

NIVELES DE GLOMALINA EN SUELOS DE DOS ECOSISTEMAS DEL SUR DE CHILE

Alfredo Morales L.¹, Claudia Castillo R.¹, Rosa Rubio H.¹, Roberto Godoy B.², Juan Luis Rouanet M.³ y Fernando Borie B.¹

¹Universidad de La Frontera, Casilla 54-D, Temuco, Chile.

Correspondencia: almoral@ufro.cl

²Universidad Austral de Chile, Casilla 567, Valdivia.

³Estación Experimental Carillanca, INIA, Casilla 58-D, Temuco.

Glomalin levels in soils from two ecosystems of Southern Chile

Key words: glomalin, ecosystems, tillage, crop rotation, rainforest.

ABSTRACT

Arbuscular mycorrhizal fungi are involved in soil carbon (C) storage throughout the production of a glycoprotein named glomalin which is recalcitrant and greatly influence soil aggregation stability. The aim of this study was to determine glomalin contents at different depths (0-10, 10-20 and 20-40 cm) in soils from two ecosystems subjected to different managements: a) an agroecosystem located in IXth Region of Chile (Ultisol) with oats-wheat and lupin-wheat as contrasting short rotation sequence under two tillage systems (conventional and no-tillage), and b) a evergreen forest ecosystem in Xth Region, (Andisol) with 5 sub-systems (forest with and without management, forest second growth with and without management and a prairie inside forest). Large differences in soil glomalin contents in both ecosystems were found. Thus, in the agroecosystem, the glomalin content ranged from 6.37 to 10.04 mg g⁻¹ (7.2-8.5% of total soil C), whereas in the forest ecosystem it was higher ranging from 41 to 114 mg g⁻¹ (18.5-26.1% of total soil C). Glomalin-C decreased in the soil depth, being an important fraction of total C and always was higher in forest ecosystems. These data reinforce the crucial role played by native forests in C sequestration, mainly when the C increment (50 %) with respect to the agroecosystem, coinciding with the increment of glomalin-C. Our results indicate a careful management of forest ecosystem in order to preserve the maximum mycorrhizal potential inoculum.

Palabras claves: Glomalina, ecosistemas, labranza, rotación de cultivo, bosque lluvioso, glomalina

RESUMEN

Los hongos micorrízicos arbusculares participan en el almacenamiento de carbono del suelo (C) al producir una glicoproteína denominada glomalina la cual es recalcitrante y tiene una fuerte influencia en la estabilidad de los agregados de suelo. El objetivo de este estudio fue determinar el contenido de glomalina a diferentes profundidades (0- 10, 10- 20 y 20-40 cm) en suelos de dos ecosistemas sometidos a distintos manejos: a) un agroecosistema localizado en la IX Región de Chile (Ultisol) con una secuencia de rotación corta avena-trigo y lupino-trigo sometidos a dos sistemas de labranza (convencional y cero labranza), y b) un ecosistema boscoso siempreverde en la X Región (Andisol) con 5 subsistemas

(bosque con y sin manejo, renoval con y sin manejo y una pradera dentro del bosque). Entre los dos ecosistemas se encontraron grandes diferencias en los contenidos de glomalina del suelo. Así, el contenido de glomalina en el agroecosistema varió entre 6,37 y 10,04 mg g⁻¹ (7,2-8,5% del C total del suelo) mientras que en el bosque fue más alta, variando de 41 a 114 mg g⁻¹ (18,5-26,1% del C total). El C-glomalínico disminuyó en profundidad siendo una fracción importante del C total y siempre mayor en el bosque. Estos resultados refuerzan la contribución que tendrían los sistemas boscosos en el secuestro de C, principalmente cuando el C incrementó (50%) con respecto al agroecosistema, lo que coincide con el incremento de C-glomalínico. Nuestros resultados sugieren un cuidadoso manejo del bosque a fin de preservar el potencial de inóculo micorrícico.

INTRODUCCIÓN

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) son microorganismos simbioses y ubicuos pertenecientes al *phylum* Glomeromycota (Schüssler et al., 2001) que forman asociaciones mutualísticas con raíces de la mayoría de las plantas superiores, incluyendo muchos cultivos de grano de interés comercial. La literatura ha enfatizado ampliamente el rol que cumplen en la captación de nutrientes (Jeffries et al., 2003), protección frente a patógenos radicales (Newsham et al., 1995), tolerancia a la fitotoxicidad por Al (Borie y Rubio, 1999), Mn (Mendoza y Borie, 1998) y déficit hídrico (Ruiz-Lozano y Azcón, 1995) siendo estos hongos responsables en las comunidades vegetales de la diversidad de especies de plantas (van der Heijden et al., 1998). Si bien la contribución de los HMA a la nutrición mineral de la planta hospedera y su protección frente a estreses, tanto bióticos como abióticos, está fuera de toda duda, en la actualidad parecieran tener un rol protagónico en el almacenamiento de C y en la agregación del suelo al producir las hifas del hongo una glicoproteína denominada glomalina, con fuerte capacidad cementante y alta estabilidad en el suelo (Wright y Upadhyaya, 1998; Rillig et al., 2002). El comportamiento recalcitrante de la glomalina junto a su naturaleza glicoproteica y su aparente característica hidrófoba que protege las hifas de las pérdidas de nutrientes y agua, sugieren que es una biomolécula muy estable (Wright y Upadhyaya, 1998) con una vida media

entre 6-42 años (Rillig et al., 2001) y lenta velocidad de degradación la cual depende del suelo de origen (Rillig et al., 2002; 2003). La repelencia al agua y su capacidad de humectación tienen fuerte incidencia en la erosión de los suelos por lo que estas proteínas fúngicas, semejantes a las hidrofobinas producidas por hongos filamentosos, podrían estar jugando un papel fundamental en la estabilidad estructural de los suelos (Rillig, 2005).

La extracción y solubilización de la glomalina desde el suelo resulta laboriosa requiriéndose extractantes con fuerte capacidad quelante y temperatura de 121° C durante 1 hora como mínimo, lo que la hace diferente de otras proteínas del suelo (Wright y Upadhyaya, 1996). La glomalina se ha encontrado con relativa abundancia (2-15 mg g⁻¹) en un amplio rango de suelos sean éstos ácidos o calcáreos y bajo diversos cultivos, tales como praderas, cereales, especies forestales, etc. (Wright y Upadhyaya, 1998; 1999; Rillig et al., 2001; 2003; Lovelock et al., 2004; Borie et al., 2000; Borie et al., 2006) pareciendo ser tan ubicua como los HMA que la originan. Cultivos *in vitro* con esporas de HMA han demostrado que la glomalina forma parte de las paredes de las hifas y esporas, sugiriendo que la llegada y permanencia en el suelo se debería principalmente a la liberación producida por la descomposición de hifas o esporas y, en mucho menor grado, a la exudación de esta proteína a su entorno inmediato (Driver et al., 2005). La glomalina, al ser insoluble en álcali, solvente habitualmente utiliza-

do en el sistema clásico de extracción y fraccionamiento de la materia orgánica del suelo (MOS), se estaría perdiendo junto a las huminas (Nichols, 2003), efecto que se ha observado en suelos volcánicos al analizar el contenido de N asociado a las huminas (Borie et al., 2002).

El objetivo del presente trabajo consistió en cuantificar el contenido de glomalina producida por los HMA a través del perfil de suelo en un agroecosistema de la IX Región y en un ecosistema boscoso de la X Región, ambos sometidos a diferentes manejos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio del estudio y muestreo de suelo *Agroecosistema de la IX Región*

El sitio seleccionado para este estudio fue un agroecosistema (ensayo iniciado en el año 2001) en un Ultisol del sector Pumalal (serie Metrenco, típico Palehumult con material parental derivado de cenizas volcánicas), cercano a Temuco (38°40'15''S, 72°31'00''O), con una temperatura media anual de 14,5 °C y precipitaciones medias anuales de 1.200-1.500 mm. El sistema agrícola se muestreó en abril 2003, en barbecho después de trigo. El ensayo consiste en una rotación corta de dos años con cereal continuo avena (*Avena sativa* L. cv. «Nehuen-INIA») - trigo (*Triticum aestivum* L. cv. «Kumpa-INIA»), ambos cultivos hospederos de hongos MA y otra rotación corta con cereal discontinuo lupino (*Lupinus albus* L.) - trigo (*Triticum aestivum* L. cv. «Kumpa-INIA»), siendo lupino planta no hospedera de HMA. Los cultivos fueron sometidos a dos sistemas de manejo: a) un sistema de labranza convencional (LC) con quema de rastrojos al final del período de barbecho en verano y remoción con arado a una profundidad de 20 cm y, b) manejo conservacionista, con cero labranza (CL) donde no hubo laboreo y la siembra de los cultivos se realizó sobre un barbecho con manejo de 3 Mg ha⁻¹ de residuos sobre el suelo. Los suelos fueron muestreados desde parcelas de 30 m² (10m x 3m) usando un barreno de 4 cm de diámetro,

colocándose en bolsas etiquetadas. Cada una de las 4 repeticiones por tratamiento estaba compuesta de 8 muestras de suelo extraídas a dos profundidades 0 - 10 cm y 10 - 20 cm. Las muestras fueron tamizadas y a una fracción de suelo se le determinó el contenido de humedad en estufa con circulación de aire a 104 °C durante un día.

Ecosistema forestal de la X Región

El sistema boscoso seleccionado fue San Pablo de Tregua el que está situado en la localidad de Panguipulli (39°30'-39°38'S, 72°02'-72°09'O), con una superficie aproximada de 2.184 ha. La temperatura media anual es de 11°C, con precipitaciones anuales de 4.000-5.000 mm y con un excelente estado de conservación de sus bosques.

El suelo es un Andisol perteneciente a la serie Liquiñe, con buenas condiciones de infiltración, drenaje y alta capacidad de retención de agua. En enero del 2004, se escogieron 5 subsistemas boscosos en cada uno de los cuales se seleccionaron 3 subparcelas de 100 m² y dentro de ellas se extrajeron 5 submuestras. Las muestras de suelos se sacaron con barreno a 3 profundidades: 0-10 cm, 10-20 cm y 20-40 cm. Los subsistemas fueron: 1) Bosque siempreverde (BS): donde un 83% del bosque está dominado por bosque adulto del tipo *Nothofagus dombeyi*-*Nothofagus alpina*-*Laureliopsis philippiana*, con bajo grado de perturbación; 2) Bosque con manejo (BM); 3) Renoval sin manejo (RS); 4) Renoval con manejo (RM), correspondiente a un sector pequeño del bosque (aproximadamente 10%) que fue intensamente disturbado y en la actualidad, presenta renovales del tipo *N. obliqua*-*N. alpina*-*N. dombeyi* y 5) Pradera natural (Pr), localizada dentro del área boscosa y cubierta por una gran diversidad de plantas herbáceas susceptibles de formar simbiosis con HMA.

Análisis de glomalina

La glomalina se la ha definido como un compuesto, de naturaleza glico-proteica, extraído desde el suelo por autoclavado con buffer ácido cítrico y detectado por el ensayo Bradford (Rillig et al., 2003); como el extracto no se encuentra totalmente purificado, no se puede desconocer que junto con la glomalina se puedan encontrar otros compuestos de naturaleza proteica (Rillig et al., 2001).

Extracción de la glomalina total (GT) desde el suelo

Se pesa 1 g de suelo en tubo de centrífuga (resistente al calor) y se añaden 8 mL de citrato de sodio 50 mM pH 8,0 como extractante y luego se extrae en autoclave a 121 °C por 60 minutos. Se enfría el tubo y se centrifuga a 5.000 x g durante 20 minutos. Si el extracto presenta un color característico pardo-rojizo, se decanta el sobrenadante a un matraz volumétrico (que se mantiene a 4 °C) y se continúa en el suelo extrayendo la glomalina por ciclos de 60 minutos de autoclavado y agregando cada vez 8 mL del extractante hasta desaparición de la coloración típica (en este estudio en Pumalal se realizaron 6 extracciones y para el bosque entre 3 a 4 extracciones, dependiendo de la profundidad del suelo). Se juntan todos los extractos y se llevan a un volumen exacto con citrato de sodio (Wright et al., 1996).

Determinación de glomalina por el método Bradford

Una pequeña fracción de extracto se centrifuga en tubos Eppendorf a 10.000 x g y en una alícuota del sobrenadante se determina espectrofotométricamente a 595 nm la glomalina por el método Bradford (Bio-Rad Protein Assay Catalog 500-0006) para proteínas, en una solución buffer PBS (fosfato salino) pH 7,4. Simultáneamente, se

realiza una curva de calibración con albúmina de bovino, que comprende concentraciones en el rango de 2,5 µg hasta 35 µg (Wright et al., 1996). Las concentraciones de glomalina se expresaron en mg g⁻¹ de suelo para cada muestra.

Extracción de la glomalina fácilmente extraíble (GFE)

Se pesa 1 g de suelo en tubo de centrífuga (resistente al calor) y se añaden 8 mL de citrato de sodio 20 mM pH 7,0 y se realiza una sola extracción autoclavando a 121°C por 30 minutos. Posteriormente, se cuantifica la glomalina mediante el método Bradford. La GFE representa el pool de más reciente deposición e incluso se la ha mencionado como proveniente de una descomposición parcial de la glomalina más estable presentando buenas correlaciones con la estabilidad al agua de los agregados (Wright y Upadhyaya, 1998).

Análisis químico

Se determinó Carbono del suelo usando el analizador elemental (VARIO/EL). El C-glomalínico (C-G) se calculó a través de los perfiles del suelo de acuerdo a antecedentes de la literatura que estiman que el C-G fluctúa entre un 27,9 +/- 3,3 (n=8) y 43,1 +/- 1,4 (n=8) % de la masa de la glomalina dependiendo del procedimiento de extracción y origen del suelo (Rillig et al., 2003). Para este estudio se utilizó el valor de 40% ya que está dentro del rango sugerido por Rillig et al. (2003) y Borie et al. (2006).

Análisis Estadístico

Para cada parámetro medido, se ensayó homogeneidad de varianzas y posteriormente, se realizó un análisis ANOVA de una vía con tres repeticiones utilizando el programa JMP 5.01 (SAS). Para comparar las medias se utilizó el test de Tukey ($P \leq 0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este estudio se encontraron grandes diferencias en las concentraciones de glomalina entre el ecosistema boscoso y el agroecosistema. Los valores más altos se encontraron en el primero; así, en el Andisol, los niveles de glomalina en el horizonte 0-10 cm fluctuaron entre 65 mg g⁻¹ en la pradera natural dentro del bosque hasta 98 mg g⁻¹ y 114 mg g⁻¹ para bosque manejado y bosque siempre-verde, respectivamente (Cuadro 1).

Por el contrario, en el Ultisol en el mismo horizonte, la concentración varió entre 8.74 mg g⁻¹ y 10,04 mg g⁻¹, para el sistema bajo cero labranza y convencional, respectivamente (Cuadro 2). En los dos ecosistemas, la concentración de glomalina disminuyó en profundidad, excepto en el bosque con Pr y RS, en el cual a la profundidad 10-20 cm aumentó la concentración de

Table 1. Effect of tillage on depth glomalin concentration in a forest ecosystem of Xth Region.

Cuadro 1. Efecto del manejo sobre la concentración en profundidad de glomalina en un ecosistema boscoso de la X Región.

Profundidad (cm)	Tratamiento	GT (mg g ⁻¹)	Cs (%)	C-G (mg g ⁻¹)	C-G/Cs (%)
0 – 10	Pr	65 c	13,5 c	26,0 c	19,3
	BS	98 ab	20,2 a	39,0 a	19,3
	BM	114 a	17,4 a	45,5 a	26,1
	RS	88 b	17,2 a	37,3 b	21,7
	RM	99 ab	21,5 a	39,7 a	18,5
10 – 20	Pr	72 b	13,2 b	28,9 b	21,9
	BS	70 b	14,1 b	28,0 b	19,9
	BM	98 a	16,0 ab	39,2 a	24,5
	RS	93 a	16,2 ab	37,2 b	23,0
	RM	58 b	12,8 c	23,4 b	18,3
20 – 40	Pr	71 b	13,1 b	28,6 b	21,8
	BS	51 c	10,7 c	20,5 c	19,2
	BM	57 bc	13,8 b	22,9 b	16,6
	RS	91 a	14,8 b	36,4 a	24,6
	RM	41 c	10,2 c	16,6 c	16,3

Pr: pradera; BS: bosque siempreverde; BM: bosque manejado; RS: renoval sin manejo; RM: renoval manejado. GT: glomalina total; C-G: carbono asociado a glomalina; Cs: carbono suelo. Medias en cada horizonte seguidas por distinta letra presentan diferencias significativas, test de Tukey (P≥0,05)

glomalina con respecto al primer horizonte, para luego disminuir levemente entre 20-40 cm. Este descenso en la concentración de glomalina a través del perfil del suelo concuerda con lo informado por Rillig et al. (2003) para suelos agrícolas y forestales de Ohio (EEUU), y lo informado por Borie et al. (2000), en un Alfisol de la VIII Región sometido a cuatro, doce y veinte años bajo cero labranza. Ambos autores han puesto en evidencia que la glomalina no sólo está presente en el horizonte superficial, sino que también en profundidad, donde muestra una clara disminución, la cual correlaciona con la disminución de la MOS. Esta tendencia de disminución en los niveles de glomalina en el perfil del suelo Pumalal, es consistente con la disminución en los propágulos HMA como lo han reportado recientemente Castillo et al. (2006a) en el mismo suelo y sistemas de labranza.

En el ecosistema boscoso, en el horizonte superficial, Pr presentó un contenido significativamente menor de glomalina, mientras BM tuvo el mayor nivel, con un incremento de un 75% sobre Pr. Al descender en el perfil, Pr mantuvo prácticamente constan-

te los niveles, mientras que en el sistema con BM, a la profundidad de 20- 40 cm, los contenidos disminuyeron notoriamente. Por el contrario, RS fue aumentando levemente en profundidad a diferencia de los otros sistemas boscosos.

En el ecosistema boscoso, en el primer horizonte Pr presentó el menor contenido de C, mientras que en el suelo bajo RM se observó el mayor contenido de C. En el segundo y tercer horizonte, RM mostró el más bajo contenido de C y RS el más alto.

Tanto en el sistema boscoso como en Pr, los niveles de C-glomalínico, en general, representan una cantidad muy significativa del C total de los suelos; así, C-G entre 0-10 cm fluctuó entre 2,6 y 4,6 g de C 100 g⁻¹ suelo, lo que significa entre un 18,5 - 26,1% del C total presente en los suelos. Esta alta proporción de C bajo esta forma insoluble que es la glomalina sugiere la adopción de un cambio radical en las metodologías de fraccionamiento del C orgánico aplicadas a suelos con tan altos contenidos en MOS como son los Andisoles. Los elevados contenidos de óxidos de Fe y Al que poseen estos suelos probablemente son los cau-

Table 2. Effect of tillage and crop rotation on depth glomalin concentration in an agroecosystem of IXth Region. **Cuadro 2.** Efecto de la labranza y rotación de cultivo sobre la concentración en profundidad de glomalina en un agroecosistema de la IX Región.

Profundidad (cm)	Tratamientos	GT (mg g ⁻¹)	GFE (mg g ⁻¹)	Cs (%)	C-G (mg g ⁻¹)	C-G/Cs (%)
0 - 10	CL A-T	8,74 a	3,96 a	4,85 ab	3,49 a	7,2 a
	CL L-T	9,24 a	3,88 a	4,74 b	3,70 a	7,5 a
	LC A-T	9,53 a	3,43 a	4,97 a	3,81 a	7,8 a
	LC L-T	10,04 a	3,69 a	4,77 b	4,02 a	8,5 a
10 - 20	CL A-T	6,77 ab	3,37 a	3,94 ab	2,71 ab	6,9 a
	CL L-T	6,61 b	3,35 a	3,74 b	2,65 b	7,1 a
	LC A-T	6,37 b	3,55 a	4,26 a	2,55 b	6,0 a
	LC L-T	8,13 a	3,50 a	4,12 ab	3,25 a	7,7 a

CL: cero labranza; LC: labranza convencional; T: trigo; A: avena; L: lupino. GT: glomalina total; GFE: glomalina fácilmente extractable; C-G: carbono asociado a glomalina; Cs: carbono suelo. Medias en cada horizonte seguidas por distinta letra presentan diferencias significativas, test de Tukey ($P \geq 0,05$).

santes de la alta estabilidad o recalcitrancia que tiene esta glicoproteína y de allí que los niveles encontrados sean tan elevados. Lo anterior sugiere que el C y el N asociado a glomalina pudieran ser cualitativamente y cuantitativamente más importantes que el C y el N asociados a los ácidos húmicos y fúlvicos, elementos que se perderían junto a las huminas al aplicar un fraccionamiento tradicional, como se aprecia en los elevados contenidos en humina en el trabajo de Borie et al. (2002) en Andisoles del Sur de Chile. El alto nivel de correlación encontrado entre C del suelo y el C asociado a la glomalina ($r: 0.85, n=45$) sugiere también un elevado nivel de recalcitrancia de la glicoproteína.

El hecho de que en el ecosistema boscoso los niveles de glomalina hayan sido mayores al encontrado en la pradera asociada es consistente con el número de esporas y biodiversidad de los HMA hongos reportado recientemente en el mismo ecosistema (Castillo et al., 2006b). La importancia ecológica de la relación existente entre propágulos de HMA en este ecosistema forestal como en el agroecosistema (Castillo et al., 2006a) es un aspecto que merece una mayor profundización y estudio.

La concentración de GT y GFE (mg g^{-1}) en el agroecosistema como consecuencia del manejo y rotación de cultivo se muestra en el Cuadro 2. En el horizonte superficial los niveles no fueron alterados por el manejo o rotación después de su tercer año de aplicación, pero en profundidad, el mayor contenido de GT lo presentó la rotación con lupino-trigo en LC. Estos resultados son contrarios a lo que podría esperarse ya que lupino es una leguminosa no micorrizable por HMA pero que ha demostrado no ser tan detrimental en el número de propágulos dejados en el suelo cuando se lo utiliza en un sistema de rotación (Borie et al., datos sin publicar). Si bien los niveles de GT, en general, decrecieron en profundidad, los contenidos de GFE no fueron muy afectados.

La glomalina se descompone escasamente con las incubaciones en el Laborato-

rio; así, en un suelo de pradera las concentraciones disminuyeron en alrededor de un 25% después de 5 meses (Steinberg y Rillig, 2003). Aún se desconoce cuál es el factor que estabiliza la glomalina en el suelo, que puede ser distinto a los factores que estabilizan el C, aunque se ha mencionado el Fe como un elemento fuertemente estabilizador de la glomalina (Wright y Upadhyaya, 1998).

En general, con respecto al C orgánico del suelo, al tercer año de iniciado el ensayo en el agroecosistema Pumalal, no se observaron diferencias significativas en el horizonte superficial producidas por la labranza pero sí con el pre-cultivo, presentando la rotación avena-trigo significativamente mayor contenido que la rotación lupino-trigo. Entre 10-20 cm, se observó el menor contenido de C en la rotación lupino-trigo con CL, mientras que con LC, el C aumentó. A las dos profundidades estudiadas, la relación entre el C-glomalínico respecto al C total fue alta (6,0-8,5) en comparación con la encontrada por Rillig et al. (2003) para suelos de otras latitudes (4,48-6,93).

En Pumalal, para todos los tratamientos se calculó el contenido de glomalina (GT expresada en Mg ha^{-1}) sumando los dos horizontes (Cuadro 3). En CLA-T se encontró la menor cantidad de GT, en comparación con LC A-T, mostrando que el manejo del suelo y la rotación con un cereal continuo afectaron los niveles de glomalina en el suelo. Por el contrario, la rotación con cereal discontinuo no mostró diferencias en la GT, ya sea por la labranza o la rotación. La contribución del C-G al pool del C orgánico del suelo se estimó entre 4,54 - 7,69% del C total, rangos levemente superiores a los informados para suelos agrícolas por Rillig et al. (2003).

Table 3. Soil C pool, TG, glomalin-C, and glomalin as a proportion of the C pool calculated for agroecosystem of IXth Region.

Cuadro 3. Pool de C en el suelo, C-glomalínico (C-G) y proporción de glomalina en el pool de C calculado por hectárea en un agroecosistema de la IX Región.

Tratamiento	Tamaño Pool		C-G		Proporción C-G/Cs	
	Cs	GTs	C	C	C	C
	(Mg ha ⁻¹)	(Mg ha ⁻¹)	(Mg ha ⁻¹) Bajo ¹	(Mg ha ⁻¹) Alto ²	(%) Bajo ¹	(%) Alto ²
CL A-T	69,20	11,27	3,14	4,86	4,54	7,02
CL L-T	68,82	12,27	3,42	5,29	4,97	7,69
LC A-T	78,81	13,24	3,69	5,71	4,68	7,25
LC L-T	75,21	12,82	3,58	5,53	4,76	7,35

GT: glomalina total; T: trigo; A: avena; L: lupino; CL: cero labranza; LC: labranza convencional.

¹ bajo: 27 % (Rillig et al. 2003).

² alto: 43,1 % (Rillig et al. 2003).

CONCLUSIONES

Actualmente, existen escasos antecedentes a nivel mundial sobre los contenidos de glomalina a través del perfil de suelo, habiéndose realizado la mayoría de los estudios en el horizonte superficial. De aquí que, resulte necesario realizar este tipo de trabajos, debido a que el cambio global requiere un conocimiento de los pools del C en los horizontes en profundidad del suelo. Si bien en el agroecosistema Pumalal (Ultisol) se encontró una cantidad importante de C-glomalínico con respecto al contenido total de C (6,0% - 8,5%), en el ecosistema San Pablo de Tregua (Andisol), el C-glomalínico representó entre un 16,6% a un 26,1% del C total, lo que resulta de sumo interés por la contribución que tendrían estos sistemas forestales en la secuestación del CO₂ atmosférico. Estos niveles tan altos de C encontrado en Andisoles asociado a la glomalina permiten sugerir un cambio metodológico en el fraccionamiento de la MOS cuando éste se apli-

ca a este tipo de suelos. Finalmente, dado que la glomalina es producto de la actividad de los HMA se sugiere un manejo adecuado que permita preservar el potencial micorrícico de los sistemas boscosos.

La estabilidad de la glomalina en estos suelos con elevados niveles de Al como lo son los suelos alofánicos es un aspecto del cual se carece de antecedentes pero que en estos hábitats pudiera ser de capital importancia en relación al ciclado del COS. Este es un tema que merece especial atención tanto desde el punto de vista metodológico como ecológico que amerita ser abordado.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue financiado parcialmente por el proyecto Fondecyt 1020306.

BIBLIOGRAFÍA

- BORIE, F., RUBIO, R. 1999. Effects of arbuscular-mycorrhizae and liming on growth and mineral acquisition of Aluminum-tolerant and Aluminum-sensitive barley cultivars. *J. Plant Nutr.* 22: 121-137.
- BORIE, F., RUBIO, R., ROUANET, J.L., MORALES, A., CASTILLO, C. 2000. Relación entre longitud de hifas de hongos micorrizógenos arbusculares y producción de glomalina con las características físicas y químicas de suelos bajo Cero Labranza. *Rev. Chil. Hist. Nat.* 73: 749-756.
- BORIE, F., RUBIO, R., ROUANET, J.L., MORALES, A., BORIE, G., ROJAS, C. 2006. Effect of tillage systems on soil characteristics, glomalin and mycorrhizal propagules in a Chilean Ultisol. *Soil Till. Res.* (en prensa).
- BORIE, G., PEIRANO, P., ZUNINO, H., AGUILERA, S.M. 2002. N-pool in volcanic ash-derived soils in Chile and its changes in deforested soils. *Soil Biol. Biochem.* 34: 1201-1206.
- CASTILLO, C.G., RUBIO, R., ROUANET, J.L., BORIE, F. 2006a. Arbuscular mycorrhizal fungal propagules as affected by tillage and crop rotation in an Ultisol of southern Chile. *Biol. Fert. Soils* (en prensa).
- CASTILLO, C.G., BORIE, F., GODOY, R., RUBIO, R., SIEVERDING, E. 2006b. Diversity of mycorrhizal plant species and arbuscular mycorrhizal fungi in evergreen forest, deciduous forest and grassland ecosystems of Southern Chile. *J. Appl. Bot. Food Quality.* 80 (en prensa)
- DRIVER, J.D., HOLBEN, W.E., RILLIG, M.C. 2005. Characterization of glomalin as a hyphal wall component of arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Biol. Biochem.* 37: 101-106.
- JEFFRIES, P., GIANINAZZI, S., PEROTTO, S., TURNAU, K., BAREA, J.M. 2003. The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility. *Biol. Fert. Soils* 37:1-16.
- LOVELOCK, C., WRIGHT, S.F., CLARK, D.A., RUESS, R.W. 2004. Soil stocks of glomalin produced by arbuscular mycorrhizal fungi across a tropical rain forest landscape. *J. Ecol.* 92: 278-287.
- MENDOZA, J., BORIE, F. 1998. Effect of *Glomus etunicatum* inoculation on aluminum, phosphorus, calcium, and magnesium uptake of two barley genotypes with different aluminum tolerance. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 29: 5-6.
- NEWSHAM, K.K., FITTER, A.H., WATTERSON, A.R. 1995. Arbuscular mycorrhiza protect an annual grass from root pathogenic fungi in the field. *J. Ecol.* 3: 991-1000.
- NICHOLS, K. 2003. Characterization of glomalin, a glycoprotein produced by arbuscular mycorrhizal fungi. Ph D Thesis, 285 p.
- RILLIG, M., WRIGHT, S.F., NICHOLS, K.A., SCHMITH, W.F., TORN, M.S. 2001. Large contributions of arbuscular mycorrhizal fungi to soil carbon pools in tropical forest soils. *Plant Soil* 233: 167-177.
- RILLIG, M.C., WRIGHT, S.F., EVINER, V.T. 2002. The role of arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin in soil aggregation: comparing effects of five plant species. *Plant Soil* 238: 325-333.
- RILLIG, M., RAMSEY, P.W., MORRIS, S., PAUL, E.A. 2003. Glomalin, an arbuscular-mycorrhizal fungal soil protein, responds to soil-use change. *Plant Soil* 253: 293-299.
- RILLIG, M. 2005. A connection between fungal hydrophobins and soil water repellency? *Pedobiologia* 49: 395-399.
- RUIZ-LOZANO, J.M., AZCÓN, R. 1995. Hyphal contribution to water uptake in mycorrhizal plants as affected by the fungal species and water status. *Physiol. Plant.* 95: 472-478.
- SCHÜSSLER, D., SCHWARZOTT, A., WALKER, C. 2001. A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. *Mycol. Res.* 105: 1413-1421.
- STEINBERG, P.D., RILLIG, M.C. 2003. Differential decomposition of arbuscular mycorrhizal fungal hyphae and glomalin. *Soil Biol. Biochem.* 35: 191-194.
- VANDERHEIJDEN, M.G.A., KLIRONOMOS, J.N., URSIC, M., MOUTOGLIS, P., STREITWOLF-ENGEL, R., BOLLER, T., WIEMKEN, A., SANDERS, I.R. 1998. Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability, and productivity. *Nature* 396: 69-72.
- WRIGHT, S.F., UPADHYAYA, A. 1996. Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein of arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Sci.* 161: 575-586.
- WRIGHT, S.F., UPADHYAYA, A. 1998. A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant Soil* 198: 97-107.
- WRIGHT, S.F., UPADHYAYA, A. 1999. Quantification of arbuscular mycorrhizal fungi activity by the glomalin concentration on hyphal traps. *Mycorrhiza* 8: 283-285.