

Nuevos registros de hongos micorrizógenos arbusculares para México

Heriberto Méndez Cortés¹, José G. Marmolejo Monsivais¹, Víctor Olalde Portugal²
César M. Cantú Ayala¹, Lucía Varela Fregoso³

¹ Facultad de Ciencias Forestales, UANL. Carretera Nacional Km. 145, Apartado Postal 41, C.P. 67700. Linares N.L. ² Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN Unidad Irapuato, Km 9.6 libramiento norte, carretera Irapuato-León, C.P. 36821. Irapuato, Guanajuato. ³ Acueducto Molino del Rey Manzana A Lote 20, Vista del Valle, C.P. 52378, Naucalpan, Estado de México, México

New records of arbuscular mycorrhizal fungi for Mexico

Abstract. Four new records of arbuscular mycorrhizal fungi for Mexico are described and discussed, collected from rhizosphere of red cedar (*Cedrela odorata*) in two tropical forest of Veracruz. *Rhizophagus custos* was obtained from a perennial tall forest; while *Glomus arenarium*, *G. aureum* and *G. hyderabadensis* were obtained from a perennial medium forest.

Keywords: glomeromycota, red cedar, tropical forest.

Resumen: Se describen cuatro nuevos registros de hongos micorrizógenos arbusculares para México, los cuales fueron extraídos de la rizósfera del cedro rojo (*Cedrela odorata*), en dos ecosistemas tropicales del estado de Veracruz. *Rhizophagus custos* se recolectó en el ecosistema de selva alta perennifolia; mientras que *Glomus arenarium*, *G. aureum* y *G. hyderabadensis* en la selva mediana subperennifolia.

Palabras clave: glomeromycota, cedro rojo, ecosistemas tropicales.

Received 22 August 2011; accepted 19 October 2012.

Recibido 22 de agosto 2011; aceptado 19 de octubre 2012.

Introducción

México es considerado un país megadiverso que alberga más del 12% de la diversidad biológica mundial (SEMARNAT, 2003). Las condiciones que favorecen esta riqueza, se deben principalmente a sus características fisiográficas, climatológicas y geológicas, siendo los ecosistemas tropicales los más biodiversos (Challenger y Dirzo, 2009).

Los bosques y selvas tropicales en el país, cubren alrededor de 63.6 millones de ha; desafortunadamente, en los últimos 50 años, han desaparecido grandes extensiones de estos ecosistemas debido al cambio en el uso del suelo (SEMARNAT, 2003). Se considera que estos últimos ecosistemas han sido los más impactados, con más de 60,000

km² deforestados durante 1976-2000, lo que equivale a 250,000 ha anuales (Mas *et al.*, 2003).

En las selvas tropicales se distribuyen especies forestales de importancia económica como el cedro rojo (*Cedrela odorata* L.), el cual se encuentra bajo la categoría “sujeta a protección especial” por la NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010) y “vulnerable” por la International Union for Conservation of Nature (IUCN, 2011), debido a sus bajas poblaciones.

Aunque en estos ecosistemas se concentra el 35% de diversidad de plantas conocidas y el 20% de carbón orgánico del suelo (Jobbagy y Jackson, 2000), la distribución, composición y diversidad de especies vegetales, se deben en gran medida a la asociación que ejercen con los hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) (LeTacon *et al.*, 1998). Se estima que el 95% de las especies arbóreas tropicales forman asociaciones simbióticas mutualistas con este tipo de

Autor para correspondencia: Heriberto Méndez Cortés
hmendezcortes@hotmail.com

hongos (LeTacon *et al.*, 1998), cuyo papel es esencial para el buen funcionamiento y mantenimiento en sus ecosistemas naturales (Salas, 2004).

De acuerdo a las cifras actuales de HMA en el territorio nacional revelan un total de 97 especies, lo que representa un poco más del 40% de las especies conocidas a nivel mundial.

Con base en lo anterior y debido a las escasas investigaciones realizadas en este tipo de comunidades, se hace necesario intensificar la exploración taxonómica en las selvas tropicales que son los más fragmentadas; es por ello, que en la presente investigación se describen cuatro nuevos registros de HMA para México, los cuales fueron localizados en la rizósfera de *C. odorata* de dos ecosistemas tropicales del estado de Veracruz.

Materiales y métodos

El muestreo se realizó en dos ecosistemas tropicales con vegetación primaria donde se distribuye *C. odorata* en el estado de Veracruz. El primer ecosistema se localiza entre los 18° 36' N y 96° 41' O el cual corresponde a una selva alta perennifolia. El segundo se localiza entre los 21° 22' N y 98° 15' O y corresponde a una selva mediana subperennifolia.

Se eligieron nueve árboles de *C. odorata* por tipo de vegetación en los meses de mayo y junio de 2010. En cada árbol se tomaron cuatro muestras de suelo en la parte media de proyección del dosel en dirección norte, sur, este y oeste a una profundidad de 0-20 cm. Estas muestras fueron homogeneizadas y etiquetadas para su posterior procesamiento.

La extracción de esporas se realizó mediante el método de tamizado húmedo y decantación (Gerdemann y Nicolson, 1963) y centrifugación en gradiente de sacarosa (Daniels y Skipper, 1982). El color de las esporas se

determinó bajo un microscopio de disección (Zeiss 47-50-52-9901) en especímenes inmersos en agua (de acuerdo al plano de colores rojo-verde-azul del Microsoft Office, 2007). Las esporas se montaron en láminas semipermanentes con alcohol polivinílico-lacto-glicerol "PVLG" (Morton *et al.*, 1993) y reactivo de Melzer (Koske y Tessier, 1983). La observación de las estructuras microscópicas se realizó en el microscopio compuesto (Zeiss, Axio Scope. A1), con $\frac{3}{4}$ de apertura en el diafragma, una luminosidad de -0.50 y un contraste de 1.00.

La identificación se basó en las características morfológicas básicas propuestas por Walker (1983) y Morton (1988), determinándose la forma, tamaño, características de la pared externa, estructuras de germinación, hifa suspensora y reacción en Melzer de las esporas extraídas. Posteriormente, se identificaron las especies tomando como referencia a la Colección Internacional de Cultivos de Hongos Micorrizógenos Arbusculares y vesiculares (<http://invam.caf.wvu.edu>), el Manual para la identificación de hongos micorrizógenos vesículo-arbusculares (Schenck y Perez, 1990), las descripciones de especies depositadas en el Departamento de Patología de Plantas de la Universidad de Agricultura en Szczecin, Polonia (<http://www.agro.ar.szczecin.pl/~jblaszkowski/>) (Blaszkowski, 2003), así como bibliografía especializada (Blaszkowski *et al.*, 2001; Oehl *et al.*, 2003; Swarupa *et al.*, 2004; Cano *et al.*, 2009). Los especímenes fueron depositados en el Herbario de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León (CFNL).

La clasificación utilizada corresponde a la propuesta hecha por Schüßler y Walker (2010). Aunque las últimas aportaciones en taxonomía de Glomeromycota fueron hechas por Oehl *et al.* (2011), su clasificación sigue en discusión, ya que algunos géneros son monoespecíficos o están basados en supuestos dudosos.

Resultados y discusión

Rhizophagus custos (C. Cano & Dalpé) C. Walker & A. Schüßler, Mycotaxon 109: 499-512. 2009.

Figuras 1 y 2

Las esporas son formadas al interior de la raíz o en el suelo, presentándose en racimos de 2-6, las esporas jóvenes son hialinas a amarillo pálido (255-255-97) y cuando maduras presentan una coloración café amarillenta (255-191-13), siendo globosas (40–92 µm), ovoides o irregulares (90-130 µm de diám.) con la superficie lisa. La estructura subcelular está compuesta de una pared que incluye cuatro capas en esporas maduras (Sw11-4) y tres en estructuras jóvenes. La capa uno es mucilaginoso, evanescente y de 0.5-1.5 µm de grosor, que se tiñe de rojo en Melzer. La capa dos es hialina, de 1.0-1.7 µm de gruesa, rígida, fuertemente adherida a la capa uno en esporas jóvenes. La capa tres es hialina a amarillo pálido (255-255-97), de 1.5-2.0 µm de gruesa, semiflexible, de superficie lisa, fácilmente separada de la capa dos. La capa cuatro es café amarillenta (255-191-13), laminada, de 2.0–3.0 µm de grosor, se tiñe de rojo en Melzer y puede estar ausente en esporas jóvenes. La hifa de sostén es recta o ligeramente acampanada, de 6.5-13.9 µm de ancho en la base de la espora, de color semejante a las capas de la pared de la espora. La pared es de 3.0–5.5 µm de gruesa en la base de la espora, consta de 2-4 capas continuas con las capas de la pared de la espora. Presenta un poro abierto, de 4.2-6.2 µm de ancho y raramente es cerrado por un septo que es formado por la capa cuatro de la pared de la espora.

Glomus aggregatum N.C. Schenck & G.S. Sm. y *Rhizophagus irregularis* (Błaszk., Wubet, Renker & Buscot) C. Walker & Schüßler poseen también esporas irregulares. Sin embargo, *R. custos* presenta cuatro capas en su pared y con una reacción dextrinoide en la capa uno y capa cuatro, lo

cual no ocurre en las otras dos especies (Schenck y Smith, 1982; Błaszkowski y Czerniawska, 2008).

Distribución: Fue aislado por primera vez en suelos contaminados por metales pesados en la provincia de Huelva, España (Cano *et al.*, 2009).

Material estudiado: VERACRUZ, Tezonapa, altitud 180 m, selva alta perennifolia, junio 2010.

Glomus arenarium Błaszk., Tadych & Madej, Act. Soc. Bot. Pol. 70: 97-101. 2001.

Figuras 3 y 4

Esporas solitarias en el suelo, formadas terminalmente sobre una hifa cenocítica, de color amarillo (255-213-40) a ocre (200-119-0), globosas a subglobosas, de 90-140 µm de diám. La estructura subcelular consiste de una pared que incluye tres capas (Sw11-3), la capa uno es evanescente, hialina, de 1.0-1.3 µm de grosor, fuertemente adherida a la capa dos, lisa en esporas juveniles, gradualmente deteriorada o desintegrada después de la formación de la capa dos, siempre ausente en esporas maduras. La capa dos es flexible a semiflexible, hialina, lisa, de 1.0-1.3 µm de ancho, se desintegra con la edad, raramente presente en esporas maduras. Las dos capas anteriores son continuas con las capas de la hifa de sostén en esporas juveniles. La capa tres es laminada, lisa, de color naranja a ocre (200-119-0), de 5.3-8.7 µm de ancho en esporas maduras, laminada en la espora y en la hifa de sostén. Estas tres capas no reaccionan en Melzer. La hifa de sostén es hialina a color blanco amarillenta, recta o curva, cilíndrica o acampanada, de 6.3-7.4 µm de ancho en la base de la espora. La pared es hialina a blanco amarillenta, de 1.5-2.0 µm de ancho en la base de la espora, compuesta de tres capas continuas con las capas de la pared de la espora en etapas juveniles. Presenta un poro que es ocluido por un septo, de 1.9-2.5 µm de ancho, continuo con la capa tres de la pared de la espora.

Cuando se observan bajo el microscopio de disección, las esporas de *G. arenarium* se asemejan a las de *Claroideoglopus etunicatum* (W.N. Becker & Gerd.) C. Walker & Schüßler, *Glomus insculptum* Blaszk., *G. pustulatum* Koske, Friese, C. Walker & Dalpé, *G. versiforme* (P. Karst.) S.M. Berch, *Claroideoglopus drummondii* (Blaszk. & C. Renker) C. Walker & Schüßler y *Diversispora trimurales* (Koske & Halvorson) C. Walker & Schüßler. *G. arenarium* difiere de *C. etunicatum* y *G. insculptum* en presentar tres capas a diferencia de estas últimas que sólo presentan dos capas en su pared (Stürmer y Morton, 1997; Blaszkowski *et al.*, 2004). *C. etunicatum* presenta además una reacción dextrinoide en su capa externa (rosa oscuro a rojizo púrpura), lo cual no ocurre en *G. arenarium*. *G. pustulatum* presenta ornamentaciones tipo pústulas en la capa externa (Koske *et al.*, 1986), mientras que *G. arenarium* presenta una capa externa mucilaginosa y raramente presente en esporas maduras. *G. versiforme* se diferencia de *G. arenarium* por presentar esporas con una capa externa hialina y semipermanente (Blaszkowski, 2003), mientras que *G. arenarium* presenta una capa externa mucilaginosa. *C. drummondii* presenta esporas muy amarillas (Blaszkowski *et al.*, 2006) mientras que en *G. arenarium* son de color ocre. Por último, *D. trimurales* se caracteriza por presentar una capa interna hialina a amarillo pálido (Koske y Halvorson, 1989), mientras que *G. arenarium* la desarrolla de un color naranja a ocre.

Distribución: Se reportó por primera vez en dunas costeras de Polonia (Blaszkowski *et al.*, 2001).

Material estudiado: VERACRUZ, Tantoyuca, altitud 100 m, selva mediana subperennifolia, jun. 2010.

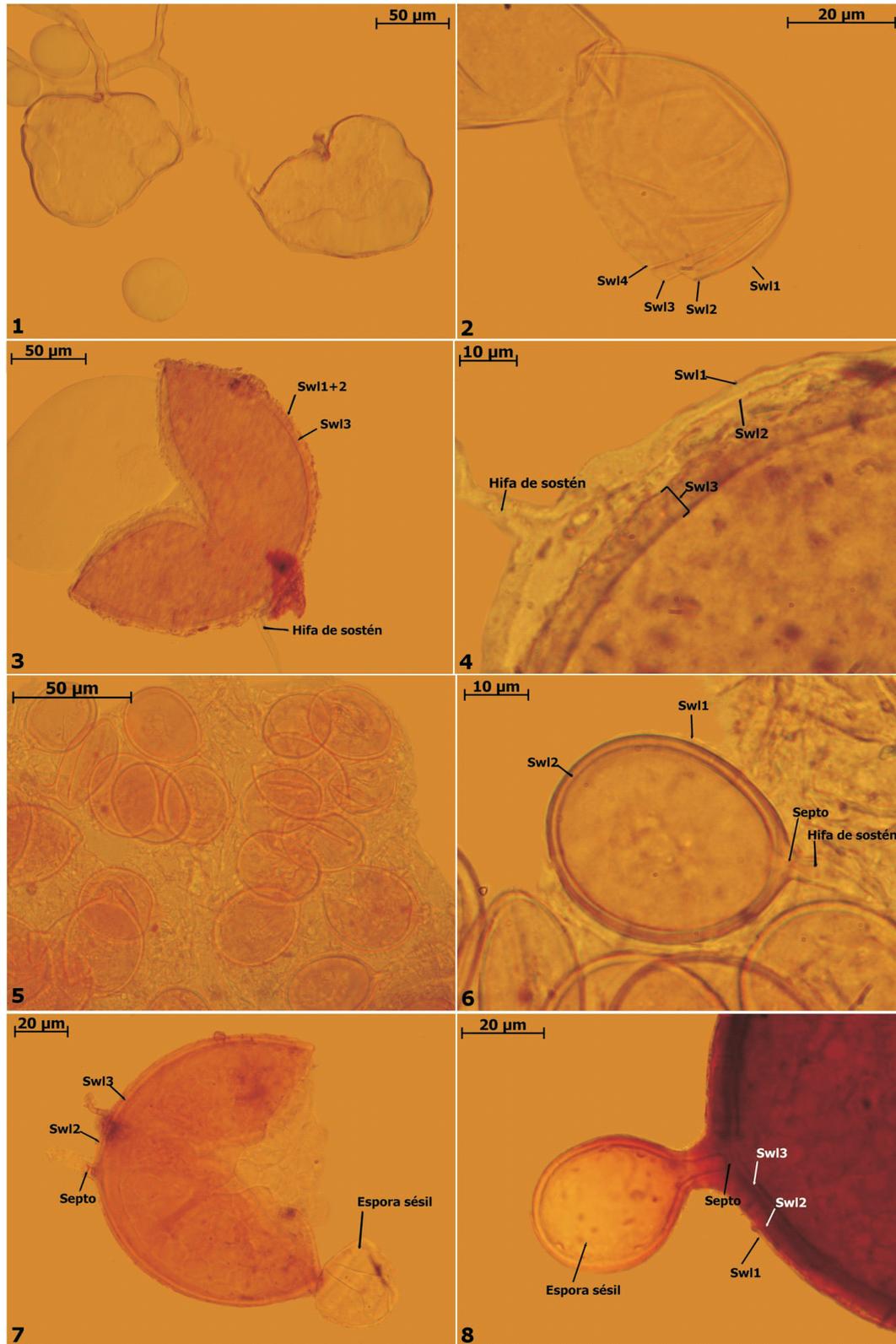
Glomus aureum Oehl & Sieverd, J. Appl. Bot. 77: 111-115. 2003.

Figuras 5 y 6

Las esporas están agrupadas en esporocarpos de color café

amarillento (255-157-13), de forma irregular, de 450-600 µm de diám., sin presencia de peridio, compuesto de esporas fuertemente compactas. El interior consiste de hifas entrelazadas, las cuales son hialinas a amarillo claro (255-255-141), de 3.5-5.3 µm de ancho, con una o dos capas en la pared, de 0.9-1.2 µm de gruesa. Las esporas e hifas están integradas por un material amorfo que se tiñe de rojo en Melzer. Las esporas se forman de una ramificación dicotómica de la hifa principal o de ramificaciones secundarias; éstas son de café amarillento (255-157-13), usualmente ovoides y raramente globosas, de 38.4-51.9 µm de diám., con una hifa de sostén. La estructura subcelular consta de una pared que incluye dos capas (Sw11 y Sw12), la capa externa forma la superficie de la espora, es evanescente, hialina, superior a 0.7 µm en grosor, usualmente se desintegra en las esporas maduras. La capa interna es finamente laminada, café amarillenta (255-157-13), de 1.6-2.3 µm de ancho, superior a 3.5 µm en la base de la espora. En Melzer, solo la capa uno se tiñe de color rojo tenue. La hifa de sostén es café amarillenta (255-157-13), recta o curva, cilíndrica o ligeramente en forma de embudo; de 6-10 µm de ancho en la base de la espora. La pared está compuesta de dos capas continuas con las capas uno y dos de la pared de la espora; la capa dos es superior a 4 µm de ancho en la base de la espora. Presenta un poro de 1.0-1.5 µm de ancho en la base de la espora, frecuentemente ocluido por un septo curvo continuo con la laminación de la capa dos de la pared de la espora.

Glomus glomerulatum Sieverd., *G. pallidum* I. R. Hall, *Rhizophagus proliferus* (Dalpé & Declerck) C. Walker & Schüßler, *Sclerocystis rubiformis* Gerd. & Trappe, *G. invermaium* I. R. Hall, *G. microcarpum* Tul. & C. Tul. y *Funneliformis vesiculiferum* (Thaxt.) C. Walker & Schüßler también presentan esporocarpos coloreados. *G. aureum* difiere de *G. glomerulatum* por formar esporas anaranjadas, mientras que en esta última especie las esporas son más oscuras (Sieverd, 1987). Comparado con *G. pallidum*



Figuras 1- 8 Esporas de las especies estudiadas. 1-2: *Rhizophagus custos*, 1. Esporas irregulares, 2. Espora mostrando las capas en la pared (Swl1-4). 3-4: *Glomus arenarium*, 3. Espora mostrando la hifa de sostén, 4. Pared de la espóra con tres capas (Swl1-3). 5-6: *Glomus aureum*, 5. Esporas agrupadas en esporocarpio y desarrolladas a partir de hifas internas entrelazadas, 6. Espora que muestra un septo curvo, la capa externa evanescente y la interna laminada. 7-8: *Glomus hyderabadensis*, 7. Espora con septo en la hifa de sostén, las capas en la pared de la espóra (Swl1-3) y la espóra sésil subglobosa, 8. Espora sésil que muestra un septo en el punto de unión con la espóra progenitora.

(Blaszkowski, 2003), las esporas de *G. aureum* son de una tonalidad más oscura [vs. las esporas cremas o anaranjado pálidas], presentan el mismo color tanto en la hifa de sostén y la espora [vs. lo hialino en la hifa de sostén] y la reacción en Melzer [vs. la no reacción]. *R. proliferus* se caracteriza por presentar cuatro capas en su pared (Declerck *et al.*, 2000), mientras que *G. aureum* presenta sólo dos. *S. rubiformis* se caracteriza por desarrollar esporas a través de un plexo central de hifas (Almeida y Schenck, 1990), mientras que en *G. aureum* las esporas presentan una distribución al azar. *G. aureum* presenta una capa externa deteriorada con la edad y difiere de *G. invermaium* por presentar una capa externa persistente (Hall, 1977). *G. aureum* difiere de *G. microcarpum* y *F. vesiculiferum* por no presentar un peridio en el esporocarpio (Berch y Fortin, 1984; Gerdemann y Trappe, 1974).

Distribución: Esta especie ha sido reportada de Suiza, Alemania, Francia e Italia (Oehl *et al.*, 2003; Oehl *et al.*, 2005), China (Cai *et al.*, 2008), la India (Panna y Highland, 2009) y Polonia (Zubek *et al.*, 2010). Comúnmente ha sido encontrada en ambientes agrícolas.

Material estudiado: VERACRUZ, Tantoyuca, altitud 100 m, selva mediana subperennifolia, jul. 2010.

Glomus hyderabadensis Swarupa, Kunwar, G. S. Prasad & Manohar, Mycotaxon 89: 245-253. 2004.

Figuras 7 y 8

Presenta esporas solitarias en el suelo, globosas a subglobosas, de 110-150 µm de diám., de color miel (208-127-0) a café (122-44-0). En las esporas maduras se desarrollan esporas sésiles; éstas son globosas, subglobosas a raramente irregulares, de 35-60 µm de diám., de color miel (208-127-0); el grosor de su pared es de 2.7-3.5 µm de gruesa. La pared de estas esporas presentan tres capas al igual que en las esporas maduras: la externa es lisa y puede degradarse con la edad, amarillo tenue (255-244-99), de 1 µm de gruesa; la

capa media es lisa, café (122-44-0), de 1.4 µm de gruesa; la capa interna es rígida, amarilla tenue (255-244-99), de 1 µm de gruesa. Esta espora se une a la espora madre por una abertura conectiva de 6.1-8.2 µm. La estructura subcelular de la espora madura difiere en grosor de la espora sésil; la capa uno es de 1.0-1.5 µm de gruesa; la capa dos de 1.5-3.0 µm; la capa tres es de 1.0-1.5 µm. La hifa de sostén es simple, ligeramente acampanada en la base de la espora, de 16-22 µm de gruesa en la base de la espora. Presenta un poro entre la unión de la hifa con la espora de 6.5-8.0 µm, el cual es ocluido por un septo delgado y recto.

Esta especie se caracteriza por desarrollar una espora sésil en la espora madura, lo que hace que se diferencie de aquellas que producen esporas glomoides.

Distribución: La especie ha sido asociada a la rizósfera de *Allamanda cathartica* en Hyderabad, India (Swarupa *et al.*, 2004) y con *Salix psammophila* en áreas desérticas de China (Yang *et al.*, 2011).

Material estudiado: VERACRUZ, Tantoyuca, altitud 100 m, selva mediana subperennifolia, jun. 2010.

Los resultados obtenidos en esta investigación, dan a conocer cuatro nuevos registros de HMA para México, adscritos a los géneros *Rhizophagus* y *Glomus*. Estos registros fueron obtenidos del suelo procedente de la rizósfera de *C. odorata* en dos ecosistemas tropicales del estado de Veracruz. *R. custos* se registró en la selva alta perennifolia; mientras que *G. arenarium*, *G. aureum* y *G. hyderabadensis* se registraron en la selva mediana subperennifolia.

De acuerdo a las cartas temáticas de precipitación, las áreas de muestreo en la selva alta perennifolia se caracterizan por presentar una tasa anual de 2500-3000 mm (García, 1998). Aunque *R. custos* se localizó en estas áreas, Cano *et al.* (2009) reportaron su presencia en suelos contaminados por metales pesados, donde la precipitación oscila entre los 500 mm anuales.

Las áreas de muestreo en la selva mediana

subperennifolia presentan tasas de precipitación de 1200-1500 mm anuales (García, 1998). Las especies reportadas en este ecosistema, anteriormente fueron aisladas en ambientes secos de otras regiones del mundo. *G. arenarium* fue reportada en dunas costeras y áreas del desierto de Bledowska (Blaszkowski *et al.*, 2001); *G. aureum* en ambientes de 650-850 mm (Oehl *et al.*, 2005) y 1200 mm (Panna y Highland, 2009); *G. hyderabadensis* en ambientes de 800 mm (Swarupa *et al.*, 2004). Lo anterior refleja la adaptación que han mostrado estos organismos a los ambientes con baja precipitación.

Las especies de HMA identificadas en la selva mediana subperennifolia representan el primer reporte en este tipo de ecosistemas. Los estudios anteriores se enfocaron a determinar la diversidad de HMA en ecosistemas de selva alta y selva baja. Posiblemente, esta es la razón de que exista un mayor número de nuevos registros en el presente trabajo para México.

Por último, cabe señalar que con los nuevos registros presentados en este trabajo, el número de especies conocidas de HMA para México se eleva a 101.

Agradecimientos

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y al Laboratorio de Investigaciones y Diagnostico Fitosanitario por los apoyos económicos otorgados para realizar la presente investigación.

Literatura citada

- Almeida, R.T., N.C. Schenck, 1990. A revision of the genus *Sclerocystis* (Glomaceae, Glomales). *Mycologia* 82: 703-714.
- Berch, S.M., J.A. Fortin, 1984. A lectotype for *Glomus microcarpum* (Endogonaceae, Zygomycetes). *Mycologia* 76: 190-193.
- Blaszkowski, J., M. Tadych, T. Madej, 2001. *Glomus arenarium*, a new species in Glomales (Zygomycetes). *Acta Societatis Botanicorum Poloniae* 70: 97-101.
- Blaszkowski, J., 2003. Arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota), *Endogone*, and *Complexipes* species deposited in the Department of Plant Pathology, University of Agriculture in Szczecin, Poland. <http://www.agro.ar.szczecin.pl/~jblaszkowski/>.
- Blaszkowski, J., I. Adamska, B. Czerniawska, 2004. *Glomus insculptum*, a new arbuscular mycorrhizal species from Poland. *Mycotaxon* 89: 225-234.
- Blaszkowski, J., C. Renker, F. Buscot, 2006. *Glomus drummondii* and *G. walkeri*, two new species of arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota). *Mycological Research* 110: 555-566.
- Blaszkowski, J., Czerniawska, 2008. *Glomus irregulare*, a new arbuscular mycorrhizal fungus in the *Glomeromycota*. *Mycotaxon* 106: 247-267.
- Cai, B.P., J.Y. Chen, Q.X. Zhang, 2008. Three new records of arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Prunus mume* in China. *Mycosystema* 27: 538-542.
- Cano, C., A. Bago, Y. Dalpé, 2009. *Glomus custos* sp. nov., isolated from a naturally heavy metal-polluted environment in southern Spain. *Mycotaxon* 109: 499-512.
- Challenger, A., R. Dirzo, 2009. Factores de cambio y estado de la biodiversidad, In: Dirzo, R., R. González y J.I. March (eds.), *Capital natural de México*, Vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio, CONABIO, México, D.F. pp. 37-73.
- Daniels, H.B.A., H.D. Skipper, 1982. Methods for the recovery and quantitative estimation of propagules from soil. In: Schenck, N.C. (ed.), *Methods and principles of mycorrhizal research*. American Society for Phytopathology, St Paul, Minn. pp. 29-37.
- Declerck, S., S. Cranenbrouck, Y. Dalpe, S. Seguin, A. Grandmougin-Ferjani, J. Fontaine, M. Sancholle, 2000. *Glomus proliferum* sp. nov.: a description based on morphological, biochemical, molecular and monoxenic cultivation data. *Mycologia* 92: 1178-1187.
- García, E., 1998. Carta temática de precipitación total anual. Escala 1:1,000,000. CONABIO México, D.F.
- Gerdemann, J.W., T.J. Nicolson, 1963. Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological Society* 46: 235-244.
- Gerdemann, J.W., J.M. Trappe, 1974. The Endogonaceae in the Pacific Northwest. *Mycologia Memoir* 5: 1-76.
- Hall, I.R., 1977. Species and mycorrhizal infections of the New Zeland Endogonaceae. *Transactions of the British Mycological Society* 68: 341-356.
- IUCN, 2011. The IUCN Red List of Threatened Species. <http://www.iucnredlist.org/>.
- Jobbagy, E.G., R.B. Jackson, 2000. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecological Applications* 10: 423-436.
- Koske, R.E., B. Tessier, 1983. A convenient, permanent slide mounting medium. *Mycological Society of America Newsletter* 34: 59.
- Koske, R.E., C. Friese, C. Walker, Y. Dalpe, 1986. *Glomus pustulatum*: A new species in the Endogonaceae. *Mycotaxon* 26: 143-149.
- Koske, R.E., W.L. Halvorson, 1989. *Scutellospora arenicola* and *Glomus trimurales*: two new species in the Endogonaceae. *Mycologia* 81: 927-933.
- LeTacon, F., J. Garbaye, G. Carr, 1998. The use of micorrizas in temperate and tropical forest. *Simbiosis* 3: 179-206.
- Mas, J.F., A. Velázquez, J.R. Díaz, R. Mayorga, C. Alcántara, R. Castro, T. Fernández, A. Pérez, G. Bocco, 2003. Assessing land use/cover changes in México: a wall-to-wall multivariate GIS database. *Geoscience and Remote Sensing Symposium*. 5: 3359-3361.
- Microsoft Office, 2007. Microsoft Office System.
- Morton, J.B., 1988. Taxonomy of VA mycorrhizal fungi: classification, nomenclature, and identification. *Mycotaxon* 32: 267-324.
- Morton, J.B., S.P. Bentivenga, W.W. Wheeler, 1993. Germoplasm in the International Collection of Arbuscular Mycorrhizal Fungi (INVAM) and procedures for culture development,

- documentation and storage. *Mycotaxon* 48: 491-528.
- Oehl, F., A. Wiemken, E. Sieverding, 2003. *Glomus aureum*, a new sporocarpic arbuscular mycorrhizal fungal species from European grasslands. *Journal of Applied Botany* 77: 111-115.
- Oehl, F., E. Sieverding, K. Ineichen, E.A. Ris, T. Boller, A. Wiemken, 2005. Community structure of arbuscular mycorrhizal fungi at different soil depths in extensively and intensively managed agroecosystems. *New Phytologist* 165: 273-283.
- Oehl, F., E. Sieverding, J. Palenzuela, K. Ineichen, G.A. da Silva, 2011. Advances in Glomeromycota taxonomy and classification. *Ima Fungus* 2: 191-199.
- Panna, D., K. Highland, 2009. Arbuscular mycorrhizal fungi from northeast India. *Journal of Agricultural Technology* 5: 291-298.
- Salas, E., 2004. Las Micorrizas y su Importancia para el Manejo y Conservación de los Árboles del Trópico. Memoria del I Congreso Sobre Suelos Forestales y de Ordenación Territorial ¿Son los Suelos Forestales Diferentes? Universidad Nacional – INISEFOR. Heredia, Costa Rica.
- Schenck, N.C., G. S. Smith, 1982. Additional new and unreported species of mycorrhizal fungi (Endogonaceae) from Florida. *Mycologia* 77: 566-574.
- Schenck, N.C., Y. Perez, 1990. Manual for the identification of VA-mycorrhizal fungi. 3rd ed., Synergistic Publication, Gainesville.
- Schüßler, A., C. Walker, 2010. The Glomeromycota, a species list with new families and new genera. The Royal Botanic Garden Kew, Botanische Staatssammlung Munich, and Oregon State University. www.amf-phylogeny.com.
- SEMARNAT, 2003. Proceso de Montreal: Aplicación de criterios e indicadores para el manejo forestal sustentable. Informe de México. www.mpci.org/rep-pub/2003/2003mexico.
- SEMARNAT, 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental-especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/
- Sieverding, E., 1987. A VA-mycorrhizal fungus, *Glomus glomerulatum* sp. nov., with two hyphal attachments and spores formed only in sporocarps. *Mycotaxon* 29:73-79.
- Stürmer, S.L., J.B. Morton, 1997. Developmental patterns defining morphological characters in spores of four species in *Glomus*. *Mycologia* 89:72-81.
- Swarupa, S., I.K. Kunwar, G.S. Prasad, C. Manoharachary, 2004. *Glomus hyderabadensis*, a new species: its taxonomy and phylogenetic comparison with related species. *Mycotaxon* 89:245-253.
- Walker, C., 1983. Taxonomic concepts in the Endogonaceae: spore wall characteristics in species descriptions. *Mycotaxon* 18:443-455.
- Yang, J., H. He, L. Zhao, 2011. Species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in the rhizosphere of *Salix psammophila* in Inner Mongolia desert. *Biodiversity Science* 19:377-385.
- Zubek, S., J. Blaszkowski, P. Mleczko, 2010. Arbuscular mycorrhizal and dark septate endophyte associations of medicinal plants. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*. 80:285-292.