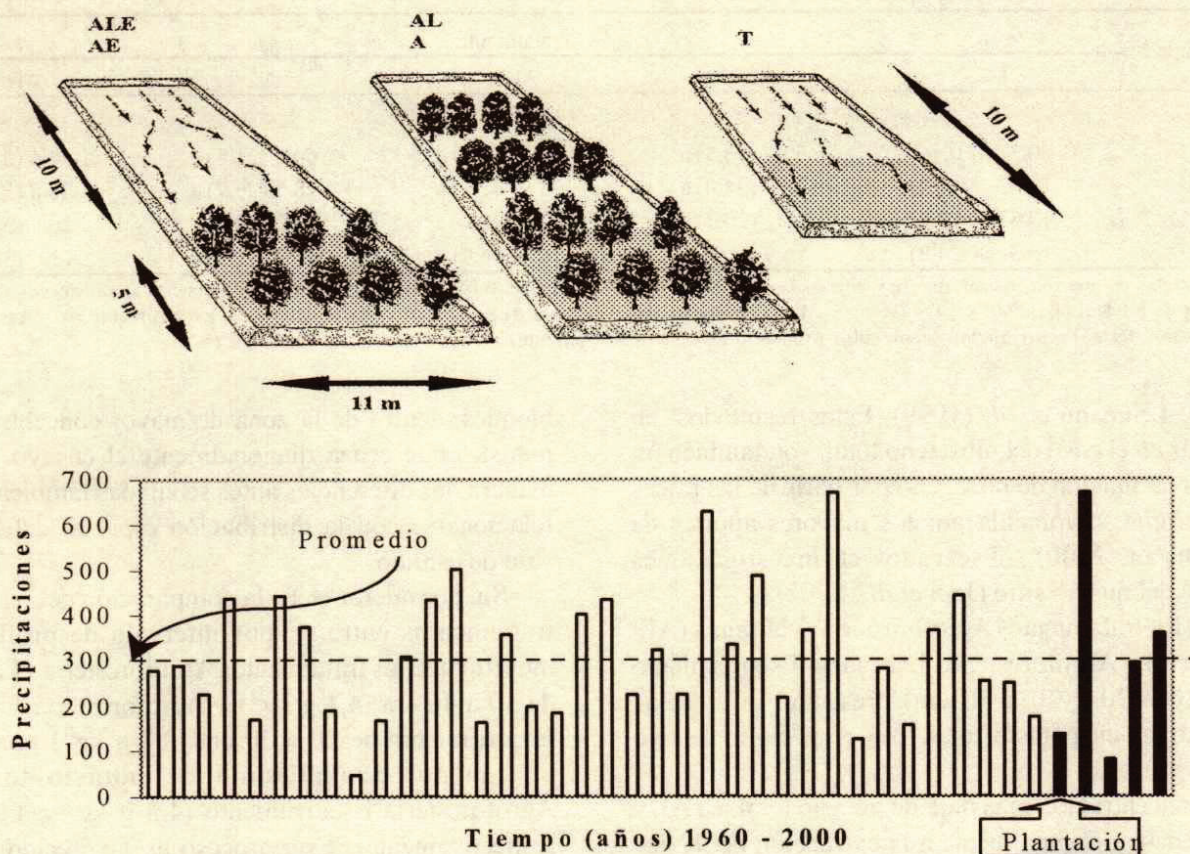


Figura 1. Tratamientos considerados y régimen de precipitación del sitio. ALE = Agroforestería-Labranza-Escorrentamiento, AE = Agroforestería-Escorrentamiento, AL = Agroforestería-Labranza, A = Agroforestería, T = Testigo.

histórica registrada en la zona y estudios anteriores realizados en el sector (Joel *et al.*, 2002).

El muestreo de suelos se realizó, en todos los tratamientos, en el tercio inferior de cada parcela, a profundidades de 0 a 10 cm, 10 a 20 cm, 20 a 30 cm y 30 a 40 cm. Así, en diciembre del año 2000, para cada profundidad en cada parcela se obtuvo una muestra compuesta, constituida por 15 muestras. Mediante métodos rutinarios, se determinaron el contenido de materia orgánica, el contenido total de nitrógeno, fósforo y potasio, la capacidad de intercambio catiónico y la reacción del suelo (Page *et al.*, 1982).

A fin de detectar posibles diferencias entre la situación natural (Testigo, T) y cada tratamiento, se hicieron comparaciones individuales, dadas las diferencias de tamaño de estas unidades experimentales, utilizando como medida estadística la prueba t de Student ($P < 0.05$). Los tratamientos se compararon entre sí, utilizando un análisis de varianza (ANDEVA, $P < 0.05$), y excluyendo al testigo, a manera de determinar

los efectos de las distintas prácticas culturales en las propiedades del suelo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Considerando sólo aquellas propiedades que presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$), puede señalarse que al comparar los resultados de los tratamientos con el testigo (T), el tratamiento Agroforestería-Labranza-Escorrentamiento (ALE) presentó una mayor acumulación de materia orgánica (22.1 g kg^{-1}) en el intervalo de profundidad de 20 a 30 cm (Cuadro 2) y de nitrógeno total (0.8 g kg^{-1}) en el intervalo de 30 a 40 cm (Cuadro 3), valores superiores a aquellos del testigo (17.3 g kg^{-1} y 0.5 g kg^{-1} , respectivamente). Ambas acumulaciones se atribuyen a que las prácticas de cosecha de agua y labranza mejorarían las condiciones (mayor aporte de agua y gases) para que la biomasa edáfica actúe sobre las raíces muertas de *A. saligna*, situación argumentada por autores como Peugeot *et al.*

Cuadro 2. Contenido de materia orgánica del suelo en los tratamientos por profundidad.

Profundidad cm	Tratamiento				
	T	AL	ALE	A	AE
	----- g kg ⁻¹ -----				
0-10 [†]	60.3 (-16)	55.2 (18.5) a [†]	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 (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 (36.8) a

[†] Letras distintas en una fila indican que hay diferencias significativas ANDEVA ($P < 0.05$). * en una fila, indica diferencias significativas con T, según la prueba t de Student ($P < 0.05$). [†] T = Testigo, AL = Agroforestería-Labranza, ALE = Agroforestería-Labranza-Escurrecimiento, A = Agroforestería, AE = Agroforestería-Escurrecimiento; contenidos promedio (g kg⁻¹); entre paréntesis el coeficiente de variación (%).

(1997) y Lehmann *et al.* (1999). Estos resultados, en particular en el caso del nitrógeno total, son también un reflejo de la fijación de nitrógeno por parte de las raíces de *A. saligna*, favorecida por los mayores aportes de agua (Bryan, 2000), observados en investigaciones paralelas del mismo sitio (Joel *et al.*, 2002).

Sólo los tratamientos Agroforestería-Labranza (AL: 30 a 40 cm) y Agroforestería-Labranza-Escurrecimiento (ALE: 10 a 20 y 20 a 30 cm) presentan diferencias significativas en potasio total, con respecto al testigo (Cuadro 4).

La concentración más baja de potasio total, en AL y ALE, se debe principalmente a la extracción del K por la avena, establecida inicialmente, y la exportación desde el sistema, tanto en el grano como en la caña (Lehmann *et al.*, 1999).

Sin embargo, la concentración de potasio total de ambos tratamientos, respecto al testigo, no se explica por una extracción mayor de este macronutriente por la avena y la *A. saligna*. En estas condiciones, el intervalo de diferencia en el contenido de potasio total (K_T) supera los requerimientos de estas especies vegetales para todo el período del estudio.

Así, al elaborar un mapa de isoclinas de K_T (Figura 2), se advierte que el testigo se localiza, en los tres

bloques, dentro de la zona de mayor concentración de potasio, que cruza diagonalmente el ensayo. De esta manera, las diferencias antes señaladas también podrían relacionarse con la distribución espacial del K_T en el sitio de estudio.

Sin considerar el T, la comparación del resto de los tratamientos entre sí, por intervalo de profundidad, muestra que los tratamientos Agroforestería-Labranza, de 30 a 40 cm (4.1 g kg⁻¹) y Agroforestería-Labranza-Escurrecimiento de 20 a 30 cm (3.8 g kg⁻¹) presentaron una menor acumulación de potasio total que Agroforestería-Escurrecimiento (4.8 g kg⁻¹ y 4.9 g kg⁻¹, respectivamente). Este proceso es favorecido por una mayor densidad de raíces del cultivo, con respecto a la de *A. saligna* (Schroth y Zech, 1995), la cual se manifiesta en la ventaja de absorber nutrientes menos móviles del suelo (Shelton, 1994).

Si bien este ensayo permite visualizar ciertas tendencias, en función de los tratamientos considerados, éstos presentaron pocas diferencias estadísticamente significativas en muchas de las variables, lo que podría atribuirse a un tiempo transcurrido insuficiente, desde el establecimiento del sistema, para mostrar cambios respecto al estado inicial del suelo. Resultados similares han informado Kaya y Nair (2001), y Neupane y Thapa

Cuadro 3. Contenido de nitrógeno total del suelo en los tratamientos por profundidad.

Profundidad cm	Tratamiento				
	T	AL	ALE	A	AE
	----- g kg ⁻¹ -----				
0-10 [†]	2.3 (-22.9)	2.2 (9.2) a [†]	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)	0.7 (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

[†] Letras distintas en una fila indican que hay diferencias significativas ANDEVA ($P < 0.05$). * en una fila, indica diferencias significativas con T, según la prueba t de Student ($P < 0.05$). [†] T = Testigo, AL = Agroforestería-Labranza, ALE = Agroforestería-Labranza-Escurrecimiento, A = Agroforestería, AE = Agroforestería-Escurrecimiento; contenidos promedio (g kg⁻¹); entre paréntesis el coeficiente de variación (%).

Cuadro 4. Contenido de potasio total (K_T) de los tratamientos por profundidad.

Profundidad cm	Tratamiento					
	T		AL	ALE	A	AE
	----- g kg ⁻¹ -----					
0-10	5.4	-13.1	4.7 (9.3) a [†]	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

[†] Letras distintas en una fila indican que hay diferencias significativas ANDEVA ($P < 0.05$). * en una fila indica diferencias significativas con T, según la prueba t de Student ($P < 0.05$). † T = Testigo, AL = Agroforestería-Labranza, ALE = Agroforestería-Labranza-Escurrecimiento, A = Agroforestería, AE = Agroforestería-Escurrecimiento; contenidos promedio (g kg⁻¹); entre paréntesis el coeficiente de variación (%).

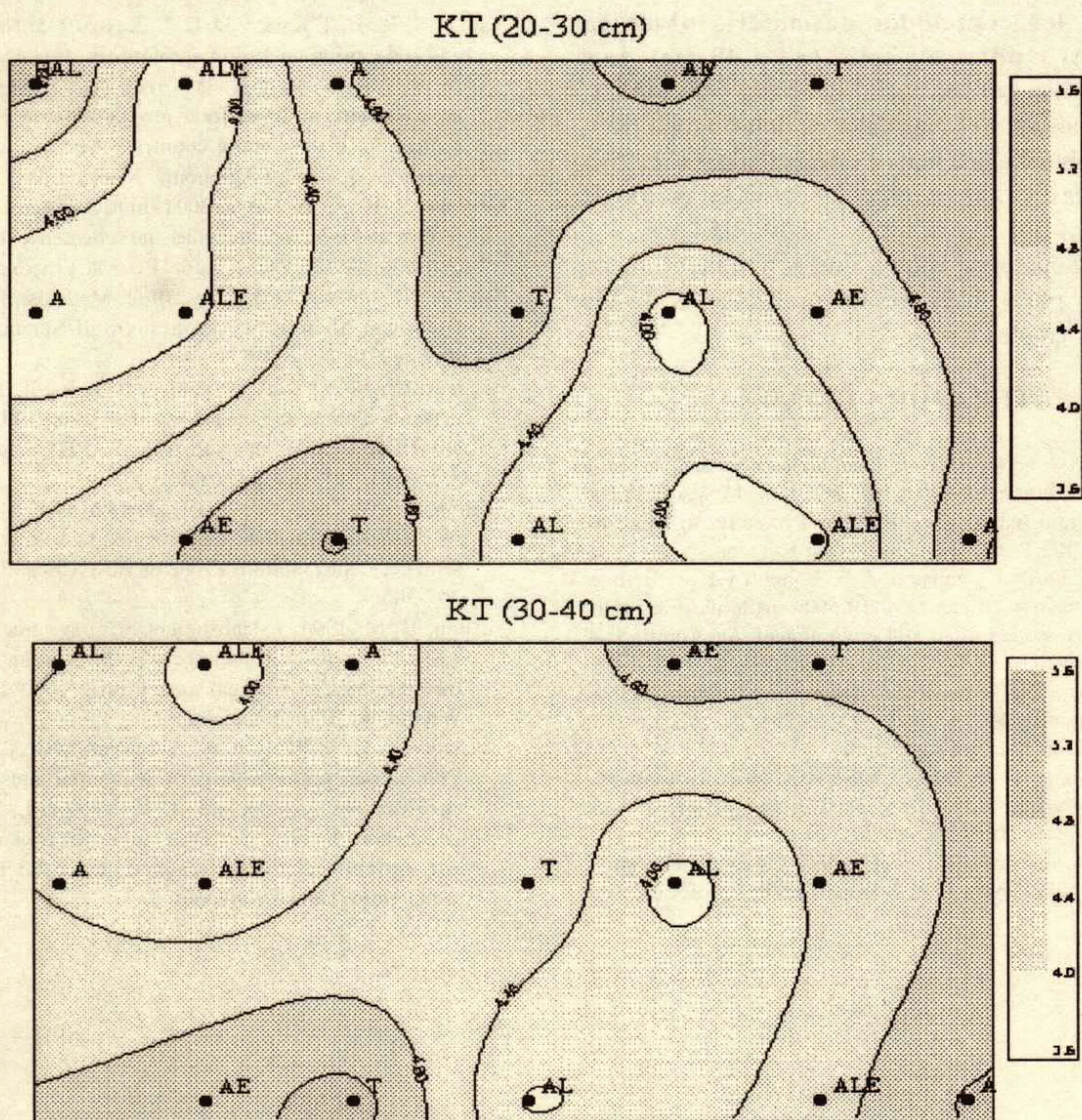


Figura 2. Mapas de isocóncas del contenido (g kg⁻¹) de potasio total del suelo (K_T) en los intervalos de profundidad de 20 a 30 cm y de 30 a 40 cm. ALE = Agroforestería-Labranza-Escurrecimiento, AE = Agroforestería-Escurrecimiento, AL = Agroforestería-Labranza, A = Agroforestería, T = Testigo.

(2001), después de cuatro y dos años, respectivamente. Además, Nair *et al.* (1995) señalaron que en estos sistemas los efectos positivos en el suelo sólo se evidencian en plazos de tiempo largos. 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.

CONCLUSIONES

- Los mayores aportes de agua y de la infiltración en Agroforestería-Labranza-Escurrimiento (ALE) se reflejan en una acumulación subsuperficial, respecto al testigo, en los contenidos de materia orgánica (20 a 30 cm) y nitrógeno total (30 a 40 cm). Los tratamientos con cultivo inicial de avena (AL y ALE) presentaron los valores más bajos de potasio total (K_T), lo que se atribuyó a una mayor extracción por el cultivo y al patrón de distribución espacial del K_T en el sitio de estudio.

- Por consiguiente, se estima que se requiere mucho más tiempo para observar mayores efectos de los tratamientos empleados.

LITERATURA CITADA

- Bryan, J. A. 2000. Nitrogen-fixing leguminous trees and shrubs: a basic resource of agroforestry. pp. 41-60. *In*: M.S. Ashton and F. Montagnini (eds.). The silvicultural basis for agroforestry systems. CRC Press. London, United Kingdom.
- Droppelmann, K. J., J. Lehmann, J. E. Ephrath y P. R. Berliner 2000. Water use efficiency and uptake patterns in a runoff agroforestry system in an arid environment. *Agroforest. Syst.* 49: 223-243.
- CIREN (Centro de Información de Recursos Naturales). 1996. Estudio Agrológico Región Metropolitana: descripciones de suelos y símbolos. Santiago, Chile.
- Joel, A., I. Messing, O. Seguel y M. Casanova. 2002. Measurement of surface water runoff from plots of two different sizes. *Hydrol. Process.* 16: 1.467-1.478.
- Kaya, B. y P. K. R. Nair. 2001. Soil fertility and crop yields under improved-fallow systems in Southern Mali. *Agroforest. Syst.* 52:1-11.
- Kho, R. M. 2000. A general tree-environment-crop interaction equation for predictive understanding of agroforestry systems. *Agric. Ecosyst. Environ.* 80: 87-100.
- Lehmann, J., D. Weigl, K. Droppelmann, B. Huwe y W. Zech. 1999. Nutrient cycling in agroforestry system with runoff irrigation in Northern Kenya. *Agroforest. Syst.* 43: 49-70.
- Li, F. R., S. Cook, G. T. Geballe y W. R. Burch. 2000. Rainwater harvesting agriculture: an integrated system for water management on rainfed land in China's semiarid areas. *Ambio* 29: 477-483.
- Lövenstein, H. M., P. R. Berliner y H. van Keulen, 1991. Runoff agroforestry. *Arid Lands For. Ecol. Manage.* 45 59-70.
- McIntyre, B. D., S. J. Riha y C. K. Ong. 1997. Competition for water in a hedge-intercrop system. *Field Crops Res.* 52:151-160.
- Nair, P. K. R., B. T. Kang y D. C. L. Kass, 1995. Nutrient cycling and soil-erosion control in agroforestry systems. pp. 117-138. *In*: Juo, A. S. R. y R. D. Freed (eds.). Agriculture and environment: bridging food production and environmental protection in developing countries. Special Publication 60. American Society of Agronomy. Madison, WI, USA.
- Neupane, R. P. y G. B. Thapa, 2001. Impact of agroforestry on soil fertility and farm income under the subsistence farming system of the middle hills, Nepal. *Agric. Ecosyst. Environ.* 84: 157-167.
- Page, A., R. Miller y D. Keeney, 1982. Methods of soil analysis. American Society of Agronomy-Soil Science Society of America. Madison, WI, USA.
- Peugeot, C., M. Esteves, S. Galle y J. L. Rajot. 1997. Runoff generation processes: results and analysis of field data collected at the East Central Supersite of the HAPEX-Sahel experiment. *J. Hydrol.* 188-189: 179-202.
- Schroth, G. y W. 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 Soil:* 170: 297-306.
- Shelton, H. M. 1994. Establishment of forage tree legumes. pp. 132-142. *In*: R. C. Gutteridge y H. M. Shelton (eds.). Forage tree legumes in tropical agriculture. CAB International. Wallingford, United Kingdom.
- Van Noordwijk, M., K. Hairiah, B. Lusiana y G. Cadisch. 1998. Tree-soil-crop interactions in sequential and simultaneous agroforestry systems. pp. 173-191. *In*: L. Bergström y H. Kirchmann (eds.). Carbon and nutrient dynamics in natural and agricultural tropical ecosystems. CAB International. Wallingford, United Kingdom.