

# GLOMALINA Y SECUESTRO DE CARBONO EN TEPETATES CULTIVADOS

A. Báez P.<sup>1</sup>, Ma. del C. González Ch.<sup>1</sup>, y C. Hidalgo M.<sup>1</sup>, C. Prat<sup>2</sup>, J. D. Etchevers<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Edafología, Colegio de Postgraduados, 56230 Montecillo, México; <sup>2</sup>I.R.D.,LTHE, Grenoble, France

**RESUMEN.** Se ha demostrado que los tepetates habilitados para la agricultura tienen potencial para secuestrar carbono (C), pero se desconocen los procesos responsables. El presente trabajo explora posibles mecanismos en que participaría la glomalina (G). Se investigó: (a) la eficiencia de dos extracciones de esta sustancia (pirofosfato de sodio, SP; y citrato de sodio, SC); (b) el efecto de las prácticas de manejo en la acumulación de COS, G y C-glomalina, y (c) el aporte de C-glomalina al COS. Se colectaron 87 muestras (0-20 cm) de tepetate cultivado en la cuenca del río Texcoco, México, correspondiente a diez clases de manejo agronómico. Los sitios de muestreo se seleccionaron después de entrevistar a más de un centenar de productores. Las muestras se analizaron para COS, G y C-glomalina. El SP extrajo 3 y 2 veces más G y C-glomalina que el SC. Ambas variables se correlacionaron estrechamente con el COS y fueron influenciadas por el manejo agronómico. Se estimó que los tepetates podrían almacenar aproximadamente 90 Mg ha<sup>-1</sup> de COS (0-20 cm), con de 30% y 15% de C proveniente de la G según se extraiga con SP o SC.

**Palabras clave:** ácidos húmicos, hongos micorrízico arbusculares, suelos volcánicos endurecidos.

**INTRODUCCIÓN.** En el Eje Neovolcánico hay 37 000 km<sup>2</sup> de tepetates (capas endurecidas por procesos geológicos o pedológicos de piroclastos del terciario y cuaternario), a veces cubiertos por suelo o aflorados debido a procesos erosivos (Etchevers *et al.*, 2006; Peña y Zebrowski 1992; Zebrowski, 1992). Un manejo agronómico adecuado de los tepetates tipo fragipán, los habilita para la producción agrícola y forestal (Báez *et al.*, 1997; Navarro *et al.*, 2003; Werner, 1992), ya que permite que se formen agregados y se mejore su fertilidad (Etchevers *et al.* 1992) e incrementa el COS. La formación y estabilidad de agregados del suelo es favorecida por hongos micorrízicos arbusculares (HMA), debido a sustancias que secretan por sus micelios (González *et al.*, 2004; Wright y Upadhyaya, 1996), entre ellas, la G, una glicoproteína (Wright y Upadhyaya, 1998). La G contiene de 30 a 40% de C y funciona como cementante de la fracción mineral del suelo (Franzluebbers *et al.*, 2000;

Nichols, 2003; Weller, 2002; Wright *et al.*, 1999). El C-glomalina sería recalcitrante (Wright y Upadhyaya, 1998; Rillig *et al.* 2001), insoluble en agua y en soluciones salinas comúnmente usadas en extracciones de compuestos del suelo (Wright y Jawson, 2000). La G dura en los suelos entre 7 y 42 años, según las condiciones, el ecosistema y el manejo agrícola de los suelos (Weller, 2002) y puede usarse como indicador del cambio de uso de éste (Rillig *et al.*, 2003). Este estudio aborda la producción de G y su relación con la captura de C. Sus objetivos fueron: (1) comparar la eficiencia de extracción de G del SP y CS; (2) evaluar la acumulación de COS, G y C-glomalina en tepetates con diferente manejo y tiempo de cultivo; y, (3) medir el aporte de la glomalina al C del suelo.

**MATERIALES Y MÉTODOS.** Se colectaron 87 muestras de tepetates (0 a 20 cm), con historias de manejo y tiempo desde su habilitación conocidas (Cuadro 1), en la Sierra Nevada (lado noroccidental), que se secaron al aire, molieron y tamizaron (2 mm) antes de analizarse para COS (COS=C<sub>total</sub>-C<sub>inorgánico</sub>, TOC Shimadzu, -5050), G y C-glomalina. La G se midió por extracción en olla a presión: (a) con SC 100 mM (Wright y Jawson, 2001) y (b) con SP 100 mM (Nichols y Wright, 2005). El C-glomalina se midió en los extractos, después de una diálisis. El diseño fue completamente al azar con distinto número de repeticiones. Los datos se sometieron a un análisis de varianza y comparación de medias (P≤0.05) (SAS, 1998).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Extracción con SP y SC.** El SP extrajo 3 veces más glomalina (6 vs 2 mg g<sup>-1</sup>) y C-glomalina (1.4% vs 0.7%C) de los tepetates que el SC por ser un extractante más potente que CS (Wright *et al.*, 2006), aunque menores a los reportados por Rillig *et al.* (2001) y Borie *et al.* (2000 y 2006). de 3.4% y 5% C, debido a que el tepetate es sustrato pobre en materia orgánica. El coeficiente de correlación entre estas variables medidas tanto con SP y SC fue r=0.86 y 0.92, respectivamente.

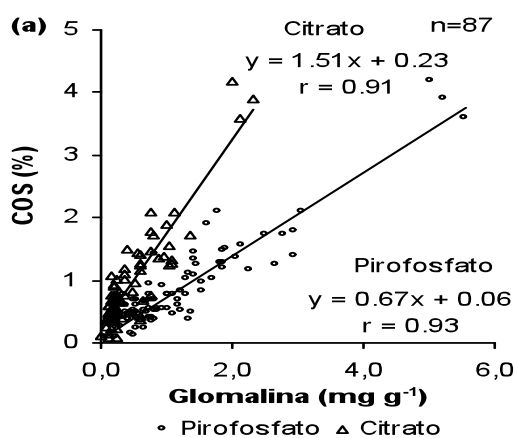
**Cuadro 1. Manejo agronómico y características de la muestras estudio**

Clases (n)	Sistema de cultivo	FO	RC	RC	Descripción
I (4)	-	-	-	Tepetate	Tepetate roturado antes de ser cultivado.
II (15)	Monocultivo de cereales sin rotación	D	E	Tepetate	Monocultivo de maíz ( <i>Zea mays</i> L.), trigo ( <i>Triticum vulgare</i> L.) y cebada ( <i>Hordeum vulgare</i> L.).
III (19)	Monocultivo de cereales con rotación	D	E	Tepetate	Monocultivo de maíz ( <i>Zea mays</i> L.), trigo ( <i>Triticum vulgare</i> L.) y cebada ( <i>Hordeum vulgare</i> L.) con rotación ocasional de leguminosas como frijol ( <i>Phaseolus vulgare</i> L.) o haba ( <i>Vicia faba</i> L.).
IV (13)	Empleo de leguminosas y poco estiércol	D	E	Tepetate	Cultivo de gramíneas y de leguminosas en parcelas o vía rotación, o monocultivo de gramíneas. Aportes irregulares de estiércol bovino.
V (4)	Monocultivo de cereales con rotación	C	E	Tepetate	Monocultivo de maíz ( <i>Zea mays</i> L.), trigo ( <i>Triticum vulgare</i> L.) y cebada ( <i>Hordeum vulgare</i> L.).
VI (14)	Empleo de leguminosas y rotación	C	E	Tepetate	Cultivo de gramíneas y leguminosas en rotación, o monocultivo. Aportes regulares de estiércol de bovino. Incorporación de los RC.
VII (3)	Cultivo perenne poco intensivo sin arado	D	I	Tepetate	Cultivo perenne de agapando ( <i>Agapanthus africanus</i> Hoffmans), nopales ( <i>Opuntia</i> spp.) y agave ( <i>Agave</i> spp.). Incorporación de RC y de temporal.
VIII (8)	Cultivo (flores) bajo invernaderos	C	I	Tepetate	Cultivo bajo invernadero con riego. Aportes frecuentes de estiércol bovino y fertilizantes químicos. Uso de plaguicidas.
IX (1)	Cultivo perenne intensivo sin arado	C	I	Tepetate	Cultivo perenne de agapando ( <i>Agapanthus africanus</i> Hoffmans), nopales ( <i>Opuntia</i> spp) y agave ( <i>Agave</i> spp.). Incorporación de los RC y con riego
X (2)	Cultivo (flores) intensivo bajo invernaderos	C	I	Tepetate	Cultivo bajo invernadero con riego. Aportes frecuentes de estiércol bovino, composta de madera y fertilizantes químicos. Uso de plaguicidas.
XI (3)	Monocultivo tradicional con rotación	D	E	Suelo	Monocultivo de maíz ( <i>Zea mays</i> L.), trigo ( <i>Triticum vulgare</i> L.) y cebada ( <i>Hordeum vulgare</i> L.).
XII (1)	Cultivo perenne sin arado policultivo	C	I	Suelo	Zarzamora ( <i>Rubus fruticosus</i> L), frambuesa ( <i>R. idaeus</i> L.), higuera ( <i>Ficus carica</i> L.), capulín ( <i>Prunus serotina</i> Cav.), durazno ( <i>P. persica</i> L.), ornamentales y medicinales

C: continúa, D: débil o ausentes, E: exportados, I: incorporados, FO: fertilización orgánica, RC: residuos de cosecha

La G y las sustancias húmicas (SH) tienen distintas concentraciones de C, pero parecen estar ligadas. Ambas se extraen con PS pero la diálisis y precipitación se hacen a pH distinto. El SC ha sido usado para extraer ambos (Nichols y Wright, 2005) y las pruebas electroforesis y resonancia magnética nuclear mostraron que había diferencias a nivel molecular entre ellas. La G era el compuesto más abundante y mejor caracterizado, y que no ocurrió co-extracción de otros compuestos proteicos o taninos (Nichols, 2003; Rillig *et al.* 2001). El uso de extractantes más agresivos que el SC, como lo es PS, pudiese resultar en la obtención de G asociada con alguna fracción adicional de SH. La G extraída de tepetates con PS y CS se relacionó con el COS ( $r=0.93$  y  $0.91$ ) (Figura 1). Recientemente, se sugirió que la proteína que se produce directamente en las hifas de los HMA (*G sensu stricto*) difiere de las proteínas del suelo o proteínas del suelo

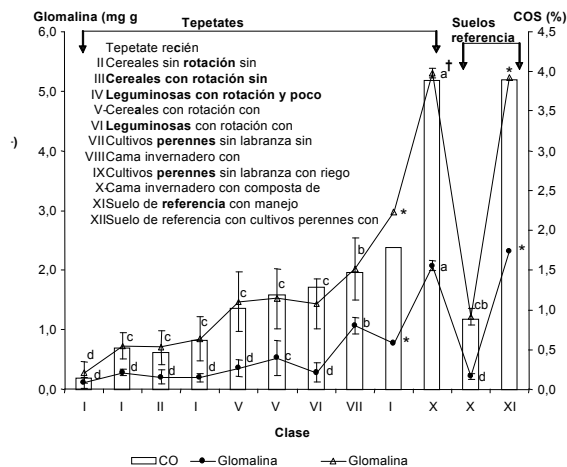
relacionadas con la G (GRSP de sus siglas en inglés) (Rillig, 2004; Wright y Upadhyaya, 1996)



**Figura 1. Glomalina y C-glomalina extraído con PS Y CS.**

## COS, G y C-glomalina en los tepetates cultivados.

La relación entre las clases de manejo y la concentración media de COS en tepetates y suelos de referencia, con G extraída con SC y SP de muestra en la Figura 2.



**Figura 2. Glomalina y COS en tepetates con diferente manejo.**

El nivel más bajo de COS (0.2% C) y G ( $<0.3$   $0.3\text{mg g}^{-1}$ ) se tuvo en el tepetate roturado (clase I) no cultivado o condición natural, base para estimar acumulaciones en tiempo y por manejo. Los tepetates clase II y III presentaron valores similares COS (0.5%) y G ( $0.3$  y  $0.7\text{mg g}^{-1}$ ). En estas clases los residuos se retiran para alimentar el ganado y casi no se aplica abono orgánico, por lo que el ingreso de C y la proliferación de HMA limitado. Este tipo de manejo no se puede elevar la calidad de los tepetates. El uso de leguminosas por 25 años (clase IV) no incrementó significativamente el COS y la G, cosa que si favorece la incorporación de abonos orgánicos (clases V y VI). Las leguminosas tienen afinidad para asociarse en doble simbiosis con bacterias fijadoras de N y HMA, lo cual favorece la producción de G por los HMA (González-Chávez *et al.*, 2004). Los sistemas con cultivos perennes de temporal, con labranza y acumulación de residuos (clase VII) muestran más COS y G que las clases V y VI. En las clases VIII y IX (manejo agronómico semejante a la clase VII, pero con riego), presenta 30% más de COS y C-glomalina con respecto a la clase VII. En general, las clases donde no se practica la labranza tuvieron mayor capacidad para acumular COS y G, ya que no se favorece la oxidación de C y no hay ruptura de hifas de los HMA, lo que contribuye mayormente a la estabilidad de los agregados del suelo y al secuestro de C (Rillig *et al.*,

2002; Wright y Upadhyaya 1998). Con labranza reducida, la materia orgánica queda en la superficie y se reduce la evaporación, la temperatura y el intercambio de gases (Reicosky y Lindstrom, 1993). La clase X (camas de invernadero, con adición de composta de madera), el COS y la G fueron más del doble que en la clase VIII (que tenían 1.5% COS y de 1 a 2  $\text{mg g}^{-1}$  de G). COS y G en el suelo fértil (clase XII) fueron semejantes a los de la clase X. Los tepetates manejados para conservar la materia orgánica muestran potencial para capturar C, siendo el más alto, aproximadamente  $90\text{ Mg ha}^{-1}$  (Báez *et al.*, 2002).

## Contribución del C-glomalina al COS.

En las clases I a IV la G no aportó una cantidad importante de C al COS de los tepetates. En la clase V, VI y VII el aporte fue 6-11% (cuando extraído con SC) y 16-24% (cuando extraído con SP). En las clases VIII, IX y X la contribución fue 10-18% con SC y de 27-31% con SP. En los suelos de referencia la contribución varió entre 5 y 30%. Según Weller (2002) la G medida con SC puede aportar hasta 27% del COS del suelo, que sólo se alcanzó en la clase X y en el suelo de referencia (clase XII). Es evidente que el tipo de manejo agronómico influye en el aporte. La tasa de acumulación del COS y el C-glomalina en función de los años de cultivo del tepetate fue logarítmica. El uso ocasional de leguminosas no contribuyó significativamente a la acumulación de C, con respecto al monocultivo de cereales sin rotación. El monocultivo de cereales sin incorporación de abonos orgánicos (clase II) tuvo la menor tasa de acumulación de COS y C-glomalina y se estabilizaron en pocos años. Los aportes de C en este tipo de manejo están limitados al escaso rastrojo y raíces que quedan en las parcelas después de las cosechas. Las parcelas con uso frecuente de leguminosas e incorporación de estiércoles, tuvieron una acumulación de COS de  $40\text{ Mg ha}^{-1}$  de los cuales de 10 a 15  $\text{Mg ha}^{-1}$  sería C-glomalina. La capacidad para acumular C en los tepetates sería dependiente de la tasa de formación de nuevos agregados (Báez *et al.*, 2007) y de los sitios de reacción del C en la superficie de los minerales arcillosos (Matus y Maire, 2000; Hassink, 1997).

**Conclusiones.** El SP extrajo 3 veces más G que el SC y el C-glomalina fue aproximadamente 2 veces mayor cuando se

usó SP como extractante en lugar del SC. El COS en los tepetates cultivados se ubicó en el intervalo de trazas hasta 3.9% C. La G extraída con SP en los tepetates cultivados varió de trazas a 5.3 mg g<sup>-1</sup> y en los suelos de referencia de 3.9 a 5.1 mg g<sup>-1</sup>. El potencial de captura de carbono de los tepetates puede ser semejante al de los suelos agrícolas de la misma región. De acuerdo con el máximo valor de C orgánico determinado en los tepetates, éstos tienen capacidad para almacenar más de 90 Mg ha<sup>-1</sup>, en los primeros 20 cm de profundidad, con una aportación de 15 a 30 % del C por parte de la G según el extractante empleado. La acumulación de COS y C-glomalina con los años de cultivo sigue una tendencia de tipo logarítmico.

### **Referencias**

- Báez, A., E. Ascencio, C. Prat, y A. Márquez. 1997. Análisis del comportamiento de cultivos en tepetate t3 incorporado a la agricultura de temporal, Texcoco, México. *In*: C. Zebrowski, P. Quantin, y G. Trujillo (eds.) Suelos Volcánicos Endurecidos. ORSTOM. Quito, Ecuador. pp: 296-310.
- Báez, A., J. D. Etchevers, C. Hidalgo, C. Prat, V. Ordaz, y R. Núñez. 2002. C orgánico en tepetates cultivados de México. *Agrociencia* 36:643-653.
- Báez, A., J. D. Etchevers, C. Prat, and C. Hidalgo. 2007. Formation of aggregates and carbon sequestration in ameliorated tepetates in the rio Texcoco basin, Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*: (in press).
- Borie, F., R. Rubio, R., A. Morales, y C. Castillo. 2000. Relación entre densidad de hifas de hongos micorrizógenos arbusculares y producción de glomalina con las características físicas y químicas de suelos bajo cero labranza. *Revista Chilena de Historia Natural* 73: 749-756.
- Borie, F., R. Rubio, J. L. Rouanet, A. Morales, G. Borie, and C. Rojas. 2006. Effects of tillage systems on soil characteristics, glomalin and mycorrhizal propagules in a Chilean Ultisol. *Soil and Tillage Research* 88: 253–261.
- Etchevers, J. D., C. Hidalgo, C. Prat, and P. Quantin. 2006. Tepetates of Mexico. R. Lal (ed.) *Encyclopedia of soil science*. Marcel Dekker, New York, USA. pp. 1745-1748.
- Etchevers, J. D., R. M. López, C. Zebrowski, y D. Peña. 1992b. Fertilidad de los tepetates de la vertiente occidental de la sierra nevada (México). *Terra* 10 (Número especial): 379-384
- González-Chávez, M. C. A., M. C. Gutiérrez, y S. Wright. 2004. Hongos micorrízico arbusculares en la agregación del suelo y su estabilidad. *Terra Latinoamericana* 22: 507-214.
- Hassink, J. 1997. The capacity of soils to preserve organic C and N by their association with clay and silt particles. *Plant and Soil* 191:77-87.
- Matus, J. F., y C. R. Marie. 2000. Relación entre materia orgánica y textura del suelo y tasa de mineralización de carbono y nitrógeno. *Agricultura Técnica (Chile)* 60:112-126.
- Navarro, H., A. Pérez, y D. Flores. 2003. Productividad de los tepetates con sistemas rotacionales. *Terra Latinoamericana* 22:71-79.
- Nichols, K. 2003. Characterization of glomalin, a glycoprotein produced by arbuscular mycorrhizal fungi. PhD Dissertation, University of Maryland, College Park, Maryland, USA.
- Nichols, K. A., and S. F. Wright. 2005. Comparison of glomalin and humic acid in eight native U.S. soils. *Soil Science* 170:985-987.
- Peña, D., y C. Zebrowski. 1992. Los suelos y tepetates de la vertiente occidental de la sierra nevada. *Terra* 10 (Número especial): 151-155.
- Reicosky, D., and M. Lindstrom. 1993. Effect of fall tillage on short term carbon dioxide flux from soil. *Agronomy Journal* 85:1237-1243.
- Rillig, M. C., S. F. Wright, K. A. Nichols, W. F. Schmidt, and M. S. Torn. 2001. Large contribution of arbuscular mycorrhizal fungi to soil carbon pools in tropical forest soils. *Plant and Soil* 233: 167–177.
- Rillig, M. C., S. F. Wright, and V. T. Eviner. 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. C. 2004. Arbuscular mycorrhizae and terrestrial ecosystem processes. *Ecology Letters* 7: 740–754.
- SAS Institute. 1998. SAS/SAT User's Guide. Version 6.09. SAS Inst., Cary, NC. pp: 100-120.
- Weller, K. 2002. Glomalin: hiding place for a third the world's stored soil carbon. *Agricultural Research Magazine* 50: 4-7.
- Werner, G. 1992. Suelos volcánicos endurecidos (tepetates) en el estado de Tlaxcala: Distribución, rehabilitación, manejo y conservación. *Terra* 10 (Número especial): 318-331.
- Wright, S. F., and A. Upadhyaya. 1996. Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein of arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Science* 198: 97-107.
- Wright, S., and A. Upadhyaya. 1998. A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular micorrhizal fungi. *Plant and Soil* 198:97-107.
- Wright, S. F., and L. Jawson. 2001. A pressure cooker method to extract glomalin from soils. *Soil Science Society of America Journal* 65:1734-1735.
- Wright, S. F., K. N. Nichols, and W. F. Schmidt. 2006. Comparison of efficacy of three extractants to solubilize glomalin on hyphae and in soil. *Chemosphere* 64: 1219-1224.
- Zebrowski, C. 1992. Los suelos volcánicos endurecidos en América Latina. *Terra* 10 (Número especial): 15-23.

Baez A., Gonzalez M. del C., Hidalgo C., Prat Christian,  
Etchevers J.D.

Glomalina y secuestro de carbono en tepetates cultivados.

In : Congreso latinoamericano de la ciencia del suelo. Leon :  
SLCS, 2007, 4 p. Congreso Latinoamericano de la Ciencia del  
Suelo, 17., Leon (MEX), 2007/09/17-21.