

DISMINUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CO₂ ATMOSFÉRICO A TRAVÉS DE UNA GLICOPROTEÍNA DEL SUELO (GLOMALINA)

Sarti Gabriela y Effron Diana

Cátedra de Química General e Inorgánica. Facultad de Agronomía, UBA, Av. San Martín 4453 C1417DSE Buenos Aires

karibu@agro.uba.ar

RESÚMEN

El calentamiento global debido al aumento de las emisiones de gases que producen efecto invernadero es uno de los problemas más importantes a ser abordados en nuestros días. El dióxido de carbono es el principal gas que contribuye al efecto invernadero y cuya concentración está aumentando bruscamente. Para combatir esta severa problemática, han sido propuestas numerosas tecnologías destinadas a su captura y almacenamiento. En este sentido, los ecosistemas forestales son considerados grandes sumideros terrestres de gases de efecto invernadero (GEI) pues absorben CO₂ atmosférico, almacenándolo en la biomasa y fijándolo al suelo.

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) producen una glicoproteína (glomalina) que acumula carbono directamente a través del carbono contenido en la propia molécula. Además actúa como material cementante, interviniendo directamente en la formación de los agregados del suelo. La glomalina se encuentra en las hifas de los HMA y es liberada al suelo mediante el proceso de descomposición de las mismas. El objetivo de este estudio fue cuantificar y comparar el contenido de glomalina total y fácilmente extraíble en tres áreas de estudio: bosque implantado de 20 años de edad con la especie Pino radiata (*Pinus radiata* D. Don), bosque implantado de 50 años de edad con la misma especie y un área de bosque nativo cuya especie predominante es Ciprés de la Cordillera (*Astrocedrus chilensis*). Los niveles de glomalina se relacionaron con el contenido de materia orgánica y con la actividad microbiana del suelo. Los resultados mostraron los mayores niveles de glomalina total y fácilmente extraíble en el suelo debajo de Pino radiata de más de 50 años de implantación 16,8 y 4,13 mg.g⁻¹, respectivamente. Para la plantación de Pino de 20 años los valores fueron 10,7 y 2,80 mg.g⁻¹ y para el bosque nativo 9,0 y 1,67 mg.g⁻¹. Se hallaron los mayores valores de materia orgánica y actividad microbiana para el bosque nativo y el bosque de Pino de más de 50 años. No se

hallaron diferencias significativas en la actividad microbiológica medida en el suelo de bosque nativo respecto del suelo con la plantación de 50 años.

Conclusiones: la especie Pino radiata sería importante como especie secuestrante de carbono, observándose altos contenidos de glomalina aún en plantaciones de 20 años de edad, donde los valores obtenidos para la glomalina ya superan al bosque nativo. Los valores más altos de materia orgánica encontrados en el bosque implantado de 50 años correlacionaron positivamente con los contenidos de glomalina, debido a que esta glicoproteína participaría en el recubrimiento de los residuos orgánicos impidiendo su rápida degradación. Por lo tanto este trabajo da indicios para seguir realizando investigaciones que corroboren que plantaciones con Pino radiata serían una alternativa para mitigar emisiones de CO₂ a la atmósfera.

Palabras Clave: Glomalina, Pino radiata; Ciprés de la cordillera; emisiones de CO₂

ABSTRACT

Global warming, otherwise known as climate change, is a major subject that needs to be addressed. This is due to the increasing concentration of greenhouse gas emissions, primarily carbon dioxide (CO₂).

Numerous technologies have been proposed for their capture and storage. In this sense, forest ecosystems are considered large terrestrial sinks of greenhouse gases (GHG) due to absorbing atmospheric CO₂ and storing it in the biomass and fixing it to the soil.

Arbuscular mycorrhizal fungi (HMA) produce a glycoprotein (glomalin) that accumulates carbon directly in the molecule itself. It also acts as a cementing material, intervening directly in the formation of soil aggregates. The glomalina is found in the hyphae of the HMA and is released to the soil by decomposition of those hyphae.

The aim of this study was to quantify and compare the total glomalin and easily extractable glomalin content in three study areas; 20-year-old pine forest with *Pinus radiata* (*Pinus radiata* D. Don), 50-year-old implanted forest with the same species, and one area of native forest whose predominant specie is the Cypress (*Austrocedrus chilensis*).

The levels of glomalin were related to the content of organic matter and to the microbiological activity of the soil. The results showed the highest levels of total glomalin and easily extractable glomalin in the soil under *Pinus radiata* of more than 50 years of implantation 16,8 and 4,13 mg.g⁻¹, respectively. For the 20-year-old pine plantation the values were 10.7 and 2.80 mg.g⁻¹ and for the native forest 9.0 and 1.67 mg.g⁻¹. For the native forest and the Pine- radiate, the

highest values of organic matter and microbiological activity were more than 50 years. No significant differences were found in the microbiological activity measured in native forest soil compared to the soil with *Pinus radiata* 50 year of plantation.

In conclusion, the *Pinus radiata* is as important as carbon sequestering, evident in the high glomalin content in the soil observed even in plantations of 20 years, where the values obtained for glomalina already exceeded the values obtained in the native forest of *Austrocedrus chilensis*. The highest values of organic matter found in the *Pinus radiata* implanted of 50 years correlated positively with the content of glomalina. This is because the glycoprotein would participate in the coating of the organic residues, preventing its rapid degradation. Therefore, this work suggests to continue conducting research that corroborate that plantations with *Pinus radiata* would be an alternative to mitigate emissions of CO₂ to the atmosphere.

Key words: Glomalin, *Pinus radiata*, Cypress, CO₂ emissions

INTRODUCCIÓN

El cambio climático es consecuencia principalmente del aumento de la concentración de CO₂ atmosférico producto de las actividades antropogénicas y es uno de los temas más importantes a ser abordado en nuestros días. En las últimas 3 décadas la concentración de este gas ha aumentado en un 80% debido a la quema de combustibles fósiles y los cambios en el uso de la tierra (reemplazo de ecosistemas naturales como bosques o pastizales por sistemas agrícolas) (IPCC, 2007). Su aumento contribuye al calentamiento global del planeta, cuyas principales consecuencias son el aumento promedio de la temperatura, la contracción de nieves y hielos y el incremento de la frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos como inundaciones, sequías, olas de calor y de frío. Por lo tanto resulta de suma relevancia generar información para combatir esta severa problemática a través de la implementación de mecanismos de captura y almacenamiento de CO₂. Los ecosistemas forestales son considerados grandes sumideros terrestres de gases de efecto invernadero (GEI) pues absorben CO₂ atmosférico, almacenándolo en la biomasa y fijándolo al suelo.

En la Tierra, el carbono está distribuido en 4 grandes reservorios: atmósfera, océanos, tierra (vegetación y suelo) y rocas (Chapin y otros, 2002). En los ecosistemas terrestres es el suelo el sumidero de carbono más importante ya que puede almacenar mayor cantidad que la vegetación (Schlesinger y otros, 1977).

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) son microorganismos simbiotes que forman asociaciones mutualísticas con raíces de la mayoría de las plantas superiores aumentando la tasa fotosintética. Los HMA contribuyen a la nutrición mineral de la planta hospedera, protegen frente a estreses tanto bióticos como abióticos, valorándose en la actualidad su rol en el almacenamiento de C del suelo (Seguel y otros, 2008).

Además, los HMA producen glomalina, una glicoproteína insoluble de elevado peso molecular la cual secuestra y acumula carbono atmosférico.

La estructura química de la glomalina contiene un alto porcentaje de carbono, llegando a representar hasta 52% del carbono total en suelos orgánicos, el cual es incorporado al suelo mediante la descomposición de los propágulos fúngicos.

El comportamiento recalcitrante de la misma y su característica hidrófoba, que protege a las hifas de las pérdidas de nutrientes y agua, sugieren que es una biomolécula muy estable con lenta velocidad de degradación y una vida media entre 6 y 42 años, dependiendo del ecosistema suelo, condiciones ambientales y manejos. Borie (2000) y Arriagada (2004), sugieren que las hifas de hongos ectomicorrízicos estabilizan los agregados en diversos suelos forestales. Según Rillig (2003) la glomalina puede usarse como indicador de los efectos del cambio de uso del suelo.

Estas proteínas fúngicas pueden extraerse desde el suelo o desde las hifas de hongos, obteniéndose distintas fracciones según el procedimiento de extracción. Entre ellas la fracción glomalina fácilmente extraíble (GFE) que es considerada un material recientemente depositado en el suelo y de naturaleza muy lábil y otra fracción la glomalina total (GT) que corresponde a la proteína fuertemente unida a las partículas del suelo (Lovelock y otros, 2004).

Actualmente, crece el interés por correlacionar los niveles de glomalina en el suelo con otros parámetros físico-químicos y biológicos (Treseder y Turner, 2007, Seguel y otros, 2008) existiendo aún pocos estudios al respecto.

El objetivo de este estudio fue cuantificar y comparar el contenido de glomalina total y fácilmente extraíble en un suelo andisol de Chubut, Argentina, bajo la influencia de la especie forestal Pino radiata (*Pinus radiata* D. Don.) que corresponde a un bosque implantado de 20 años de edad, otro bosque implantado de 50 años de edad con la misma especie forestal y un área de bosque nativo cuya especie predominante es Ciprés de la Cordillera (*Austrocedrus chilensis*) y además vincular los contenidos de glomalina con el contenido de carbono orgánico y con la actividad microbiológica del suelo medida a través del carbono de respiración.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio

Se encuentra en la Estación Forestal INTA de Trevelin, Chubut, Argentina, Lat. 43° Sur, Longitud 71° 31' Oeste, altitud 470 m.s.n.m. La superficie de la Estación es de 3020 ha. El suelo corresponde a un Andisol. El material originario está compuesto por cenizas volcánicas mezclado con material coluvial. El clima se caracteriza por tener precipitaciones promedio de 942 mm anuales, produciéndose el 80,6 % de las mismas entre los meses de abril y setiembre. La temperatura máxima media anual es de 15,7 °C y la mínima media anual de 3,4 °C. Se seleccionaron al azar 10 árboles de cada una de las especies con un buen estado sanitario y con portes similares. Se tomaron muestras superficiales (0 -10cm) de suelo de una parcela, de aproximadamente de 2 ha de bosque con la especie dominante Pino radiata (*Pinus radiata* D. Don) de 50 años de implantación (PR50), otra de similar tamaño con la misma especie de 20 años de implantación (PR20) y la tercera de una fracción de bosque nativo con la especie dominante Ciprés de la Cordillera (*Austrocedrus chilensis*).

Las muestras de suelo fueron tomadas previo despeje del material vegetal superficial, y a una misma distancia del tronco de los árboles seleccionados. Debajo de cada uno de los 10 árboles, para cada una de las especies, se tomaron 4 muestras de las cuales se hizo una muestra compuesta por árbol. Dichas muestras se obtuvieron en el mes abril del año 2011 y sobre ellas se efectuaron las determinaciones analíticas. Las muestras húmedas se guardaron en bolsas plásticas que se mantuvieron refrigeradas hasta su análisis en el laboratorio y fueron tamizadas por malla de 4 mm o 2mm según la técnica de la determinación a realizar. Los resultados se expresaron en base a suelo secado al aire hasta peso constante.

Análisis de las muestras de suelo

-*Glomalina total* (GT) pH 8: se determinó mediante extracciones sucesivas con citrato de sodio 50 mM a pH 8,0 con autoclavado por 1 hora hasta desaparición del color pardo rojizo característico de la glomalina con posterior determinación espectrofotométrica de acuerdo al método de Bradford para proteínas (Lovelock y otros, 2004).

-*Glomalina fácilmente extraíble* (GFE) pH7: se extrajo con citrato de sodio 20 mM, pH 7,0 y autoclavado por 30 minutos y posterior determinación espectrofotométrica con igual metodología que la glomalina total (Wright y Upadhyaya, 1996, Morales y otros, 2005)

-*Carbono de respiración*: se determinó midiendo el CO₂ liberado durante la incubación del suelo por 7 días, el que es retenido por una solución de NaOH y posterior valoración del NaOH remanente (Anderson, 1982).

-*Carbono orgánico*: se determinó por el método de Walkley y Black (Nelson y Sommers, 1982).

Análisis estadístico

Los datos para todas las variables fueron analizados estadísticamente mediante un análisis de varianza de una vía correspondiente a un diseño completamente aleatorizado. Las diferencias entre medias de tratamiento fueron determinadas mediante el test de Tukey ($p < 0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se determinaron los niveles de glomalina total y fácilmente extraíble en un andisol de la estación forestal INTA de Trevelín provincia de Chubut, bajo la influencia de las especies forestales en estudio.

Figura 1. Niveles de glomalina fácilmente extraíble en el suelo bajo distintas especies forestales

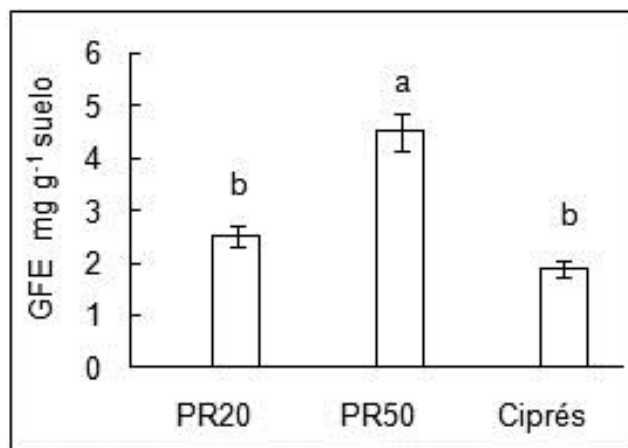


Figura 1. Niveles medios de glomalina fácilmente extraíble (GFE) del suelo bajo las especies Pino radiata (*Pinus radiata* D. Don) de 20 años de implantación (PR20) y de 50 años de implantación (PR50) y Ciprés de la Cordillera (*Austrocedrus Chilensis*). Letras distintas entre especies indican diferencias significativas ($p < 0,05$)

Figura 2. Niveles de glomalina total en el suelo bajo distintas especies forestales

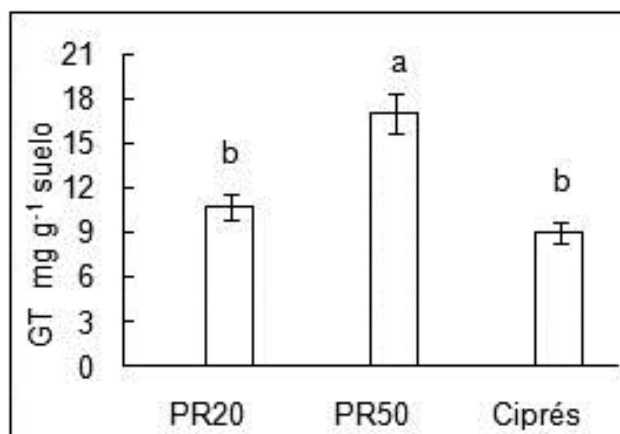


Figura 2. Niveles medios de glomalina total (GT) del suelo bajo las especies Pino radiata (*Pinus radiata* D.Don) de 20 años de implantación (PR20) y de 50 años de implantación (PR50) y Ciprés de la Cordillera (*Austrocedrus Chilensis*). Letras distintas entre especies indican diferencias significativas ($p < 0,05$)

Los valores hallados en los niveles de GFE y GT resultaron significativamente mayores ($p < 0,05$) en el suelo del sitio con 50 años de implantación respecto del suelo de PR20 y resultaron significativamente mayores ($p < 0,05$) en el sitio con 50 años de implantación con la especie PR50 respecto del suelo del bosque nativo (Figuras 1 y 2). La plantación de PR20 mostró valores de GT y GFE que no se diferencian estadísticamente ($p < 0,05$) de los hallados para el bosque nativo. Niveles de glomalina semejantes en suelos reforestados con la especie pino (*Pinus halepensis*) también fueron reportados por Gispert (2013).

Tabla 1. Valores medios de carbono orgánico y carbono de respiración medidos en los suelos bajo las especies Pino radiata (*Pinus radiata* D.Don) de 20 años de implantación (PR20) y de 50 años de implantación (PR50) y Ciprés de la Cordillera (*Austrocedrus Chilensis*). Letras distintas entre especies indican diferencias significativas ($p < 0,05$)

	C orgánico g kg ⁻¹	C respiración mg C-CO ₂ kg ⁻¹ 7días ⁻¹
PR20	15,2 b	12,96 b
PR50	51,0 a	35,26 a
CIPRES	39,2 a	27,20 a

Según se muestra en la Tabla 1 se hallaron los mayores valores ($p < 0,05$) de carbono orgánico y actividad microbiológica medido a través del carbono de respiración para al bosque nativo y el bosque de PR50 respecto del la plantación de PR20. No se hallaron diferencias significativas en los valores de carbono orgánico ni en la actividad microbiológica medida en el suelo de bosque nativo respecto del suelo con la plantación PR50, observándose una tendencia a mayores valores de ambas variables en el suelo debajo de PR50. Rivas (2009) estudió la actividad microbiológica en un bosque nativo de *Nothofagus obliqua* (Mirb) Oerst y en una plantación de *Pinus radiata* en el sur de Chile encontrando mayores valores de dicha actividad en el suelo de bosque nativo, contrariamente a la tendencia observada en este trabajo. Yadav y Tarafdar (2004) señalan que la edad fisiológica de los árboles tiene directa incidencia en la actividad biológica del suelo coincidente con lo hallado en este estudio comparando los resultados obtenidos para las plantaciones de PR20 y PR50.

Comparando los valores hallados en el suelo con la plantación más añosa respecto del bosque nativo se podrían vincular los mayores niveles de glomalina hallados y la mayor tendencia de contenido de carbono orgánico y actividad microbiana para PR50 con el hecho que la glomalina al participar en el mejoramiento de los agregados del suelo podrían generar un mayor contenido de carbono orgánico, siendo estos factores importantes para propiciar un ambiente adecuado para el desarrollo de los microorganismos que generen una mayor actividad a pesar de las múltiples modificaciones producidas en el suelo por el cambio de cobertura desde un bosque nativo a una plantación madura con la especie *Pinus radiata*.

CONCLUSIONES

La especie Pino radiata sería importante como especie secuestrante de carbono, observándose altos contenidos de glomalina aún en plantaciones de 20 años de edad, donde los valores obtenidos para la glomalina ya superan al bosque nativo. Los valores más altos de materia orgánica encontrados en el bosque implantado de 50 años correlacionaron positivamente con los contenidos de glomalina, debido a que esta glicoproteína participaría en el recubrimiento de los residuos orgánicos impidiendo su rápida degradación. Por lo tanto este trabajo da indicios para seguir realizando investigaciones que corroboren que plantaciones con Pino radiata serían una alternativa para mitigar emisiones de CO₂ a la atmósfera.

BIBLIOGRAFÍA

Anderson J.P.E. 1982. Soil respiration. En: Methods of Soil Analysis. Agronomy. ASA y SSSA. Wisconsin, USA. 841-845.

Arriagada, C.,A, Herrera, M., García-Romera, I. and Ocampo,J. 2004. Tolerance to Cd of soybean (*Glycine max*) and eucalyptus (*Eucalyptus globulus*) inoculated with arbuscular mycorrhizal and saprobe fungi. *Symbiosis*, 36, 285-299.

Borie, F, Rubio, R., Morales, A. and Castillo C. 2000. Relación entre la densidad de hifas de hongos micorrizógenos arbusculares y producción de glomalina con las características físicas y químicas del suelo bajo cero labranza. *Revista chilena de Historia natural*, 73, 749-756.

Chapin, F., Matson, P., Mooney, H., and Chapin, M. 2002. Principles of terrestrial ecosystem ecology. New York: *Springer-Verlag*, 436p.

Dick, R., Brakwell, D., and Turco, R. 1996. Soil enzyme activities and biodiversity measurements as integrative microbiological indicators. Pp. 247-271. En; Doran J y Jones A (eds.): *Methods for Assessing Soil Quality*. SSSA Spec. Publ. Número 49.

Dilly, O. and Munch, J. 1996. Microbial biomass content, basal respiration and enzyme activities during the course of decomposition of leaf litter in a black alder (*Alnus glutinosa*(L.) Gaertn) forest. *Soil Biological. Biochemistry*, 28, 1073-1081.

Gispert, M., Emran, M., Pardini, G., Doni, S.and Ceccanti, B. 2013. The impact of land management and abandonment on soil enzymatic activity, glomalin content and aggregate stability. *Geoderma*, 202-203.

IPCC. Cambio Climático. 2007: Informe de síntesis. Grupo Intergubernamental Expertos sobre Cambio Climático. http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf

Lovelock, C., Wright S., Clark, A., and Ruess, W. 2004. Soil stocks of glomalin produced by arbuscular mycorrhizal fungi across a tropical rain forest landscape. *Journal Ecology*, 92: 278-287.

Nelson, D. and Sommers, L. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. *In: Methods of soil analysis.* (R Millar y D Keeny) .Page A., R. Wiscosin. USA.

Morales, A., Castillo, C., Rubio, R., Godoy, R., Rouanet, J. and Borie, M. 2005. Niveles de glomalina en suelos de dos ecosistemas del sur de Chile. *Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal*, 5 (1), 37-45.

Rillig, M., Ramsey, P., Morris, S., and Paul, E. 2003. Glomalin, an arbuscular mycorrhizal fungal soil protein, responds to soil-use change. *Plant and Soil*, 253: 293-299.

Rivas, Y., Oyarzún, C., Godoy, R. and Valenzuela, E. 2009. Mineralización del nitrógeno, carbon y actividad enzimática del suelo en un bosque de *Nothofagus obliqua* (Mirb) Oerst y una plantación de *Pinus radiata*. *Revista chilena de historia natural*, 82, 119-134

Schlesinger, WH. Biogeochemistry : an analysis of global change. San Diego: Academic Press. 1977. 588p

Seguel, A., Rubio, R., Carrillo, R., Espinosa, A. and Borie, F. 2008. Niveles de glomalina y su relación con características químicas y biológicas del suelo (andisol) en un relicto de bosque nativo del sur de Chile. *Bosque (Valdivia)*, 9: 11-22.

Treseder, K. and Turner, K. 2007. Glomalin in ecosystems. *Soil Science Society of America Journal*, 71, 4: 1257-1266.

Wright, S., Upadhyaya, A. 1998. A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycol-protein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant and Soil*. 198, 97-107.

Yadav, B. and Tarafdar, J. 2004. Phytase activity in the rhizosphere of crops, trees and grasses under arid environment. *Journal of Arid Environmental*, 58, 285-293.