



Acta Botanica  
Mexicana

## *Glomus nanolumen* (Glomeraceae), un hongo micorrízico arbuscular en México

### *Glomus nanolumen* (Glomeraceae), an arbuscular mycorrhizal fungi in Mexico

Reyna P. Hipólito-Piedras<sup>1</sup>, Heriberto Méndez-Cortés<sup>2,4</sup>, Hugo M. Ramírez-Tobías<sup>2</sup>, Víctor Olalde-Portugal<sup>3</sup>

#### Resumen:

**Antecedentes y Objetivos:** México se distingue por ser un país megadiverso, resultado de su amplia gama de ecosistemas y de la diversidad de especies vegetales presentes que incluyen numerosas especies endémicas, que albergan un reservorio significativo de hongos micorrízicos arbusculares (HMA). Sin embargo, es necesario un esfuerzo de búsqueda constante para la identificación y el registro de especies de HMA aún no descritas en el territorio nacional. El presente estudio tuvo como objetivo contribuir al conocimiento de los HMA en México, con el registro de *Glomus nanolumen* descrita de dunas de Hawái, y en México se encontró en bosque tropical caducifolio.

**Métodos:** De muestras de suelo recolectado en bosque tropical caducifolio, del estado de Guanajuato, se aislaron esporas de HMA a través de una centrifugación de agua y sacarosa, las cuales se montaron en laminillas semipermanentes. La identificación taxonómica se realizó con base en las características morfológicas de las esporas, en la revisión de la descripción original de la especie, y de portales en línea especializados en HMA.

**Resultados clave:** Se registró la especie *Glomus nanolumen* por primera vez en México, asociada a un bosque tropical caducifolio; la especie se caracteriza por los esporocarpos de hasta 40 esporas ovoides, irregulares o elipsoidales; la estructura de la pared de la espóra está compuesta por dos capas hialinas, tornándose amarillas pálidas, la capa externa tiene un grosor de menos de 1 µm, mientras que la capa interna es rígida y puede llegar a medir hasta 10 µm de grosor, ambas capas sin reacción en reactivo de Melzer. Se presenta su descripción y comentarios taxonómicos.

**Conclusiones:** Con el registro de *G. nanolumen* se documenta la presencia de 48% de especies de *Glomus* en el país, de entre las 55 especies descritas a nivel mundial. Con esta aportación se tiene un total de 163 especies de HMA en México.

**Palabras clave:** bosque tropical caducifolio, Glomeromycota, Guanajuato, micorriza arbuscular.

#### Abstract:

**Background and Aims:** Mexico stands out as a megadiverse country, because of its wide range of ecosystems and the diversity of plant species present, including numerous endemic species, which harbor a significant reservoir of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF); however, a constant search effort is necessary for the identification and registration of AMF species not yet described in the national territory. The present study aimed to contribute to the knowledge of AMF in Mexico, with the record of *Glomus nanolumen* described from Hawaiian dunes, and in Mexico it was found in tropical deciduous forest.

**Methods:** AMF spores were isolated from soil samples collected in tropical deciduous forest, in the state of Guanajuato, by water and sucrose centrifugation and mounted on semi-permanent slides. Taxonomic identification was performed based on the morphological characteristics of the spores, the review of the original description of the species, and online portals specialized in AMF.

**Key results:** The species *Glomus nanolumen* was recorded for the first time in Mexico, associated with a tropical deciduous forest; the species is characterized by sporocarps of up to 40 ovoid, irregular or ellipsoidal spores; the structure of the spore wall is composed of two hyaline layers, turning pale yellow, the outer layer has a thickness of less than 1 µm, while the inner layer is rigid and can measure up to 10 µm thick, both layers without reaction in Melzer's reagent. Its description and taxonomic comments are presented.

**Conclusion:** With the record of *G. nanolumen*, the presence of 48% of *Glomus* species in the country is documented, among the 55 species described worldwide. With this contribution we have a total of 163 species of AMF in Mexico.

**Key words:** arbuscular mycorrhiza, Glomeromycota, Guanajuato, tropical deciduous forest.

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Agronomía y Veterinaria, Programa de Doctorado en Ciencias Agropecuarias, Carretera San Luis Potosí-Matehuala km 14.5, Soledad de Graciano Sánchez, San Luis Potosí, México.

<sup>2</sup>Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Agronomía y Veterinaria, Carretera San Luis Potosí-Matehuala km 14.5, Soledad de Graciano Sánchez, San Luis Potosí, México.

<sup>3</sup>Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN-Unidad Irapuato, Departamento de Biotecnología y Bioquímica, Irapuato, Guanajuato, México.

<sup>4</sup>Autor para la correspondencia: [heriberto.mendez@uaslp.mx](mailto:heriberto.mendez@uaslp.mx)

Recibido: 13 de junio de 2023.

Revisado: 8 de agosto de 2023.

Aceptado por Víctor Bandala Muñoz: 6 de mayo de 2024.

Publicado Primero en línea: 8 de mayo de 2024.

Publicado: Acta Botanica Mexicana 131(2024).

Citar como: Hipólito-Piedras, R. P., H. Méndez-Cortés, H. M. Ramírez-Tobías y V. Olalde-Portugal. 2024. *Glomus nanolumen*, un hongo micorrízico arbuscular en México. Acta Botanica Mexicana 131(2024): e2226. DOI: <https://doi.org/10.21829/abm131.2024.2226>



Este es un artículo de acceso abierto bajo la licencia Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional).

e-ISSN: 2448-7589

## Introducción

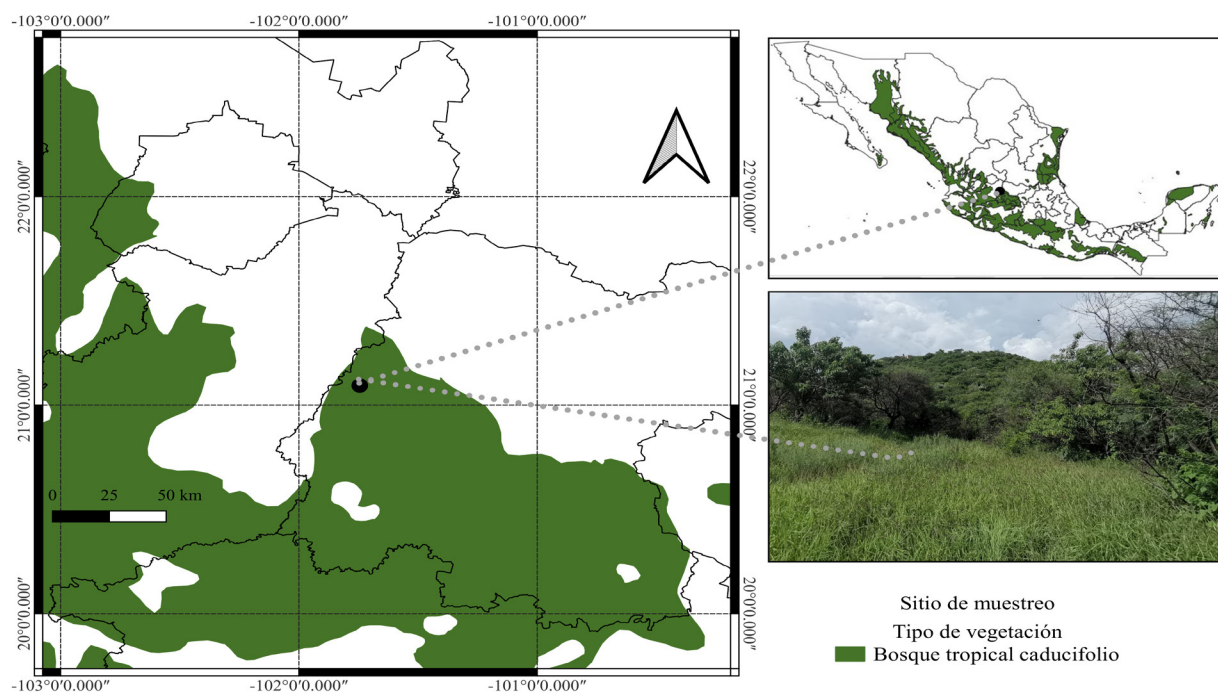
La simbiosis micorrízica arbuscular es aquella asociación que establecen los hongos glomeromicetos con plantas vasculares de la mayoría de las familias botánicas mediante la colonización intraradical de la corteza de la raíz por medio de estructuras especializadas (Delavaux et al., 2019). La importancia de los Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) en los ecosistemas radica en la tolerancia al estrés abiótico que promueven en las plantas (Begum et al., 2019), dada su capacidad de incrementar la absorción de agua y nutrientes, entre otros efectos (Zhang et al., 2020). Actualmente se tiene el registro de 346 especies de HMA a nivel mundial, de las cuales 56 pertenecen al género *Glomus* Tul. & C. Tul. (Schüßler, 2023). En México se han reportado 162 especies de HMA (Polo-Marcial et al., 2021, 2022; Chimal-Sánchez et al., 2021), de las cuales 46% de las especies pertenecen al género *Glomus* (Polo-Marcial et al., 2021). Considerando la posición geográfica del país, la variedad de ecosistemas y las especies vegetales, hipotéticamente se esperaría un reservorio importante de HMA en el país interactuando con especies vegetales (Montaño et al., 2012).

En cuanto a la diversidad de HMA y fitobiontes con los que se asocian en México, el bosque tropical

caducifolio es una de las comunidades vegetales que junto con algunos sistemas agrícolas han sido mayormente investigados (Montaño et al., 2012). A la fecha se han documentado 53 especies de HMA en los bosques tropicales del país, lo cual representa 33% de la diversidad total de HMA presente en México (Polo-Marcial et al., 2021). Sin embargo, se recomienda la constante exploración en vegetaciones naturales con el fin de seguir documentando la riqueza de HMA e incrementar los estudios taxonómicos a fin de generar un mayor conocimiento biológico de la simbiosis micorrízica en el país (Chimal-Sánchez et al., 2016). Por ello, la presente investigación tuvo como objetivo contribuir al conocimiento de la riqueza taxonómica de HMA en México, a través del registro y descripción de *Glomus nanolumen* Koske & Gemma encontrada en muestras de suelo procedentes de un bosque tropical caducifolio del estado de Guanajuato, México.

## Materiales y Métodos

El área de estudio (Fig. 1) corresponde a un bosque tropical caducifolio, ubicado en el municipio León, Guanajuato, México, en las coordenadas 21°05'38.0"N, 101°44'40.0"W a 1830 m s.n.m. El clima es semicálido con temperatura



**Figura 1:** Bosque tropical caducifolio (CONABIO, 2018) y área de estudio en el municipio León, Guanajuato, México. Mapa elaborado a partir de verificación en campo.

media anual de 18 °C y precipitación media anual de 650 mm (CONAGUA, 2023); el suelo corresponde a un Pelic Vertisol de acuerdo con la clasificación de la International Union of Soil Sciences (IUSS) Working Group WRB (WRB, 2015). La vegetación corresponde a un bosque tropical caducifolio, con mayor presencia de *Ipomoea arborescens* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) G. Don., *Mimosa monanctra* Benth. e *Isolatocereus dumortieri* (Scheidw.) Backeb.

El muestreo de suelo para recolectar esporas se realizó en la época de lluvias de agosto de 2021 en una ladera con orientación en barlovento. Se estableció un transecto de 1 km con dirección al norte sobre la pendiente. Ahí, cada 200 m se tomó una submuestra de suelo a una profundidad de 0-30 cm, para así generar una muestra compuesta. La caracterización del suelo se realizó mediante la metodología de la NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002). El suelo presenta una textura franca arenosa, con un pH neutro (7.1), fuertemente salino (8.4 mS cm<sup>-1</sup>), materia orgánica alta (4.7%), nitrógeno inorgánico bajo (5.9 kg ha<sup>-1</sup>), fósforo extraíble alto (255 kg ha<sup>-1</sup>) y potasio alto (2891 kg ha<sup>-1</sup>).

La extracción de esporas de HMA se realizó por el método de tamizado húmedo y decantación (Gerdermann y Nicolson, 1963), seguido de una centrifugación (centrifuga C-40 SOL-BAT, Puebla, México) de sacarosa con agua al 70% a 2000 rpm (Daniels y Skipper, 1982). Las esporas se montaron en preparaciones semi-permanentes con alcohol polivinílico-lacto-glicerol (PVLG) y PVLG + reactivo de Melzer (INVAM, 2013).

La identificación se basó en las características morfológicas de las esporas como lo sugieren Walker (1983) y Morton (1988). Se registraron el tamaño de las esporas y las características de su pared incluida su reacción con Melzer, así como la hifa de sostén. Todo se observó bajo un microscopio óptico Zeiss Primo Star (Jena, Alemania) con iluminación fija Koehler. Las mediciones de las características de las esporas se realizaron en fotografías tomadas con el software de microscopía ZEN blue v. 3.4 (Zeiss, 2021). Lo anterior, usando la escala calibrada en objetivos 40× y 100×. La descripción de la estructura de la espora sigue la metodología de Koske y Gemma (1989), y su coloración se determinó mediante la carta de colores de Kornerup y Wanscher (1983).

Los resultados obtenidos del material mexicano estudiado se contrastaron con la descripción original de la especie, y con descripciones de las especies de Glomeromycota conocidas para el género, que están disponibles en el sitio de Phylogeny Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF, 2023) y Taxonomy of Arbuscular Fungi (Blaszkowski, 2003). Preparaciones fijas de las esporas del material estudiado fueron depositadas como referencia en el herbario SLPM (Thiers, 2024) del Instituto de Zonas Áridas, de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México.

## Resultados

### Taxonomía

#### Glomeromycota

#### Glomeromycetes

#### Glomerales

#### Glomeraceae

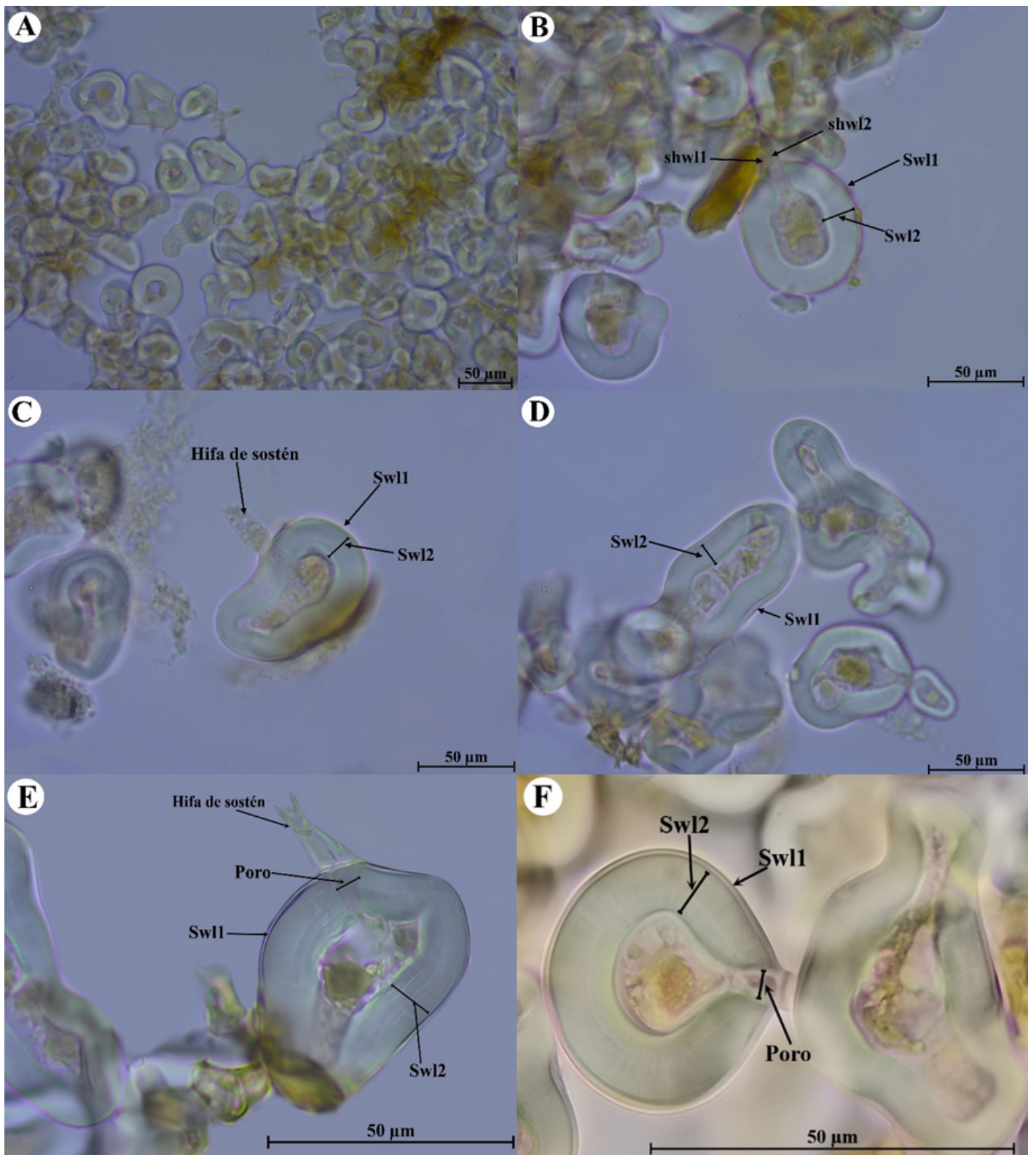
***Glomus nanolumen*** Koske & Gemma, Mycologia 81(6): 935 (1989). Fig. 2.

TIPO: HAWÁI. Dunas calcáreas del parque estatal Polihale de Kauai, entre raíces de *Scaevola sericea*, 24.XI.1987, KG 649 (holotipo: OSC). Mycobank: 125543.

Esporocarpos 90-250 µm de diámetro (Fig. 2A, B), esporas ovoides o irregulares, hialinas o, blanco amarillentas (1A2) a amarillo pálidas (4A3), (15-) 33(-54) µm de diámetro; en esporas elipsoidales tamaño promedio de 26.8 × 67.3µm (Fig. 2D); pared esporal (Swl) de dos capas (Swl1-2; Fig. 2B-F); la capa 1 (Swl1) forma la superficie de la espora y su color varía de hialina a amarillo pálido, (0.5-)0.7(-1.6) µm de grosor; la capa 2 (Swl2) es laminada, hialina, (3.7-)6.0(-14) µm de grosor; en determinadas regiones de la pared puede diferir el grosor en 2-3 veces su tamaño llegando a medir hasta 20 µm; la pared es difícil de romper al aplicar presión, sin embargo, con frecuencia se agrieta o logran aparecer líneas de fractura; ambas capas no reaccionan al reactivo de Melzer; la hifa de sostén es







**Figura 2:** Estructura subcelular de *Glomus nanolumen* Koske & Gemma. A. esporas en esporocarpio (40×); B. esporas con restos de esporocarpio, paredes de la capa externa de la spora (Swl1-2), capas externas de la hifa de sostén (shwl1-2) (100×); C. capas externas de la pared de la spora (Swl1-2) e hifa de sostén (100×); D. capas externas de la pared de la spora con forma tipo elipsoidal irregular (Swl1-2) (100×); E. capas externas de la pared (Swl1-2), hifa de sostén y poro de la spora (100×); F. capas externas de la pared de la spora (Swl1-2) y poro de la spora (100×).

hialina tornándose a blanco amarillenta, puede ser recta o de forma acampanada (Fig. 2B, C, E), (7.5-)11.5(-17)  $\mu\text{m}$  de ancho en la base de la espora; la pared (shw) es hialina a blanco amarillenta, con probabilidad de tener dos capas (shw1 y shw2; Fig. 2B), ambas continuas con Swl1 y Swl2 en la base de la espora; el poro (1.7-)3.2(-4.3)  $\mu\text{m}$  de diámetro en la base de la espora (Fig. 2E, F).

Hábitat y distribución: *Glomus nanolumen* fue descrita de Hawái, asociada a vegetación de dunas calcáreas (Koske y Gemma, 1989; 1996). Se ha registrado en suelos pantanosos en la India (D'Souza y Rodrigues, 2013; Shekhar y Basu, 2017), bosques ribereños de Irán (Moradi Behbahani et al., 2017) y diversas áreas en Brasil (Stürmer y Siqueira, 2011; de Assis et al., 2018; Caproni et al., 2018). En México se registra en bosque tropical caducifolio.

Material examinado: MÉXICO. León, Guanajuato, 21°05'38.0"N, 101°44'40.0"W, 1788 m s.n.m., 20.VII.2021, Hipólito-Piedras s.n., CH-SLPM-183 (SLPM).

## Discusión

El espécimen estudiado de *Glomus nanolumen* se encuentra entre la variación morfológica descrita por Koske y Gemma (1989). Estos autores describieron por vez primera la especie de dunas calcáreas de Kauai, Hawái, asociada a las raíces de *Scaevola sericea* Vahl. e *Ipomoea stolonifera* (Cirillo) J. F. Gmel. Posteriormente *G. nanolumen* se registró en el parque estatal de Polihale en dunas de Kauai, Hawái (Koske y Gemma, 1996).

Fuera de la isla de Hawái, *G. nanolumen* se reportó en el continente asiático en suelos pantanosos del río Terekhol en la India, con presencia de especies de *Acanthus ilicifolius* L., *Excoecaria agallocha* L. y *Rhizophora mucronata* Poir. (D'Souza y Rodrigues, 2013), y en Allahabad, India, colonizando a la planta ornamental *Calendula officinalis* L. (Shekhar y Basu, 2017). En Irán se registró la presencia de *G. nanolumen* en un bosque ribereño en el río Maroon en Behbahan, en el que se observó asociado a *Populus euphratica* Olivier (Moradi Behbahani et al., 2017). En América se registró en la región amazónica, en un suelo dedicado a la agroforestería en el municipio

Bejamin Constant, Amazonas, Brasil (Stürmer y Siqueira, 2011), además en un bosque húmedo tropical en Chapada do Araripe, Ceará, Brasil (de Assis et al., 2018) y en zonas degradadas por minería en territorio amazónico ubicado en Porto Trombetas, Pará, Brasil (Caproni et al., 2018). Nuestro registro corresponde al primero de la especie en México.

En cuanto a los esporocarpos, *Glomus nanolumen* es similar a *G. cerebriforme* McGee, *Rhizophagus prolifer* (Dalpé & Declerck) C. Walker & A. Schüßler, *Rhizoglossum fasciculatum* (Thaxt.) Sieverd., G.A. Silva & Oehl y *Rhizoglossum microaggregatum* (Koske, Gemma & P.D. Olexia) Sieverd., G.A. Silva & Oehl. Todas carecen de peridio y mantienen la coloración hialina a blanco amarillenta. Sin embargo, *G. cerebriforme* y *R. microaggregatum* desarrollan dos capas hialinas flexibles que no superan 2 y 4  $\mu\text{m}$  de grosor, respectivamente, en tanto que *G. nanolumen* tiene dos capas de más de 10  $\mu\text{m}$  que además del grosor y la rigidez de la capa swl2, que le otorga una peculiaridad de no quebrarse en láminas como otras especies del género *Glomus*, se agrieta o bien aparecen fracturas radiales en regiones de la pared esporal. *Rhizoglossum fasciculatum* presenta tres capas en donde la capa media reacciona al reactivo Melzer, contrario a *G. nanolumen* que presenta dos capas que no reaccionan con este reactivo. La particularidad de esporas irregulares y ovoides de *G. nanolumen* es similar a *Rhizoglossum custos* (C. Cano & Dalpé) Sieverd., G. A. Silva & Oehl; no obstante, las esporas de *R. custos* desarrollan cuatro paredes delgadas, mientras que *G. nanolumen* solo presenta dos paredes.

El último registro en México de una especie perteneciente al género *Glomus* fue *G. trufemii* B. T. Goto, G. A. Silva & Oehl, encontrado en una sabana tropical (Álvarez-Lopezello et al., 2018), por lo cual la presente investigación con el registro de *G. nanolumen* incrementa a 163 la riqueza total de especies de HMA en México que corresponde a 48% de las 56 especies del género *Glomus* descritas mundialmente.

## Contribución de autores

RPHP y HMC conceptualizaron la idea original. RPHP colectó las muestras de suelo en campo, y realizó la extracción y montaje de esporas. RPHP y HMC se encargaron de la



identificación taxonómica y tomaron las fotografías. RPHP realizó la lustración de leyendas de imágenes y preparó el manuscrito. HMC, HMRT y VOP revisaron, editaron y aprobaron el manuscrito final.

## Financiamiento

Este estudio recibió apoyo financiero de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP), así como de la beca 775694 a RPHP otorgada por el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) para sus estudios de posgrado.

## Agradecimientos

A los revisores y editores por sus comentarios y correcciones para la mejora de la información del manuscrito.

## Literatura citada

- Álvarez-Lopezello, J., L. V. Hernández-Cuevas, R. F. del Castillo y C. Robles. 2018. Second world record of *Glomus trufemii* (Glomeromycota: Fungi), an arbuscular mycorrhizal fungus from a Mexican savanna. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 89(1): 298-300. DOI: <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2018.1.2101>
- AMF. 2023. Phylogeny-Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) <http://www.amf-phylogeny.com/> (consultado agosto, 2023).
- Begum, N., C. Qin, M. A. Ahanger, S. Raza, M. I. Khan, M. Ashraf, N. Ahmed y L. Zhang. 2019. Role of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Plant Growth Regulation: Implications in Abiotic Stress Tolerance. *Frontiers in Plant Science* 10: 1068. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01068>
- Blaszkowski, J. 2003. Arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota), Endogone, and Complexipes species. Department of Plant Pathology, University of Agriculture. Szczecin, Poland. <https://www.zor.zut.edu.pl/Glomeromycota/Glomus%20nanolumen.html> (consultado agosto, 2023).
- Caproni, A. L., J. R. D. Oliveira Granha, A. J. Fornaciari, C. P. Nobre, L. P. Mendonça y R. L. Louro Berbara. 2018. Diversity of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in an Amazon Environment after Mining. *Floresta e Ambiente* 25(3): e20150224. DOI: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.022415>
- Chimal-Sánchez, E., N. M. Montaña, S. L. Camargo-Ricalde, R. García-Sánchez y S. L. Hernández-Cuevas. 2016. Nuevos registros de hongos micorrizógenos arbusculares para México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 87(1): 242-247. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.01.024>
- Chimal-Sánchez, E., I. Reyes-Jaramillo, S. L. Camargo-Ricalde, L. Varela, J. Y. Salmerón-Castro y N. M. Montaña. 2021. *Racocetra cromosomica* sp. nov. from Oaxaca, Mexico. *Mycotaxon* 136(3): 615-626. DOI: <https://doi.org/10.5248/136.615>
- CONABIO. 2018. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB). Registros de ejemplares, ver. 2017-12. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/> (consultado agosto, 2023).
- CONAGUA. 2023. Resúmenes mensuales de temperaturas y lluvias. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Cd. Mex., México. <https://smn.conagua.gob.mx/> (consultado agosto, 2023).
- Daniels, B. A. y H. A. 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 Phytopathology Society. St Paul, USA. pp. 29-37.
- de Assis, D. M. A., M. A. Correia de Melo, D. K. Alves da Silva, F. Oehl y G. Alves da Silva. 2018. Assemblages of arbuscular mycorrhizal fungi in tropical humid and dry forests in the Northeast of Brazil. *Botany* 96(12): 859-871. DOI: <http://dx.doi.org/10.1139/cjb-2018-0068>
- Delavaux, C. S., P. Weigelt, W. Dawson, J. Duchicela, F. Essl, M. van Kleunen, C. König, J. Pögl, P. Pyšek, A. Stein, M. Winter, P. Schultz, H. Kreft y J. D. Bever. 2019. Mycorrhizal fungi influence global plant biogeography. *Nature Ecology & Evolution* 3: 424-429. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41559-019-0823-4>
- D'Souza, J. y B. F. Rodrigues. 2013. Seasonal Diversity of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Mangroves of Goa, India. *International Journal of Biodiversity* 2013: 196527. DOI: <https://doi.org/10.1155/2013/196527>
- Gerdemann, J. W. y T. H. Nicolson. 1963. Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological Society*





- 46(2): 235-244. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(63\)80079-0](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(63)80079-0)
- INVAM. 2013. The International Culture Collection of Vesicular Arbuscular Mycorrhizal Fungi (INVAM). <https://invam.ku.edu/> (consultado febrero, 2023).
- WRB. 2015. Base referencial mundial del recurso suelo 2014, actualización 2015. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. Informes sobre recursos mundiales de suelos 106. International Union of Soil Sciences (IUSS) Working Group WRB, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Roma, Italia.
- Kornerup, A. y J. H. Wanscher. 1983. Methuen Handbook of Colour. 3rd ed. Eyre Methuen. North Yorkshire, UK. 252 pp.
- Koske, R. E. y J. N. Gemma. 1989. *Glomus nanolumen* (Endogonaceae), a new species from Hawaii. *Mycologia* 81(6): 935-938. DOI: <https://doi.org/10.2307/3760114>
- Koske, R. E. y J. N. Gemma. 1996. Arbuscular mycorrhizal fungi in Hawaiian sand dunes: Island of Kaua'i. *Pacific Science* 50: 36-45.
- Montaño, N. M., A. Alarcón, S. L. Camargo-Ricalde, L. V. Hernández-Cuevas, J. Álvarez-Sánchez, M. D. C. A. González-Chávez, M. E. Gavito, I. Sánchez-Gallen, J. Ramos-Zapata, P. Guadarrama, I. E. Maldonado-Mendoza, S. Castillo-Argüero, R. García-Sánchez, D. Trejo y R. Ferrera-Cerrato. 2012. Research on arbuscular mycorrhizae in Mexico: An historical synthesis and future prospects. *Symbiosis* 57(3): 111-126. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13199-012-0184-0>
- Moradi Behbahani, S., M. Moradi, R. Basiri y J. Mirzaei. 2017. Sand mining disturbances and their effects on the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in a riparian forest of Iran. *Journal of Arid Land* 9(6): 837-849. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40333-017-0028-0>
- Morton, J. B. 1988. Taxonomy of VA mycorrhizal fungi: classification, nomenclature, and identification. *Mycotaxon* 32: 267-324.
- Polo-Marcial, M. H., L. A. Lara-Pérez, B. T. Goto, X. Margarito-Vista y A. Andrade-Torres. 2021. Glomeromycota in Mexico, a country with very high richness. *Sydowia* 74: 33-63. DOI: <https://doi.org/10.12905/0380.sydowia74-2021-0033>
- Polo-Marcial, H. M., L. A. Lara-Pérez, B. T. Goto, J. C. Noa-Carranza, F. Díaz-Fleischer y A. Andrade-Torres. 2022. Tropical deciduous species under different land use retain a high glomerospores diversity and arbuscular and septate endophyte colonization. *Nova Hedwigia* 115: 487-517. DOI: [https://doi.org/10.1127/nova\\_hedwigia/2022/0723](https://doi.org/10.1127/nova_hedwigia/2022/0723)
- Schüßler, A. 2023. Glomeromycota: species list. <http://www.amf-phylogeny.com/> (consultado abril, 2023).
- SEMARNAT. 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Diario Oficial de la Federación. Cd. Mx., México. <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69255.pdf>
- Shekhar, M. y M. Basu. 2017. Biodiversity of *Glomus* species in the Rhizosphere of Some Ornamental Plants of Family Asteraceae. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 6(11): 2603-2609. DOI: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.611.305>
- Stürmer, S. L. y J. O. Siqueira. 2011. Species richness and spore abundance of arbuscular mycorrhizal fungi across distinct land uses in Western Brazilian Amazon. *Mycorrhiza* 21: 255-267. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00572-010-0330-6>
- Thiers, B. 2024. Index Herbariorum: A global directory of public herbaria and associated staff. New York Botanical Garden's Virtual Herbarium. New York, USA. <http://sweetgum.nybg.org/science/ih/> (consultado febrero, 2024).
- Walker, C. 1983. Taxonomic concepts in the Endogonaceae: spore wall characteristics in species descriptions. *Mycotaxon* 18: 443-455.
- Zeiss, C. 2021. Software de microscopía ZEN blue ver. 3.4, versión lite, Jena, Alemania. <https://www.zeiss.com/microscopy/es/productos/software/zeiss-zen.html> (consultado enero, 2023).
- Zhang, S., X. Guo, W. Yun, Y. Xia, Z. You y M. C. Rillig. 2020. Arbuscular mycorrhiza contributes to the control of phosphorus loss in paddy fields. *Plant and Soil* 447: 623-636. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04394-2>

