

Micorrizas arbusculares de la Amazonia colombiana

Catálogo ilustrado

Clara Patricia Peña-Venegas
Gladys Inés Cardona Vanegas
Augusto Mazorra Valderrama
Jorge Humberto Arguellez Cárdenas
Adriana Lucia Arcos Dorado
Investigadores

Luz Marina Mantilla Cárdenas
Directora General

Rosario Piñeres Vergara
Subdirectora Administrativa y Financiera

Publicación del
Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas - SINCHI

Cítese: Peña-Venegas C. P., Cardona G. I., Mazonra A., Arguellez J. H., Arcos A. L. Micorrizas arbusculares de la amazonia colombiana. Catalogo Ilustrado. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, 2006.

90 páginas.

ISBN:

1. Micorrizas arbusculares 2. Amazonia 3. Simbiosis 4. Descripción 5. Distribución

© Derechos reservados

Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas, SINCHI

Primera edición: Junio de 2006

Reservados todos los derechos.

Esta publicación no podrá ser reproducida en forma alguna, total o parcialmente, sin la autorización escrita del Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.

Investigación y edición

Clara Patricia Peña Venegas MSc

Gladys Inés Cardona Vanegas MSc

Augusto Mazonra Valderrama

Colaboradores

Jorge Humberto Arguellez Cárdenas MSc

(Análisis estadísticos base de datos HMA)

Adriana Lucía Arcos Dorado

(Muestreo y aislamiento esporas HMA)

Fotografías

Clara Patricia Peña Venegas

Gladys Inés Cardona Vanegas

Adriana Lucía Arcos Dorado

Ilustraciones

Clara Patricia Peña Venegas

Mapas

Augusto Mazonra Valderrama

Clara Patricia Peña Venegas

Diseño y diagramación

Julián R. Hernández

gothsimagenes@yahoo.es

Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI

Sede principal: Avenida Vasquez Cobo Calle 15 y 16 Leticia, Amazonas Colombia

Sede de enlace: Calle 20 No. 5-44 Bogotá D. C., Colombia

www.sinchi.org.co

Impreso en Colombia por XX

Agradecimientos

A Luz Marina Mantilla Cárdenas, directora general del Instituto Sinchi por su confianza y apoyo para realizar el trabajo. De manera muy especial agradecemos a Gisela Cuenca, investigadora experta en micorrizas arbusculares del Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas IVIC, Centro de Ecología, por su asesoría en la determinación de las especies, por sus comentarios y correcciones al manuscrito.

A los investigadores del Instituto Sinchi e investigadores asociados que participaron de los diferentes proyectos (Anexo 1), quienes compartieron información generada en sus proyectos relacionada con las muestras de suelos, pertinente al estudio de las micorrizas arbusculares, y en algunas ocasiones apoyaron muestreos en zonas antes no estudiadas

A Adriana Arcos por su apoyo en el muestreo y la separación de morfotipos. A Jorge Arguelles por su apoyo en el análisis estadístico de los datos de la base de micorrizas arbusculares del Instituto. A Esperanza Torres por sus comentarios al documento. A Eugenia Guayamba por su colaboración como auxiliar de laboratorio en el manejo, almacenamiento y apoyo en el procesamiento de las rizosferas estudiadas, al igual que en el mantenimiento de la colección de rizosferas. A Diana Mora por su contribución en el diseño y estilo del documento final.

Agradecemos finalmente al Estado Colombiano quien hizo posible el desarrollo de este trabajo al otorgar los recursos necesarios al Ministerio del Medio Ambiente y luego Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial para el proyecto BPIN **"Mantenimiento de la fertilidad del suelo y generación de tecnologías para la recuperación de áreas degradadas en la Amazonia Colombiana"** a través del cual se realizó toda la investigación de este grupo de microorganismos en la Amazonia colombiana y que soporta esta publicación.

Introducción

La taxonomía de los Glomales, al igual que la de muchos otros grupos de hongos, se ha basado en el estudio de las características morfológicas (color, forma, tamaño) de sus estructuras de reproducción, lo cual ha permitido agrupar, muchas veces de forma artificial, los diferentes hongos de la naturaleza. Para el caso concreto de los hongos formadores de micorrizas arbusculares, no existen claves actualizadas o completas que permitan identificar claramente los organismos colectados en la naturaleza. Es aún mas difícil esta tarea si se trabaja en zonas altamente diversas y poco estudiadas como la Amazonia.

Las herramientas moleculares, como un método para corroborar o eliminar individuos entre los grupos, es una de las metodologías que día por día tiende a ser mas empleada en el estudio taxonómico de los hongos, incluyendo los Glomales. Sin embargo, la implementación de las técnicas requiere de una infraestructura con la que no todos los laboratorios pueden contar, mas aquellos localizados en regiones como la Amazonia, en donde existen limitaciones de servicios básicos y un clima adverso que desestimulan una inversión en costosos equipos.

Es así como en estos lugares el uso de las características morfológicas, sigue siendo una herramienta adecuada y accesible para hacer determinaciones taxonómicas en un primer nivel de este grupo de hongos. Sin embargo, cuando estas herramientas son insuficientes para hacer confirmaciones sobre uno u otro género o especie, será necesario realizar estudios moleculares. Estas técnicas son además las mas adecuadas para realizar estudios filogenéticos y ecológicos.

La determinación de especies de Glomales requiere de cierto grado de entrenamiento, para lo cual no todos los investigadores están preparados. La limitación en claves y literatura especializada que ayude sin mucha dificultad a establecer la especie de un hongo formador de micorriza arbuscular, hace que muchos de los trabajos limiten sus determinaciones a género o que determinen incorrectamente las especies.

A lo largo de nueve años de trabajo se ha podido encontrar una serie de morfotipos de esporas de Glomales, que no solo son difíciles de determinar sino que no coinciden con las descripciones de especies reportadas en guías, libros o artículos científicos. Fue grato encontrar que estas dificultades no eran solo nuestras, sino que eran compartidas por otros micorrizólogos que trabajan con suelos del trópico. Por ello se de-

cidió elaborar este catálogo, con el ánimo de ayudar a otros investigadores a homologar o diferenciar especies de hongos formadores de micorriza arbuscular colectados en la región amazónica colombiana, por comparación con los aquí descritos.

El catálogo es el resultado de un trabajo de mas de tres años y mas de 400 muestras revisadas, en el cual hemos descrito aquellos morfotipos que frecuentemente aparecen en suelos de la Amazonia colombiana. Hemos incluido además de las descripciones, mapas de distribución, plantas hospederas, coberturas asociadas, y tipos de suelo comúnmente asociados a los morfotipos, a partir del uso de información recogida en campo y que hacen parte de una base de datos que el Instituto Sinchi posee. La conjunción de todas estas variables relacionadas, pueden ser una herramienta útil para identificar correctamente un morfotipo, ampliar el conocimiento de este grupo de hongos, fomentar la investigación en el tema y promover el uso de este recurso.

El catálogo es entonces un documento de consulta que pretende facilitar la labor investigativa de los interesados en estudiar esta simbiosis en la Amazonia colombiana. Se espera que este documento pueda ser periódicamente actualizado a partir de nuevas investigaciones sobre el tema y contribuciones que otras entidades e investigadores quieran aportar.

La elaboración cartográfica e interpretación temática que el Instituto desarrolló para el catálogo tiene como fuente cartográfica las planchas del Instituto Geográfico "Agustín Codazzi"- IGAC, Proyecto Radargramétrico del Amazonas PRORADAM (1979), planchas No. 5-15, 5-16, 5-18, 5-19, 5-22, 5-23, 5-24, 5-25 y 5-26, Mapa a escala 1:500.000, correspondientes a la División Político Administrativa de Colombia(2001) Mapa a escala 1:2.000.000. Esferoide Internacional de Hayford 1924, Proyección Conforme de Gaûs Colombia, Origen Zona 3, con coordenadas geográficas 4° 35' 56.57 Latitud N, 70° 04' 51.30 Longitud W (Datum Observatorio Astronómico de Bogota).

Los Glomales

Los Glomales abarcan el grupo de hongos capaces de desarrollar la simbiosis micorriza arbuscular en las raíces de las plantas. Inicialmente fueron clasificados como Endogonales (phylum Zygomycota). Su clasificación más reciente basada en el análisis molecular de las secuencias SSU del ARNr, indican que los Glomales tienen un origen monofilético y comparten ancestros con Basidiomycota y Ascomycota pero no con Zygomycota, por lo que son considerados dentro de un nuevo phylum denominándose Glomeromycota (Schüßler *et al.*, 2001).

La reclasificación de este grupo de hongos a partir del análisis de SSU ARNr indica la existencia de dos subordenes: Glomineae y Gigasporaceae. Dentro del suborden Glomineae se ubican las familias Glomaceae con un único género *Glomus*, Acaulosporaceae con dos géneros *Acaulospora* y *Entrophospora*, Archaeosporaceae con el género *Archaeospora*, y Paraglomaceae con el género *Paraglomus*. Estas dos últimas familias con ancestros más remotos. El suborden Gigasporaceae abarca una única familia, denominada con el mismo nombre, que contiene dos géneros *Gigaspora* y *Scutellospora*, caracterizados por no formar vesículas intraradicales en la planta huésped. A cambio de ello, forma células auxiliares externas que al parecer cumplen la misma función de las vesículas.

El género *Glomus* es el más numeroso. El análisis molecular de la subunidad ribosomal SSU ARNr al interior del género (Schwarzott *et al.*, 2001), indican que existen tres subgrupos de *Glomus* así: El grupo A que comprende a *G. geosporum*, *G. mosseae*, *G. fragilistratum*, *G. caledonium*, *G. verrucosum*, y *G. coronatum* como especies muy relacionadas entre sí, y las especies *G. intraradices*, *G. fasciculatum*, *G. proliferum*, *G. coremoides*, *G. sinuosum*, *G. vesiculiferum*, y *G. clarum* como especies estrechamente relacionadas entre sí. El grupo B comprende las especies *G. claroideum*, *G. lamellosum*, *G. etunicatum*, *G. viscosum*, y *G. luteum*. *Glomus manihotis* aparece conformando tanto el grupo A como el grupo B, dependiendo la cepa evaluada. El grupo C estaría conformado por las especies *G. spurcum*, *G. versiforme* y algunas cepas de *G. etunicatum*, que estarían más relacionadas con la familia Acaulosporaceae, a pesar de no presentar características de esta última familia.

Como se observa, el género *Glomus* es el que presenta mayores interrogantes en su filogenia y taxonomía, lo cual indica el enorme campo de investigación que aún existe alrededor del género.

Metodología

Fase de campo:

La colecta de muestras para el estudio de los hongos formadores de micorrizas arbusculares de la Amazonia colombiana, se realizó de dos formas: Una, a partir de la programación sistemática de muestreos en zonas de interés, y otra, aprovechando las salidas de campo programadas por diversos proyectos que el Instituto Sinchi realiza en la región, para coleccionar muestras de suelos.

En cada lugar visitado, se tomaron las coordenadas geográficas correspondientes con ayuda de un GPS. Se realizó una descripción breve del lugar (ubicación, tipo de cobertura) y se tomó una muestra compuesta de 500 gramos de suelo rizosférico. Las muestras de suelo fueron transportadas y almacenadas bajo refrigeración hasta el laboratorio en Bogotá o en alguna de las sedes del Instituto Sinchi mas cercana al punto de muestreo.

En algunos casos se tomaron muestras de raíces de plantas de interés, para verificar la presencia de la simbiosis. En este caso se coleccionó un número suficiente de raíces finas de diferentes partes de la planta, las cuales se transportaron en bolsas de papel, junto con las muestras de suelo hasta el laboratorio.

Es importante anotar que la mayoría de las muestras evaluadas se coleccionaron en suelos de llanuras aluviales de ríos de origen andino o amazónico, dado que los ríos son las vías principales de desplazamiento en la región (Figura 1). Por eso es posible que el catálogo no recoja el total de la riqueza de hongos Glomales de la región, y represente mejor la composición micorrítica de algunas unidades de paisaje que otras. Por ello, se incluyeron las referencias de otros trabajos en el momento de evaluar la riqueza de especies de la región, para así complementar la información del actual documento.

Fase de Laboratorio:

La mitad de cada una de las muestras (250g aproximadamente) fue enviada al Laboratorio de Suelos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá-Colombia para realizar los respectivos análisis fisicoquímicos. El análisis de las muestras incluyó textura, acidez (pH en agua 1:1), capacidad de intercambio catiónico (usando acetato de amonio normal y neutro para su determinación), carbono orgánico (método de Walkley - Black), fósforo total, y fracciones de fósforo soluble y fijado al

aluminio, hierro y calcio (Bray II).

En los laboratorios del Instituto Sinchi en Bogotá y Leticia se realizó el aislamiento, cuantificación y descripción de esporas de hongos formadores de micorriza arbuscular (HMA). El estudio se realizó a partir de tres réplicas, cada una de 10 g de suelo. Las esporas se separaron mediante el método de tamizado húmedo, seguido por una centrifugación en un gradiente de sacarosa al 50% (w/v), según la metodología sugerida por Gerdemann & Nicolson (1963).

Las esporas fueron cuantificadas y separadas por morfotipos para determinar la riqueza de HMA como un estimativo de la abundancia y diversidad de sus poblaciones. Los morfotipos fueron separados a partir del reconocimiento de parámetros morfológicos de las esporas, usados en taxonomía de Glomales, como el color, tamaño, forma de las esporas, las características de sus paredes (grosor, color, presencia de ornamentaciones y reacción Melzer) siguiendo la denominación y representación sugerida por Walker (1983), presencia de célula suspensoria y conexión hifal.

Para el estudio de las características morfológicas, las esporas se montaron en lactoglicerina, polivinil-lactoglicerina (PVLG) y PVLG mas Melzer (1:1 v/v). El color fue determinado usando la tabla de color para suelos Munsell. La confirmación de los géneros y las especies se realizó con el apoyo de la Dra. Gisela Cuenca del Laboratorio de Suelos del Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC).

En el caso de haberse colectado muestras de raíz, estas fueron clareadas y teñidas con azul de tripán, de acuerdo a la metodología propuesta por Phillips & Hayman (1970), para determinar la presencia de micorrizas arbusculares. Para cada muestra se cuantificó la colonización radicular (% arbusculos, % vesículas y % hifas) a partir de tres réplicas usando la metodología propuesta por McGonigle *et al.* (1990).

Sistematización de la información:

Se diseñó una base de datos en ACCESS para organizar la información obtenida en campo y laboratorio. La base de datos contiene la siguiente información: Número de muestra, fecha, proyecto, ubicación (cuenca, departamento, municipio, latitud, longitud), tipo de muestra (suelo-raíz o suelo), cobertura, planta huésped, características de suelo (textura, pH, saturación aluminio (%), CIC, carbono orgánico (%), Ca, K, Mg, bases totales, saturación de bases, fósforo), colonización de raíz (porcentaje total, porcentaje hifas, porcentaje vesículas, porcentaje

arbusculos), número de esporas/100g, número de morfotipos por muestra, porcentaje de cada morfotipo en la muestra.

A partir de la ubicación de las muestras en coordenadas geográficas, se realizó una transformación de cada dato a coordenadas planas, usando el programa ILWIS. Los puntos transformados se utilizaron para realizar un mapa de puntos, este mapa se cruzó con la cartografía generada por el Instituto Sinchi sobre la región amazónica a escala 1:500.000 para generar los mapas de distribución de cada morfotipo de HMA.

La elaboración cartográfica e interpretación temática que el Instituto desarrolló para el catálogo tiene como fuente cartográfica las planchas del Instituto Geográfico "Agustín Codazzi"- IGAC, Proyecto Radargramétrico del Amazonas PRORADAM (1979), planchas No. 5-15, 5-16, 5-18, 5-19, 5-22, 5-23, 5-24, 5-25 y 5-26, Mapas a escala 1:500.000, y el mapa correspondiente a la División Político Administrativa de Colombia (2001) a escala 1:2.000.000, con las siguientes características: Esferoide Internacional de Hayford 1924. Proyección Conforme de Gaûs Colombia, Origen Zona 3, con coordenadas geográficas 4° 35' 56.57 Latitud N, 70° 04' 51.30 Longitud W (Datum Observatorio Astronómico de Bogotá).

Glomales de la Amazonia colombiana

I. Género *Glomus*

Glomus de esporas agrupadas

- 1) *Glomus glomerulatum*
- 2) *Glomus* sp1
- 3) *Glomus rubiformis*
- 4) *Glomus sinuosum*
- 5) *Glomus* sp2
- 6) *Glomus* sp3
- 7) *Glomus microaggregatum*

Glomus de esporas solitarias

- 8) *Glomus* sp4
- 9) *Glomus* sp5
- 10) *Glomus* sp6
- 11) *Glomus* sp7
- 12) *Glomus* sp8
- 13) *Glomus* sp9
- 14) *Glomus tortuosum*
- 15) *Glomus manihotis*
- 16) *Glomus* sp10
- 17) *Glomus brohultii*
- 18) *Glomus intraradices*
- 19) *Glomus* sp11
- 20) *Glomus viscosum*

II. Género *Acaulospora*

- 21) *Acaulospora foveata*
- 22) *Acaulospora rehmi*
- 23) *Acaulospora tuberculata*
- 24) *Acaulospora morrowiae*
- 25) *Acaulospora mellea*

III. Género *Scutellospora*

- 26) *Scutellospora* sp1
- 27) *Scutellospora pellucida*
- 28) *Scutellospora spinosissima*

IV. Género *Archaeospora*

29) *Archaeospora leptoticha*

V. Género *Entrophospora*

30) *Entrophospora colombiana*

VI. Género *Gigaspora*

31) *Gigaspora* sp1

1. *Glomus glomerulatum*

Descripción

Esporas: Generalmente globosas, algunas irregulares, pequeñas, de 40-70 micras en diámetro, amarillas al estereoscopio (2.5Y 7/8), amarillo pálido (2.5Y 8/4) a amarillo-oliva al microscopio (2.5Y 6/8). Se organizan en esporocarpos laxos de dos a más de 20 esporas. Aún cuando se reporta que forman grupos de más de 100 esporas (Koske *et al.*, 1986), en suelos de la región amazónica no han sido aislados grupos tan grandes, lo cual puede ser una condición natural o el resultado del proceso de aislamiento de las esporas. Las esporas se unen frágilmente entre sí, a través de conexiones hifales múltiples. Fácilmente se observan una o dos conexiones hifales similares en cada espora (Sieverding, 1987).

Paredes de la espora: Forman un solo grupo grueso de paredes, la pared más externa es laminada, de 4 micras de espesor que le da el color a la espora. Generalmente con restos de hifas en la superficie o conexiones hifales, pero su superficie es lisa y limpia; la pared más interna es membranosa, de color más claro, de 2-3 micras de espesor, que tiende a no separarse de la pared laminada, a no ser que se use PVL en el montaje (Sieverding, 1987).

Conexión hifal: Las esporas pueden presentar más de una conexión hifal, esta puede ser sencilla o doble. La conexión hifal es gruesa, de 5-6 micras de ancho, estrecha hacia la base de la espora, puede o no formar septo. El septo es formado por engrosamiento de la pared interna. La pared de la hifa es de color más claro que la espora y tiende a adelgazarse al alejarse de la base de la espora.

Reacción Melzer: Ninguna.

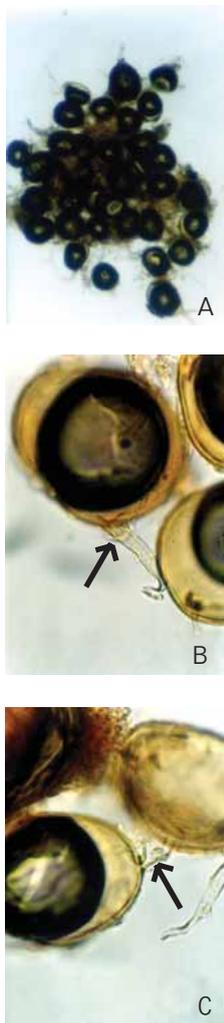
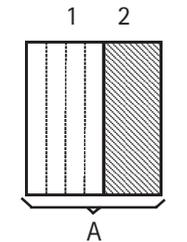


Figura 2. *Glomus glomerulatum*. A. Organización esporal en grupos laxos (10X); B. Detalle de la conexión hifal principal de la espora (40X); C-D. Conexiones entre esporas de tipo secundario (40X).



Murograma *Glomus glomerulatum*

Distribución geográfica

Esta especie ha sido reportada únicamente para Colombia, obtenida por primera vez de las planicies orientales del departamento del Vichada, cerca al río Meta (Sieverding, 1987).

En la región amazónica colombiana se ha encontrado en el departamento del Guaviare, municipios de El Retorno, San Francisco, y San José del Guaviare en potreros con pasto *Brachiaria decumbens*. En el departamento de Vichada asociado a la rizosfera de ají (*Capsicum* sp) en chagras indígenas. En el departamento de Caquetá, en los municipios de Florencia, Belén de los Andaquíes, Albania, vereda Sinai, y Vereda San Isidro, asociada a la rizosfera de caucho (*Hevea brasiliensis*).

En el departamento de Amazonas, en Santa Lucía, Buenos Aires y La Unión, río Coutuhe, asociada a especies de chagra y rastrojos, y en Caña Brava, asociado a la rizosfera de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*); en el municipio de Leticia, Amazonas, en el sector de Los Lagos, se ha encontrado en coberturas de rastrojo, asociado a leguminosas como *Abarema jupunba*, *Inga edulis*, *Inga thibaudiana* y *Senna reticulata*.

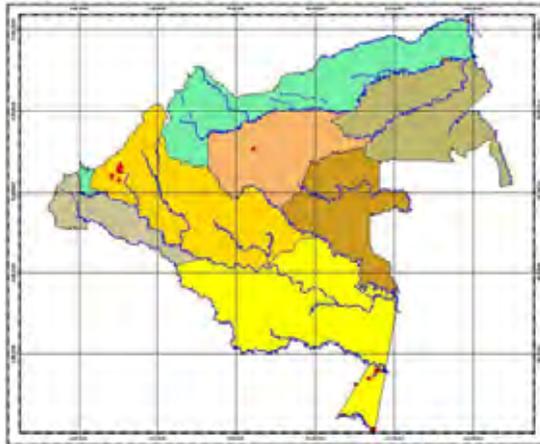


Figura 3. Lugares de la Amazonia colombiana donde se ha reportado *Glomus glomerulatum*

Fuente: Sistemas de Información Geográfica SIG. Instituto

2. *Glomus* sp1

Descripción

Esporas: Agrupadas en grupos laxos de menos de 20 esporas. Globosas, de 40-90 micras de diámetro, de color amarillo cafetoso (10YR 6/8) al esteroscopio, a amarillo (2.5YR 7/8) al microscopio; pueden tener mucílago y detritos adheridos que no adhieren las esporas con firmeza.

Paredes de la espora: Posee un solo grupo de paredes formado por una pared externa amarilla, laminada, lisa en su superficie, sólida, de aproximadamente 4 micras de espesor y una membrana interna, delgada, de menos de 1 micra de espesor, transparente, que tiende a recogerse.

Conexión hifal: Recta, de 8 micras de espesor, sin septos y sin estrechamientos en el canal, la pared es de 2 micras de espesor, continua con la pared externa de la espora.

Reacción Melzer: Ninguna.

Esta especie de *Glomus* no coincide con la descripción de las especies de *Glomus* reportados hasta la fecha; sin embargo ha sido también recuperada de La Gran Sabana de Venezuela, bajo suelos arenosos (Cuenca, 2003, com. pers.).

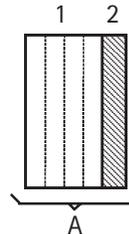


Figura 4. *Glomus* sp1. A-B. Grupo laxo de esporas con una capa de mucilago externo(10X); C. Detalle de la conexión hifal recta, sin septos (40X); D-E. Detalle de la composición de pared esporal (40X).

I. Género *Glomus*
***Glomus* de esporas agrupadas**

Distribución geográfica

En la región amazónica colombiana ha sido encontrado en el departamento de Guaviare, municipio de San José del Guaviare, en Agua Bonita, San Cristóbal, Nueva Granada, Santa Rosa, Santa Cecilia, Puerto Ospina y San Antonio, asociados a la rizosfera de leguminosas del género *Inga* sp., también bajo bosque, en sistemas agroforestales asociado a la rizosfera de cedro amargo (*Cedrela odorata*), cedro achapo (*Cedrelinga catenaeformis*) y arazá (*Eugenia stipitata*), y en potreros asociado a la rizosfera de *Brachiaria decumbens*.

En el departamento de Vaupés, Mitú, asociado a ají (*Capsicum* sp) en huerto habitacional. En el departamento de Amazonas, municipio de Leticia, en Nazaret, bajo bosque, sistemas agroforestales y potreros con grama natural y en las comunidades de Ventura y Faraón, asociado a especies en chagra y potrero. Y en el departamento de Caquetá, municipio de Florencia, asociado a pastos.³

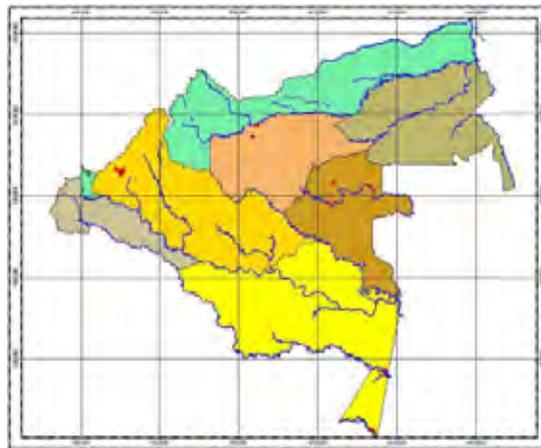


Figura 5. Lugares de la Amazonia colombiana donde se ha reportado *Glomus* sp1

Fuente: Sistemas de Información Geográfica SIG. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. 2004

Glomus rubiformis

Descripción

Esporas en esporocarpo: Esporocarpos negros al estereoscopio de menos de 10 esporas, de color amarillo cafetoso (10YR 6/8) cuando son jóvenes. Esporas globosas a subglobosas de color café oscuro 7.5 YR3/3-3/4 al microscopio cuando son maduras o amarillas (2.5Y 7/6-7/8) cuando conforman esporocarpos jóvenes. Las esporas se organizan unidas a un plexo central. En esporocarpos jóvenes se organizan en un solo plano, dando la impresión de formar esporocarpos alargados. Cuando el esporocarpo madura, la formación de esporas ocurre en otros planos, haciéndolos más redondeados y presentando las esporas fuertemente unidas entre sí, por lo que hay que hacer una fuerte presión para escacharlas en el momento de observarlas al microscopio. La unión de las esporas no está dada por la existencia de un peridio, por lo que se supone que puede ser la capa de mucilago externa la que actúa como adherente entre las esporas.

Paredes de la espora: Se distinguen tres paredes formando un único grupo: La más externa consiste en una capa transparente, mucilaginoso, lisa, que recubre de forma homogénea las esporas, extendiéndose hasta la hifa. Seguida a esta aparece una pared laminada, que le da el color a la espora, de 4 micras de espesor. La pared más interna está unida a la pared laminada formando una sola unidad de 2 micras de espesor. La pared más interna se distingue por ser de un color más claro que la laminada.

Conexión hifal: Las tres capas que componen las paredes de la espora se continúan en la hifa, siendo esta una conexión hifal ancha de aproximadamente 23 micras, de pared gruesa, de color amarillo transparente, más estrecha hacia la base de la espora y sin formar septo. Las conexiones hifales y plexo son simples, sin presentar vesículas, o más de un origen para el plexo central.

Reacción Melzer: Ninguna.

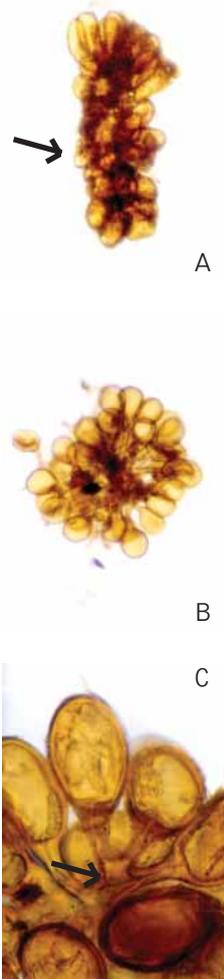
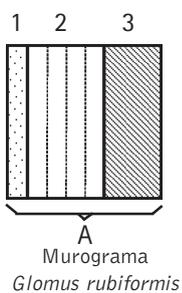


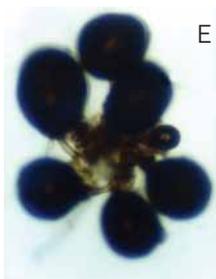
Figura 6. *Glomus rubiformis*. A. Esporocarpos jóvenes con producción de esporas en un solo plano (10X); B. Esporocarpos jóvenes (10X); C. Detalle de las esporas y su conexión hifal unida a un plexo central (40X); D-E. Esporocarpos maduros más oscuros (40X); F. Detalle de la composición de la pared esporal (100X).



D



E



F



Distribución geográfica

Glomus rubiformis ha sido aislado de diferentes ecosistemas naturales, desde bosques tropicales y no tropicales, hasta ecosistemas desérticos, áridos, de suelos arenosos (Bhatia *et al.*, 1996). Ha sido aislada en Estados Unidos en Oregón, Washington y Michigan. También ha sido reportada en Nueva Zelanda, Inglaterra y Wales (Schenck & Pérez, 1988).

En la región amazónica colombiana, se ha reportado en Mocoa, departamento de Putumayo, en chagras indígenas asociado a ají (*Capsicum* sp). En el departamento de Guaviare, en El Retorno, asociado a agroforestales. En el departamento de Caquetá, municipio de Florencia, asociado a pastos.

En el departamento de Amazonas, el municipio de Leticia asociado a la rizosfera de *Cannavalia* sp., guamo (*Inga edulis*), leguminosas como *Abarema jupunba*, *Inga edulis* y *Senna bacillaris*; pasto *Brachiaria decumbens*; en Macedonia, San Matín de Amacayacu y Zaragoza, bajo coberturas de bosque natural y rastrojo. Y en el departamento de Caquetá bajo potreros.



Figura 7. Lugares de la Amazonia colombiana donde se ha reportado *Glomus rubiformis*

Fuente: Sistemas de Información Geográfica SIG. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. 2004

4. *Glomus sinuosum*

Descripción

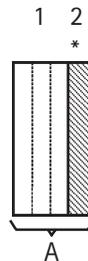
Esporas en esporocarpio: Esporocarpos generalmente de forma globosa, aunque algunas veces imperfecta, de 200-360 micras, con menos de 20 esporas. De color naranja (7.5 YR 6/8) al estereoscopio. Al microscopio de luz se observa de color amarillo rojizo a café fuerte (7.5YR 5/6-5/8). Las esporas se organizan en un solo plano a partir de un plexo central. Las esporas, generalmente son de forma claviforme, aún cuando pueden no tener una forma muy homogénea entre si.

Peridio: El esporocarpio está recubierto de un peridio denso de hifas que se entrelazan formando un patrón fácilmente distinguible al microscopio de luz, dando la apariencia de culebras entrelazadas. El denso peridio forma una cubierta de 10-20 micras de espesor, el cual mantiene a las esporas firmemente unidas.

Paredes de la espora: Difícil de apreciar por la densa cubierta de peridio. Se distingue claramente una pared laminada que le confiere el color y la forma a la espora. Se presume debe existir una membrana interna que rodea el citoplasma.

Conexión hifal: Aún cuando no siempre es fácil de apreciar la hifa, esta es gruesa, de una sola pared. El INVAM (2003) reporta septos, pero estos son difíciles de apreciar.

Reacción Melzer: Ninguna.



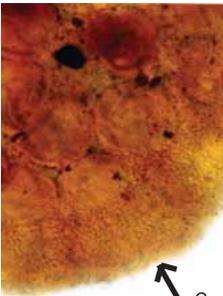
Murograma *Glomus sinuosum*



A



B



C

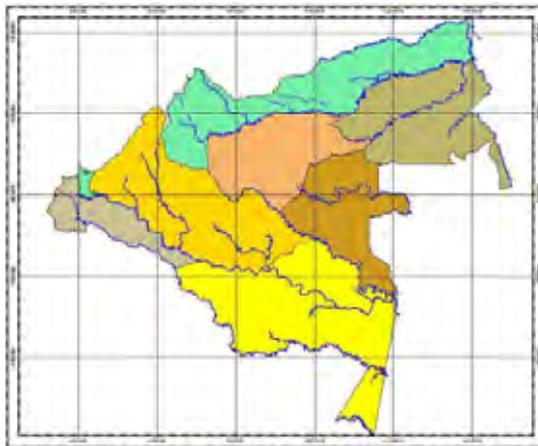
Figura 8. *Glomus sinuosum*. A-B. Esporocarpos compactos rodeados de una masa densa de hifas con esporas organizadas en un solo plano (10X); C. Detalle del patrón formado por la densa capa de hifas que recubre el esporocarpo que se asemejan a culebras (40X).

I. Género *Glomus*
***Glomus* de esporas agrupadas**

Distribución geográfica

Glomus sinuosum ha sido aislado de diferentes ecosistemas naturales, desde bosques tropicales y no tropicales de suelos arcillosos, hasta ecosistemas desérticos, áridos de suelos arenosos (Bhatia *et al* 1996). Ha sido aislada numerosas veces de suelos de la India en donde predominan las coníferas y los árboles maderables (Schenck & Perez, 1988). En la región amazónica colombiana se ha aislado de Ventura, departamento del Amazonas a orillas del caño del mismo nombre.

Figura 9. Lugares de la Amazonia colombiana donde se ha reportado *Glomus sinuosum*



Fuente: Sistemas de Información Geográfica SIG. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. 2004

5. *Glomus* sp2

Descripción

Esporas en esporocarpio: Esporocarpio globoso de 540 micras de diámetro, con mas de 50 esporas unidas a un mismo talo. Sin peridio, de superficie lisa y limpia. Las esporas de 80 a 86 micras de largo por 22 de ancho, de color amarillo oliva (5Y 6/6-6/8), claviformes, no se desprenden del plexo central del esporocarpio.

Paredes de la espora: Aparentemente formada por un solo grupo de paredes con una pared laminada de grosor variable: En la parte superior, la espora es gruesa, siendo mas delgada en la parte apical, dando en la superficie del esporocarpio una apariencia de anillos gruesos unidos en la superficie del esporocarpio; hacia el plexo central la pared se adelgaza. La pared laminada le confiere el color a la espora y el esporocarpio. Presumiblemente posee una membrana interna que rodea el citoplasma.

Conexión hifal: Aparentemente formada por un talo que forma un plexo central de pared gruesa, amarilla, que por el tamaño y espesor del esporocarpio pocas veces se aprecia claramente.

Reacción Melzer: Ninguna.

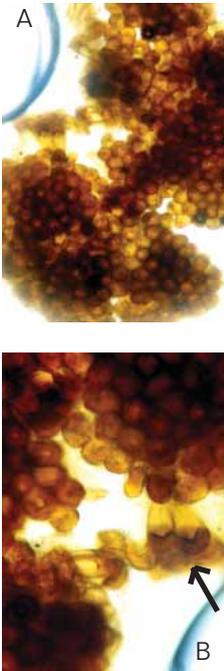
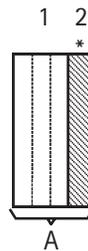


Figura 10. *Glomus* sp2. A Esporocarpos compactos unidos a un plexo central, formado por un gran numero de esporas (10X); B. Detalle de la forma de las esporas y la pared esporal (40X).



Murograma *Glomus* sp2

I. Género *Glomus*
***Glomus* de esporas agrupadas**

Esta especie no concuerda con las descripciones de otros *Glomus* que forman esporocarpos. Tiene similitud con *Glomus clavisporum* en el tamaño del esporocarpio y la organización de sus esporas, pero el engrosamiento de las esporas en la parte apical las diferencia de *G. clavisporum* en donde el espesor de la pared es homogéneo en todo el contorno de la espora. Las esporas también pueden parecerse a *Glomus taiwanensis* por el engrosamiento apical, pero el tamaño del esporocarpio y el adelgazamiento apical no corresponden a la especie.

Distribución geográfica

En la región amazónica colombiana solo ha sido encontrada en el departamento de Amazonas, en las márgenes del río Putumayo, en Ventura, asociada a pastos. *Glomus clavisporum*, su especie morfológicamente más relacionada, ha sido también reportada en asociación a gramíneas en zonas con periodos frecuentes de inundación (Bhatia et al., 1996), en zonas tropicales de México, asociada a pastos (Schenck & Pérez, 1988).

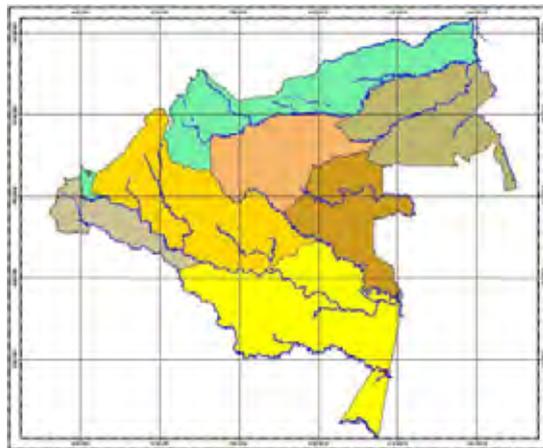


Figura 11. Lugares de la Amazonia colombiana donde se ha reportado *Glomus* sp2

Fuente: Sistemas de Información Geográfica SIG. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. 2004

6. *Glomus* sp3

Descripción

Esporas: Esporas de color oliva (5Y 5/4) a gris oliva (5Y 4/2), de globosas a claviformes de 20-30 x 60-70 micras de diámetro, formando agregados laxos de aproximadamente 20 esporas, unidos por conexiones hifales múltiples.

Paredes de la espora: Un solo grupo de paredes formado por una pared externa, laminada, que le dá el color a la espora, de aproximadamente 3 micras de espesor; y una membrana interna, delgada, flexible, que tiende a arrugarse, y que está pegada a la pared externa formando una sola unidad.

Conexión hifal: Claramente se observa una conexión hifal principal bien definida de 2 micras de espesor, que aveces puede estrecharse para formar un septo en la base de la espora. La conexión hifal principal es gruesa, amarilla, formada por la continuación de la pared externa. Las demás conexiones hifales son mas delgadas y frágiles, de un color amarillo mas claro.

Reacción Melzer: Ninguna.

La mayoría de especies de *Glomus* son de forma globosa a subglobosa. Aparentemente corresponde a una especie de *Glomus* no reportada, dada la forma claviforme de las esporas y el tipo

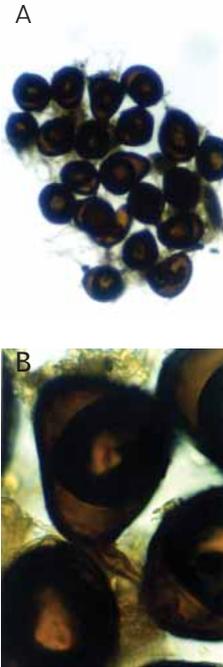
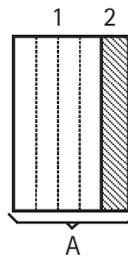


Figura 12. *Glomus* sp3. A. Esporas agrupadas en grupos laxos (10X); B. Detalle de la forma de las esporas y la pared esporal (40X).



Murograma *Glomus* sp3

I. Género *Glomus*
***Glomus* de esporas agrupadas**

de conexión hifal que presenta. Podría igualmente corresponder a un ecotipo de *Glomus glomerulatum* oscuro. Dado que aún no han sido realizadas las confirmaciones por técnicas moleculares, se prefirió presentarlo como un morfotipo aparte.

Distribución geográfica

En la Amazonia colombiana ha sido aislada en San Cristóbal, municipio de San José del Guaviare, departamento de Guaviare, asociada a potreros. En el departamento de Amazonas, municipio de Leticia, en la comunidad de San José km 6, en bosque natural y asociado a leguminosas como *Inga alba*, *I. striolata*, *I. leptocarpa*, *I. cayennensis*, *I. umbellifera* y *Parkia* sp. Y en departamento de Caquetá, municipio de Florencia, asociado a pastos.

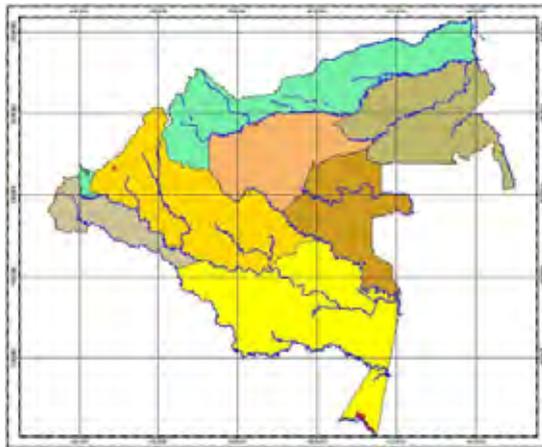


Figura 13. Lugares de la Amazonia colombiana donde se ha reportado *Glomus* sp3

Fuente: Sistemas de Información Geográfica SIG. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. 2004

7. *Glomus microaggregatum*

Descripción

Esporas: Generalmente globosas, algunas irregulares, muy pequeñas, transparentes al estereoscopio, levemente amarillas a amarillas al microscopio (5Y 8/4-8/6). Se organizan en esporocarpos laxos de dos a más de 20 esporas. Aún cuando se reporta que forman grupos de más de 100 esporas (Koske *et al.*, 1986), en suelos de la región amazónica no han sido aislados grupos tan grandes, lo cual puede ser una condición natural o el resultado del proceso de aislamiento de las esporas.

Paredes de la espora: Poseen un solo grupo de paredes, formada por una pared externa, laminada, de 2-4 micras de espesor que le da el color a la espora; y una pared membranosa interna, unida a la primera pared, de color más claro, de 2-3 micras de espesor.

Conexión hifal: Las esporas no presentan más de una conexión hifal, lo cual las distingue de *Glomus glomerulatum*. Su conexión hifal es larga y converge en un punto común, casi formando un ramillete. La conexión hifal es estrecha hacia la base de la espora sin cerrarse en un septo. La pared de la hifa es gruesa y se adelgaza al alejarse de la base de la espora, del mismo color que la espora. No se observan septos.

Reacción Melzer: Ninguna.

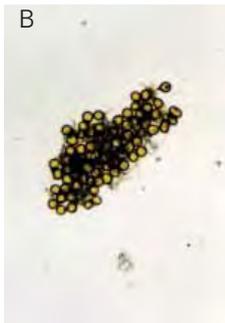
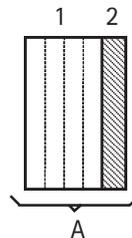


Figura 14. *Glomus microaggregatum*. A-B. Grupos laxos formados por un número grande de esporas (10X); C. Detalle de esporas con una sola conexión hifal (10X); D. Detalle de la estructura hifal que converge en un punto sin formar plexo (20X); E. Detalle de las hifas sin septo (40X).



Murograma *Glomus microaggregatum*

I. Género *Glomus*
***Glomus* de esporas agrupadas**



Distribución geográfica

Se ha aislado de suelos arenosos de dunas y suelos costeros en California, Hawaii, Michigan y la costa Atlántica de los Estados Unidos (Koske *et al.*, 1986).

En la región amazónica colombiana se ha encontrado en el departamento del Guaviare, en el municipio de Calamar, asociado a la rizosfera de ají (*Capsicum sp.*). En el departamento de Vichada, comunidad Laguna Colorada y Cajaro, margen derecha del río Vichada, asociado a la rizosfera de ají (*Capsicum sp.*) en chagras indígenas. En el departamento de Caquetá, en el municipio de Florencia asociado a pastos.

En el departamento de Amazonas, en el municipio de Leticia en las comunidades de San Sebastián y San Antonio de los Lagos asociado a rastrojos; y a orillas del río Coutuhe, en las comunidades de Santa Lucía, Buenos Aires y La Unión, asociado a especies de chagra y rastrojos.

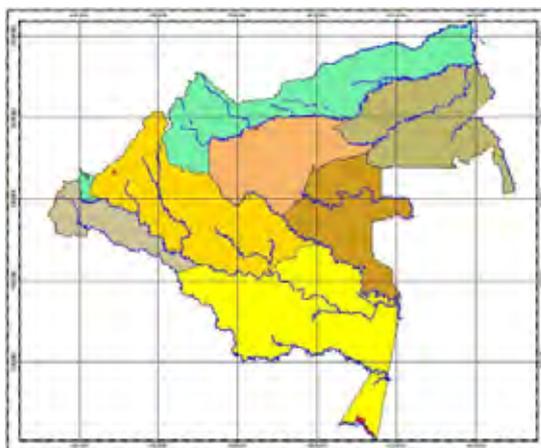


Figura 15. Lugares de la Amazonia colombiana donde se ha reportado *Glomus microaggregatum*

Fuente: Sistemas de Información Geográfica SIG. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. 2004

8. *Glomus* sp4

Descripción

Esporas: Subglobosas de 60-110 x 80-130 micras de diámetro, de color café rojizo (5 YR 4/4) al estereoscopio, rojo (2.5YR 5/8) a rojo amarillento (5YR 5/8) al microscopio. Pueden presentar canales delgados, de menos de 1 micra de diámetro que atraviesan la espora desde el interior hacia el exterior. Puede o no presentar mucílago adherido, pero generalmente se aíslan abundantemente y limpias.

Paredes de la espora: Compuesta por un único grupo con tres paredes: la mas externa, que le da el color a la espora, laminada, de 3-6 micras de espesor. Unida a esta aparece una segunda pared mas interna, sólida, de color mas claro que la primera, de 1-2 micras de espesor. La pared mas interna es membranosa, transparente y tiende a recogerse.

Conexión hifal: Pocas veces observable con claridad, generalmente las esporas se aíslan sin la conexión. Cuando se puede apreciar, ésta aparece en posición polar o subpolar, estrecha hacia la espora y ensanchada hacia el exterior, alcanzando hasta 10 micras de ancho. La hifa es transparente, de pared delgada, aparentemente continua con la pared mas interna.

Reacción Melzer: Ninguna.

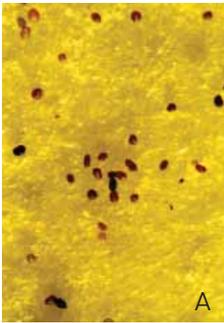
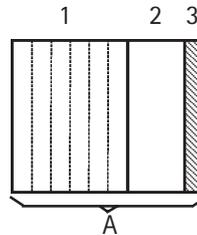


Figura 16. *Glomus* sp4. A. Vista de las esporas al estereoscopio (1X); B. Espora completa en donde se aprecia la composición de pared (40X); C. Espora con conexión hifal (40X).



Murograma *Glomus* sp4

I. Género *Glomus*
***Glomus* de esporas solitarias**

La descripción de esta especie no coincide con las descripciones de *Glomus* reportadas hasta la fecha, sin embargo es muy común en suelos de la Amazonia colombiana y de la Gran Sabana venezolana (Cuenca, 2003, com. pers.), siendo en estos muchas veces la especie dominante.

Distribución geográfica

En la región amazónica colombiana se ha encontrado en el departamento de Guaviare, municipio de San José del Guaviare, asociado bosques naturales primarios y de regeneración, potreros y sistemas agroforestales. En el departamento de Vaupés, Mitú asociado a la rizosfera de ají (*Capsicum* sp) en huerto habitacional. En Caquetá, municipios de Florencia, Belén de los Andaquíes, San José de Fragua, vereda Sinaí, asociada a la rizosfera de caucho (*Hevea brasiliensis*) en cultivo.

En el departamento de Amazonas, municipio de Leticia, en Mocagua, Ronda y Zaragoza, asociado a coberturas de rastrojo y potrero; en el municipio de Puerto Nariño en Atacuari, San Francisco y 7 de Agosto, asociado a chagra; en El Encanto y Falcón, asociados a coberturas de potrero y bosque.

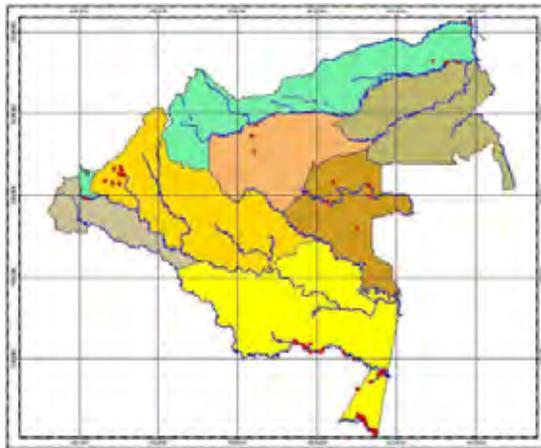


Figura 17. Lugares de la Amazonia colombiana donde se ha reportado *Glomus* sp4

Fuente: Sistemas de Información Geográfica SIG. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. 2004

9. *Glomus* sp5

Descripción

Esporas: Globosas, de 90-110 micras de diámetro, de color café fuerte (7.5YR 4/6) al estereoscopio y microscopio.

Paredes de la espora: A diferencia de *Glomus* sp4 que claramente se aprecian tres paredes, en esta especie solo se distinguen dos paredes, en esta especie solo se distinguen dos paredes formando un solo grupo: una externa, laminada, que le da el color a la espora, de 6-8 micras; y una pared interna, membranosa que contendría el citoplasma, de menos de 1 micra de espesor.

Conexión hifal: Forma septo en la mitad de la pared laminada, en el origen donde se forma la conexión hifal, por lo que el origen de la hifa podría o no estar relacionada con la pared interna de la espora. En su parte externa la conexión hifal se ensancha alcanzando hasta 10 micras de ancho, con una pared amarilla de 2 micras de espesor.

Reacción Melzer: Ninguna.

Muchas de las especies de *Glomus* descritos hasta la fecha son de conexiones hifales estrechas y delgadas (INVAM, 2003). Esta especie aún cuando su color y estructura de pared parece muy común, tiene una conexión hifal gruesa cenocítica, por lo que no coincide con ninguna de las especies de *Glomus* reportada hasta la fecha.

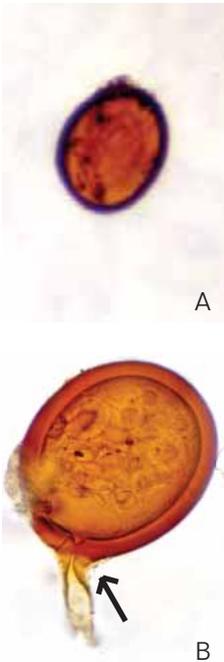
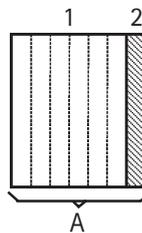


Figura 18. *Glomus* sp5. A. Espora completa con conexión hifal parcial (10X); B. Detalle de la conexión hifal y la composición de la pared esporal (20X).



Murograma *Glomus* sp5

Distribución geográfica

En la región amazónica colombiana se ha encontrado en el departamento de Guaviare, municipio de San José del Guaviare, asociado a plantas en diferentes habitats, desde bosques naturales primarios y de regeneración, hasta potreros y sistemas agroforestales. En el departamento de Vaupés, Mitú asociado a la rizosfera de ají (*Capsicum* sp) en huerto habitacional. En Caquetá, municipios de Florencia, Belén de los Andaquíes, San José de Fragua, vereda Sinaí, asociada a la rizosfera de caucho (*Hevea brasiliensis*) en cultivo. En el departamento de Amazonas, municipio de Leticia, en Mocagua, Ronda y Zaragoza, asociado a coberturas de rastrojo y potrero; en el municipio de Puerto Nariño en Atacuari, San Francisco y 7 de Agosto, asociado a chagra; en El Encanto y Falcón, asociados a coberturas de potrero y bosque.

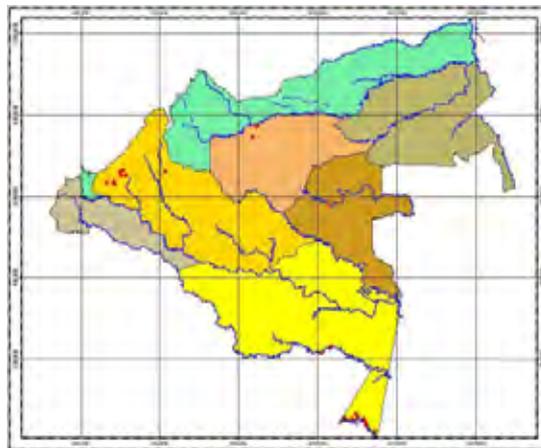


Figura 19. Lugares de la Amazonia colombiana donde se ha reportado *Glomus* sp5

Fuente: Sistemas de Información Geográfica SIG. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. 2004

10. *Glomus* sp6

Descripción

Esporas: Globosas a subglobosas de 60-70 x 70-90 micras de diámetro, de color negro al estereoscopio, café rojizo oscuro (2.5YR 3/4) o (5YR3/4) al microscopio.

Paredes de la espora: Posee dos paredes: una externa, concolora, laminada, de 6 micras de espesor; pegada a esta aparece una pared mas clara, de menos de 3 micras de espesor formando un solo grupo de paredes.

Conexión hifal: De color amarillo claro de 10 micras de ancho, engrosada al comienzo, sin septo, luego se adelgaza.

Reacción Melzer: Negativa.

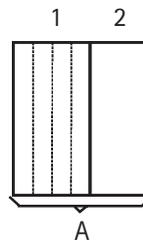
Aún cuando es similar a *G. constrictum* o *G. geosporum* en el color, es mas pequeña que las anteriores y la conexión hifal mucho mas robusta, por lo que se prefirió presentarlo como un morfotipo diferente.

Distribución geográfica

Esta especie de *Glomus* se encuentra distribuida en toda la Amazonia colombiana. En el departamento de Guaviare, municipio de San José de Guaviare, en Agua Bonita, San Cristóbal, Nueva Granada, San Antonio, asociado a leguminosas en bosque y a pastos en potrero, y a las risosferas de caña fístula (*Cassia grandis*) y chontaduro (*Bactris gasipaes*). Y en el departa-



Figura 20. *Glomus* sp6. A. Espora completa con conexión hifal (10X); B. Detalle de conexión hifal ramificada (10X); C. Detalle conexión hifal recta (10X); D. Detalle conexión hifal y composición de pared (40X).



Murograma *Glomus* sp6

I. Género *Glomus*
***Glomus* de esporas solitarias**



mento de Guainía, Puerto Inírida en sistemas agroforestales.

Se ha encontrado asociado a ají (*Capsicum* sp) en la comunidad de Panure, departamento de Guaviare; Mocoa, departamento de Putumayo; Mitú, departamento de Vaupés, en las comunidades de Pirasemo, Ñamu y San Pedro del Ti; y en las comunidades de Manajuaire y Cajaro, en el departamento de Vichada.

En el departamento de Caquetá, municipios de Belén de los Andaquíes, Florencia, Albania y vereda San Isidro, asociado a caucho (*Hevea brasiliensis*) en cultivo. En el departamento de Amazonas, municipio de Leticia, asociado a asaí (*Euterpe oleraceae*), guamo (*Inga* sp), copoazú (*Theobroma grandiflorum*), *Inga* sp., *I. edulis*, *I. Thibaudiana*, *I. punctata* *Senna reticulata*, *S. multijuga*, *Parkia nitida*, *Abarema jupunba* y a potreros con *Brachiaria decumbens*; en el municipio de Puerto Nariño en San Francisco, asociado a chagras; y en las comunidades de Faraón y El Encanto, asociado a potreros.

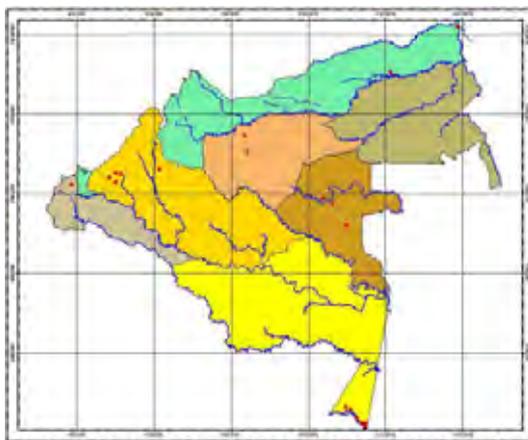


Figura 21. Lugares de la Amazonia colombiana donde se ha reportado *Glomus* sp6

Fuente: Sistemas de Información Geográfica SIG. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. 2004

11. *Glomus* sp7

Descripción

Esporas: Solitarias, globosas a subglobosas, siendo las primeras mas frecuentes, de 80 a 120 micras de diámetro, de color café rojizo (5YR 4/4) al estereoscopio y café rojizo oscuro (5YR 3/4) al microscopio. Generalmente presentan mucílago adherido a la superficie, que podría indicar la presencia de una pared evanescente, pero la superficie de la espora da la impresión de ser lisa y limpia.

Paredes de la espora: Se distingue claramente un grupo formado por al menos dos paredes: En la parte externa, la frecuente presencia de mucílago en las esporas podría ser la consecuencia de la presencia de una pared externa evanescente, sin embargo este morfotipo no ha sido multiplicado en potes trampa, desconociendo si existe una pared evanescente externa en esporas jóvenes. Luego de esta parece una pared, laminada, gruesa, de aproximadamente 4 micras de espesor, que le da el color a la espora, la cual puede o no presentar poros o canales que van desde la parte interna hacia la externa. La pared mas interna está pegada a la pared laminada, de color mas claro que la anterior y de menos de 1 micra de espesor.

Conexión hifal: Gruesa, del mismo color que la pared laminada, estrecha en la base de la espora hasta de 4 micras de espesor y ensanchándose cuando se aleja de la espora para alcanzar un grosor de hasta 12 micras. La pared de la hifa tiende a adelgazarse a medida que se aleja de la espora.

Reacción Melzer: Negativa.

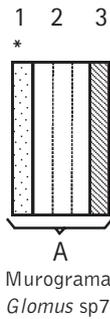
Las esporas de *Glomus* de colores oscuros descritos hasta la fecha, presentan conexiones hifales delgadas, a excepción de *Glomus coronatum*, descrita inicialmente por Giovannetti *et al.* (1991) y ampliada con las descripciones de



Figura 22. *Glomus* sp7.

A. Esporas completas con conexión hifal (10X); B. Detalle de la continuación de la pared esporal hasta la conexión hifal (10X); C. Detalle de la composición de la pared esporal y la conexión hifal (40X); D. Espora mas clara con conexión hifal (20X).

I. Género *Glomus*
***Glomus* de esporas solitarias**



Blaszowski (1994), la cual presenta una conexión hifal similar a la aquí descrita. Sin embargo, los anteriores autores reportan la presencia de una pared externa hialina expansible en PVLG y una reacción al Melzer positiva, que torna la espora púrpura. Ninguna de las anteriores características ha sido observada en este morfotipo aislado de la región amazónica colombiana. Esta especie también es similar a un tipo de *Glomus* de hifa rojiza, aislado en la región de la Gran Sabana de Venezuela (Cuenca, 2003, com. pers.), aparentemente no descrito hasta la fecha.

Distribución geográfica

En la región amazónica colombiana, ha sido encontrada en el departamento de Guaviare, en San Cristóbal en potreros con *Brachiaria decumbens*. Y en el departamento de Amazonas bajo bosque, asociado a la rizosfera de algunas leguminosas como *Inga alba*, *Inga striolata*, *Inga leptocarpa*, *Inga cayennensis*, *Inga umbellifera* y *Parkia* sp. En el departamento de Guainía, Puerto Inírida, en sistemas agroforestales. Y en el departamento de Caquetá, municipio de Florencia, asociado a pastos.

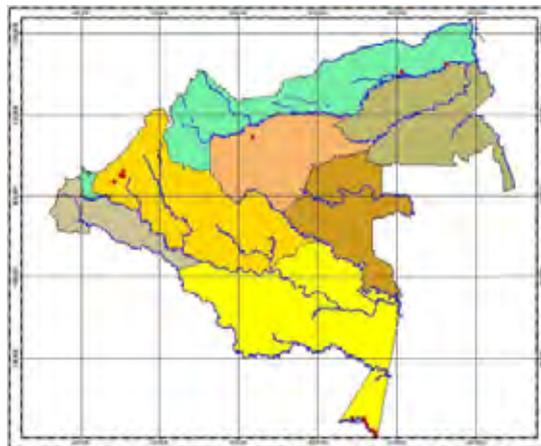


Figura 23. Lugares de la Amazonia colombiana donde se ha reportado *Glomus* sp7

Fuente: Sistemas de Información Geográfica SIG. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. 2004

12. *Glomus* sp8

Descripción

Esporas: Solitarias, globosas a subglobosas, siendo las primeras mas frecuentes, de 70 a 100 micras de diámetro, de color café - café rojizo oscuro (5YR 3/4) al estereoscopio a café fuerte (7.5 YR 5/8) al microscopio. Puede presentar mucílago adherido a la superficie, pero en general la superficie es lisa y limpia.

Paredes de la espora: Se distingue claramente un grupo formado por dos paredes: La mas externa, laminada, gruesa, de aproximadamente 4 micras de espesor, que le confiere el color a la espora. La pared mas interna está pegada a la pared laminada, de color mas claro de 1 micra de espesor.

Conexión hifal: Gruesa, de 14 micras de ancho, recta, sin septo. Algunas veces la hifa forma proyecciones a los lados, cerca al sitio de formación de la espora.

Reacción Melzer: Negativa.

Esta especie es similar a *Glomus brohultii*, pero su hifa es menos ancha y robusta. También se parece a *Glomus* sp7, pero la luz de la hifa en el punto de conexión con la espora es recto y amplio. Por esta razón se presume que es una espe-

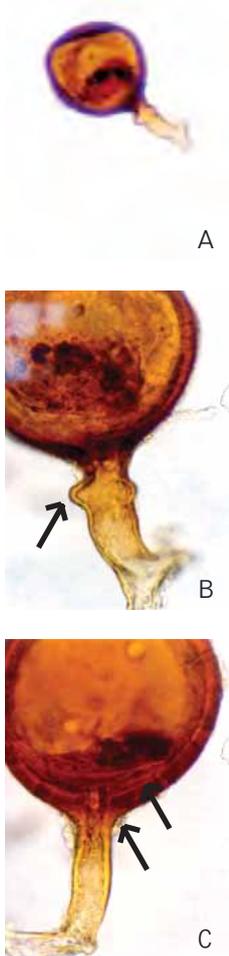
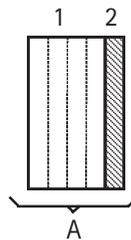


Figura 24. *Glomus* sp8. A. Espora completa con conexión hifal (10X); B. Detalle de la conexión hifal recta sin septo (40X); C. Detalle de la estructura de la pared esporal y la conexión hifal (40X).



Murograma *Glomus* sp8

I. Género *Glomus*
***Glomus* de esporas solitarias**

cie diferente a las anteriores cuya descripción no corresponde a las especies de *Glomus* a la fecha reportadas.

Distribución geográfica

En la Amazonia colombiana ha sido encontrada en el departamento de Amazonas y Caquetá en rastrojos y zonas intervenidas.

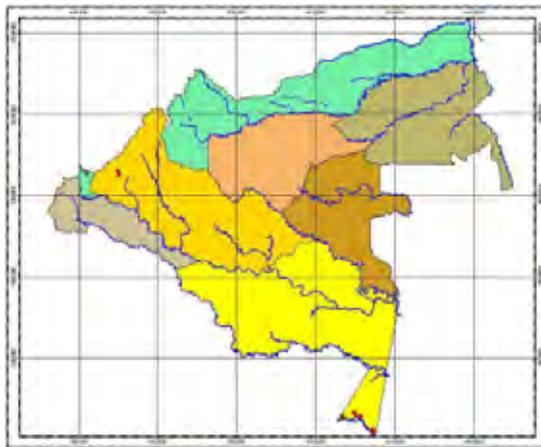


Figura 25. Lugares de la Amazonia colombiana donde se ha reportado *Glomus* sp8

Fuente: Sistemas de Información Geográfica SIG. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. 2004

13. *Glomus* sp9

Descripción

Esporas: Solitarias, globosas a subglobosas, siendo las primeras mas frecuentes, de 80 a 120 micras de diámetro, de color café rojizo (5YR 4/4) al estereoscopio y café rojizo oscuro (5YR 3/4) al microscopio. Puede presentar mucílago adherido a la superficie, pero en general la superficie es lisa y limpia.

Paredes de la espora: Se distingue claramente un grupo formado por dos paredes: La mas externa, laminada, gruesa, de aproximadamente 4 micras de espesor, que le da el color a la espora, puede o no presentar poros o canales que van desde la parte interna hacia la externa. La pared mas interna está pegada a la pared laminada, de color mas claro, de menos de 1 micra de espesor.

Conexión hifal: Gruesa, de 14 micras de ancho, la pared de la hifa es la continuación de la pared interna de la espora, recta.

Reacción Melzer: Negativa.

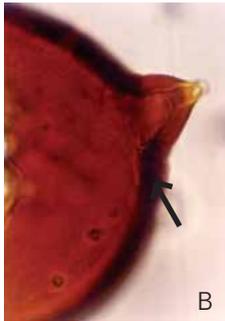
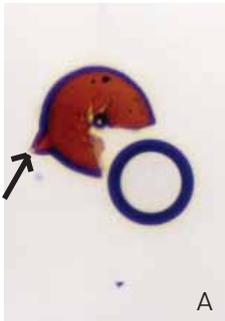
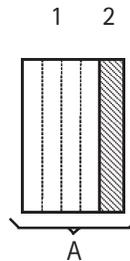


Figura 26. *Glomus* sp9. A. Espora con conexión hifal característica (10X); B. Detalle de la estructura y forma de la conexión hifal (40X).



Murograma *Glomus* sp9

I. Género *Glomus*
***Glomus* de esporas solitarias**

Este morfotipo es similar a *Glomus coronatum* en la versión del INVAM (2003), la cual difiere morfológicamente de la descrita por Giovannetti *et al* (1991) y Blaszkowski (1994). El voucher de la especie descrita por el INVAM concuerda en color, tamaño y forma, con el morfotipo aquí descrito, aun cuando este último posee paredes mas escleróticas y no ha sido observada ninguna reacción al Melzer, por lo que para este catálogo se asume como una especie diferente. Su especie morfológicamente mas cercana, *Glomus coronatum*, ha sido reportada únicamente en Europa.

Distribución geográfica

En la región amazónica colombiana ha sido encontrado en Puerto Nariño, departamento de Amazonas, bajo rastrojos, y en El Retorno, departamento de Guaviare, asociado a chontaduro (*Bactris gasipaes*) e inchi (*Caryodendron* sp.).

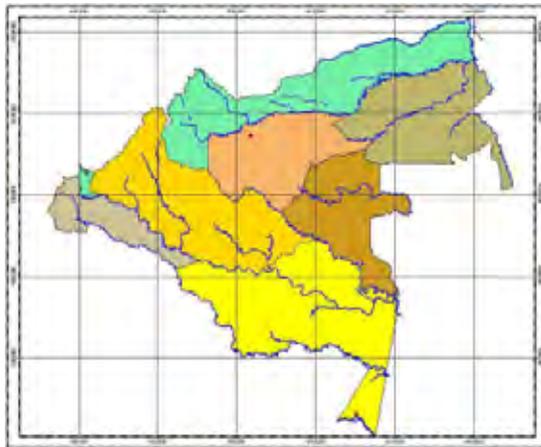


Figura 27. Lugares de la Amazonia colombiana donde se ha reportado *Glomus* sp9

Fuente: Sistemas de Información Geográfica SIG. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. 2004

14. *Glomus tortuosum*

Descripción

Espora: Al estereoscopio aparecen como esporas globosas sucias por la alta cantidad de detritos adheridos a su superficie, por lo que muchas veces es difícil de distinguirla como una espora de Glomeromycota y se pasan por alto. Se aíslan como esporas globosas, solitarias o en pares, de color naranja a rojo amarillento (5YR 5/8), de 120 a 220 micras de diámetro en tamaño.

Peridio: Desarrolla un peridio de hifas que cubre la superficie de la espora de 4-6 micras de espesor, aún cuando puede ser mayor en esporas maduras. El peridio forma un patrón irregular en la superficie fácilmente distinguible. El tramado de hifas no es tan denso como en *G. sinuosum*, por lo que es posible observar la composición de la pared de la espora.

Paredes de la espora: Al escachar la espora se aprecia un grupo formado por dos paredes que fácilmente se separan entre si: la mas externa es una pared laminada, de color blanco, de 4-5 micras de espesor; la mas interna es una membrana transparente, muy delgada, de menos de 1 micra de espesor.

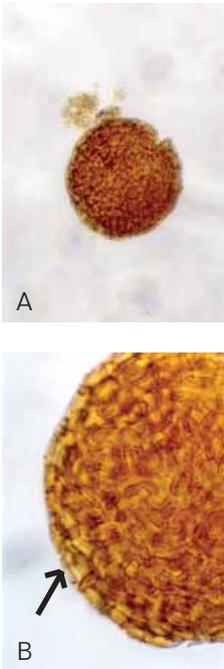
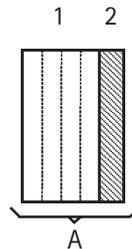


Figura 28. *Glomus tortuosum*. A. Espora completa (10X); B. Detalle del peridio de hifas que forma un patrón característico sobre la superficie de la espora (40X).



Murograma *Glomus tortuosum*

I. Género *Glomus*
***Glomus* de esporas solitarias**

Conexión hifal: No es fácil de observar, dada la presencia del peridio que recubre la espora. Cabello (2001) la describe como de pared gruesa, del mismo color que el manto hifal del peridio, recta o curva, y puede estrecharse en la base de la espora.

Reacción Melzer: Aún cuando ha sido reportada la reacción del peridio tornándose púrpura (Cabello, 2001), la reacción en esporas aisladas de la Amazonia colombiana, ha sido observada como una intensificación del color naranja hacia un color mas rojizo.

Distribución geográfica

Esta ha sido asociada a suelos arenosos costeros (Bhatia *et al.*, 1996). Ha sido colectada en Ensenada, Buenos Aires, Argentina y Florida, USA.

En la región amazónica colombiana ha sido aislada en la comunidad Yarinal, San Miguel, departamento de Putumayo. En departamento de Caquetá, en la vereda La Viciosa, bajo coberturas diversas. Y en la comunidad de San Sebastián, municipio de Letricia, departamento de Amazonas.

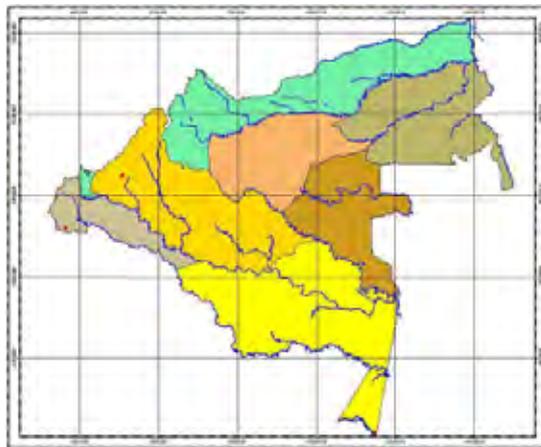


Figura 29. Lugares de la Amazonia colombiana donde se ha reportado *Glomus tortuosum*

Fuente: Sistemas de Información Geográfica SIG. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. 2004

15. *Glomus manihotis*

Descripción

Espora: Solitarias, globosas a subglobosas, de 170 a 250 micras de diámetro. De color blanco a amarillo pálido (5Y 8/4 a 7/4) al estereoscopio, y amarillo pálido a oliva (2.5Y 6/6-6/8) al microscopio. No se han encontrado morfotipos de esporas oscuras en la Amazonia colombiana, por lo que la descripción corresponde a *Glomus clarum*, como inicialmente se denominaron los vouchers mas claros de *Glomus manihotis*.

Paredes de la espora: Se distingue claramente un grupo con tres paredes de color claro: La primera que puede o no estar presente, es una cubierta externa mucilaginosa, formada por capas de diferente espesor con un máximo de 5 micras; seguida por una pared sólida, de color blanco, de 10 a 14 micras de espesor. La pared mas interna, de 2 a 3 micras de espesor, de color amarillo mas oscuro que la pared externa, se denomina laminada, pues al escachar las esporas esta tiende a conservar su forma y es la que determina el color de la espora.

Conexión hifal: Generalmente presente en las esporas. Consiste en una conexión recta, de 12 a 16 micras de espesor; de pared gruesa que es la continuación de la pared sólida de la espora. Aún cuando INVAM (2000) reporta la existencia de dos paredes mas, estas son difíciles de observar.

Reacción Melzer: La capa mucilaginosa reacciona al Melzer tornándose púrpura claro (INVAM, 2000), sin embargo la reacción tiende a evidenciarse generalmente sobre la pared laminada como parches de tonalidad rosada.

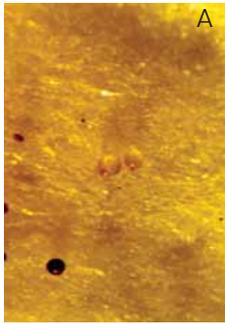
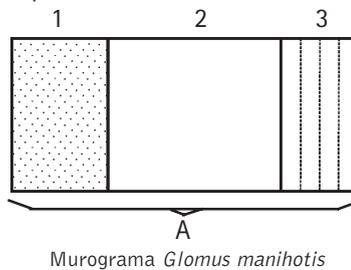


Figura 30. *Glomus manihotis*. A. Esporas vistas al estereoscopio (1.6X); B. Espora completa con conexión hifal (10X); C. Espora donde se aprecian las tres paredes esporales (10X); D. Detalle de la conexión hifal (40X).



I. Género *Glomus*
***Glomus* de esporas solitarias**



Distribución geográfica

Descrita por primera vez para Colombia y considerada de distribución tropical. Frecuentemente aislada en asocio con plantas en cultivo (Bhatia *et al.*, 1996; Cuenca *et al.*, 2003). En Colombia ha sido aislada en los departamentos de Cauca, Magdalena, y Meta, asociada a yuca (*Manihot esculenta*), frijol (*Phaseolus phaseoloides*) y pastos nativos (Schenck & Pérez, 1988).

En la región amazónica colombiana, se asocia con un amplio número de hospederos. Ha sido recuperada en los departamentos de Guaviare, asociado a pastos y abarco (*Cariniana pyriformis*) en sistema Listoagroforestal. En el departamento de Vaupés, Mitú asociado a ají (*Capsicum* sp.). En el departamento de Caquetá, Florencia, asociado a pastos.

En el departamento de Amazonas, Leticia, asociado a pastos y rizosferas de cedro amargo (*Cedrela odorata*), guamo (*Inga* sp.), *Cannavalia* sp., chontaduro (*Bactris gasipaes*), cedro macho (*Bombacopsis quinata*), yuca (*Manihot esculenta*), pomarroso (*Eugenia malacensis*), bacaba (*Oenocarpus bacaba*), y marañón (*Anacardium occidentale*).

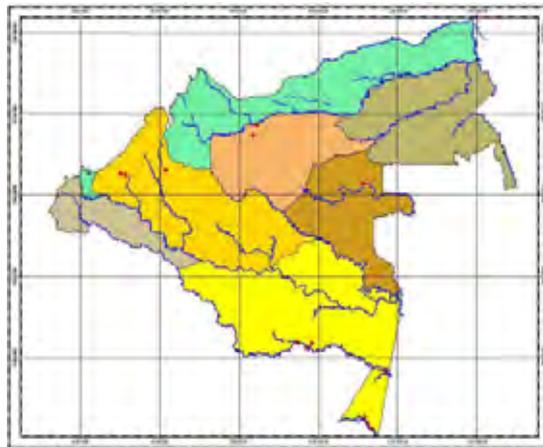


Figura 31. Lugares de la Amazonia colombiana donde se ha reportado *Glomus manihotis*

Fuente: Sistemas de Información Geográfica SIG. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. 2004

16. *Glomus* sp10

Descripción

Espora: Globosas a piriformes, de 140 a 180 micras de diámetro, de color negro a café oscuro al estereoscopio y rojo oscuro (2.5YR 3/6) a café rojizo oscuro (2.5YR 2.5/3 a 2.5/4) al microscopio. Solitarias o en grupos máximo de tres esporas, unidas a la base de una hifa común. Puede presentar un poco de mucílago en la superficie de la espora, pero generalmente se aíslan limpias.

Paredes de la espora: Presenta dos paredes formando un solo grupo. La pared externa es gruesa, laminada, de 10 a 15 micras de espesor, y es la que le confiere el color a la espora. Pegada a esta aparece una pared mas interna, delgada, sólida, flexible.

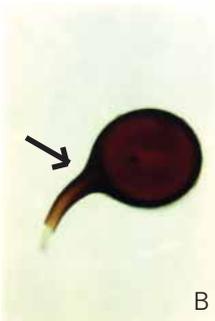
Conexión hifal: Formada a partir de la prolongación de la pared externa formando un cuello de 20 a 50 micras de largo que parte desde la espora y se prolonga hacia la hifa, por lo que conserva el mismo color de la espora. El canal de la hifa es amplio y recto, con paredes de 2 micras de espesor, del mismo color de la espora. En la parte mas ancha la conexión hifal alcanza un grosor de 30-40 micras. En la parte mas distal la hifa tiende a perder el color de la espora, se adelgaza levemente y se torna amarilla. En este punto la hifa tiende a ramificarse sin presentar septos.

Reacción Melzer: Negativa

Hasta la fecha no han sido descritas especies de *Glomus* con cuellos tan largos y escleróticos como la que se describe en este morfotipo. La especie mas cercana podría corresponder a *Glomus coronatum* (INVAM, 2003) por su conexión hifal en forma de embudo largo. Sin embargo, el morfotipo aquí descrito difiere de este último en el color y la composición de paredes, por lo que se presume es una especie no descrita.

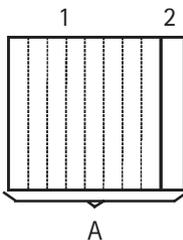


A



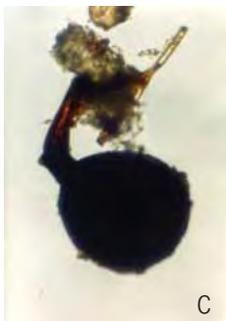
B

Figura 32. *Glomus* sp10. A. Esporas unidas sin formar esporocarpos (40X). B. Detalle de la conexión hifal formada por la continuación de las dos paredes esporales (40X); C. Espora solitaria completa (40X).



Murograma
Glomus sp10

I. Género *Glomus*
***Glomus* de esporas solitarias**



Distribución geográfica

En la Amazonia colombiana ha sido encontrada en el departamento de Vaupés, en la comunidad de San Pedro del Ti, municipio de Mitú, asociada a la rizosfera de ají (*Capsicum frutescens*) en huerto habitacional. En el departamento de Caquetá, municipio de Florencia asociado a la rizosfera de caucho (*Hevea brasiliensis*) en vivero. En el departamento de Guaviare, municipio El Retorno, asociado a agroforestales.

En el departamento de Amazonas, municipio de Leticia, en el sector de Los Lagos, asociado a leguminosas como *Inga edulis*, *I. thibaudiana*, *Dimorphandra cuprea*, *Senna reticulata*, *Abarema jupumba*, y *Enterolobium* sp., presentes en rastrojos y potrero; en la vía Leticia-Tarapacá se ha encontrado en bosque asociado a las rizosferas de las leguminosas *Inga alba*, *I. striolata*, *I. leptocarpa*, *I. cayennensis*, *I. umbellifera*, y *Parkia* sp., y en chagra asociado a leguminosas como *Inga edulis*, *I. cayennensis*, *I. thibaudiana*, e *I. gracilior*.

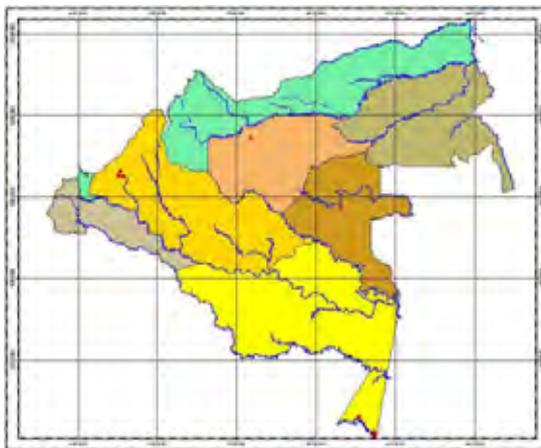


Figura 33. Lugares de la Amazonia colombiana donde se ha reportado *Glomus* sp10

Fuente: Sistemas de Información Geográfica SIG. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. 2004

17. *Glomus brohultii*

Descripción

Espora: Solitarias, de forma globosa a piriforme, de 80 a 160 micras de diámetro. De color negro a café oscuro al estereoscopio, y color negro a café oscuro (2.5YR 3/6) a rojo amarillento (5YR 5/8-4/6) al microscopio. Puede presentar mucílago adherido a la superficie y poros que atraviesan la pared del interior al exterior, pero en general la superficie es lisa.

Paredes de la espora: Posee un grupo con dos paredes: la pared externa es gruesa, de 6-10 micras, laminada y es la que le dá el color a la espora. La pared mas interna es membranosa, delgada, transparente y tiene a arrugarse levemente.

Conexión hifal: Muy gruesa con relación al tamaño de la espora, alcanza hasta 30 micras de espesor. Recta, de color amarillo, translúcida, de pared gruesa (2 micras de espesor), presenta septos bien definidos.

Reacción Melzer: Ninguna.

Este morfotipo tiene mucha similitud con *Glomus magnicaule*, especie descrita por Hall (1977) y Schenk & Perez (1988). Presentan en común una conexión hifal robusta, esporas oscuras y presencia de septos. Los morfotipos colectados en la Amazonia colombiana que corresponden a esta descripción, son un poco mas pequeños y no presentan un tapón en la base de la espora. *Glomus magnicaule* fue reportado por primera vez en Nueva Zelanda, pero no ha vuelto a ser reportado en trabajos recientes en ninguna otra parte del mundo.

El morfotipo aquí descrito también presenta similitudes con *Glomus brohultii* por su hifa ancha. Esta especie fue también reportada por Ochoa (1997) en la región amazónica y confirmada por el Dr. Edward Sieverding, quien la ha observado en países como Cuba, Costa Rica, México y Venezuela, por lo que homologamos este morfotipo a *Glomus brohultii*.

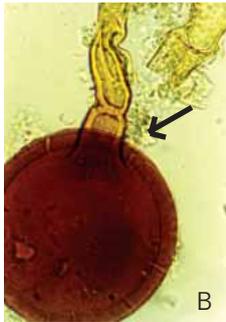
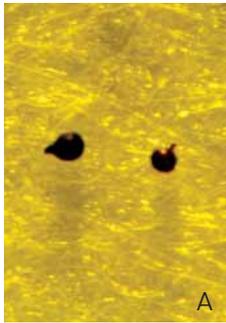
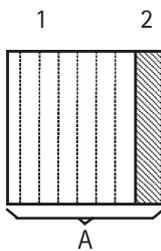


Figura 34. *Glomus brohultii*. A. Esporas vistas al estereoscopio de forma piriforme dada por la conexión hifal gruesa (1.6X). B. Espora completa donde se aprecia la conexión hifal gruesa, ancha y septada (40X).



Murograma
Glomus brohultii

I. Género *Glomus*
***Glomus* de esporas solitarias**

Distribución geográfica

En la Amazonia colombiana, se ha encontrado en el departamento de Guaviare, municipio de San José del Guaviare, en coberturas boscosas asociado a *Inga* sp., en potrero asociado a *Brachiaria decumbens*, y en agroforestales asociado a arazá (*Eugenia stipitata*). En el departamento de Caquetá, municipio de Belén de los Andaquíes, Morelia, Albania, vereda san Isidro, y San José de Fragua, asociado a caucho (*Hevea brasiliensis*) cultivado en agroforestal y monocultivo.

En el departamento de Amazonas, municipio de Leticia, en sistemas agroforestales pastos, rastrojos y bosque y asociado a leguminosas como *Abarema jupumba*, *Inga edulis*, *I. nobilis*, *I. gracilior*, *I. thibaudiana*, *I. bourgonii*, *I. fastuosa*, *Parkia* sp., *P. basijuga*, *P. Multijuga*, *Senna bacillaris*, *Mimosa* sp.; en el corregimiento de Tarapacá, Buenos Aires se ha aislado de rastrojos; en Ventura, Arica y las comunidades peruanas de San Martín, Bobona, Bella Vista y Bocana de Remanso se ha recuperado de chagras asociado a yuca (*Manihot esculenta*), plátano (*Musa* sp.) y chontaduro (*Bactris gasipaes*); en el Porvenir, Puerto Huila, El Encanto y Faraón, asociado a pastos.

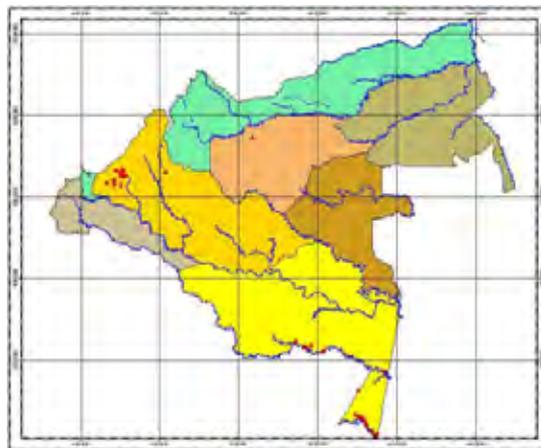


Figura 35. Lugares de la Amazonia colombiana donde se ha reportado *Glomus brohultii*

Fuente: Sistemas de Información Geográfica SIG. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. 2004

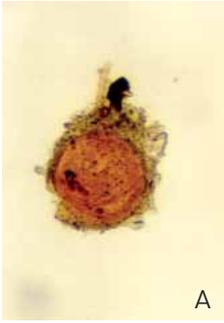
18. *Glomus intraradices*

Descripción

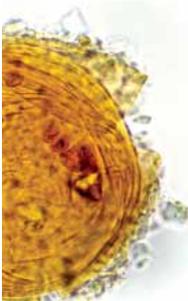
Espora: Solitaria, globosa, de 80 a 110 micras de diámetro. De color amarillo oliva (2.5Y 6/8) traslúcido al estereoscopio y microscopio, aún cuando se reportan esporas mas claras y mas oscuras en una amplia gama de colores (INVAM, 2000). Tiende a estar rodeada de detritos que le dan una apariencia sucia.

Paredes de la espora: Posee un grupo con tres paredes, de las cuales fácilmente se distingue la mas interna: Las dos primeras paredes externas son mucilaginosas y tiende a desaparecer al madurar la espora, por lo que generalmente no se observan, pero pueden evidenciarse como una capa de mucílago hasta de 8 micras de espesor que con el reactivo de Melzer se torna púrpura. La pared mas interna es ligeramente amarilla, traslúcida y está formada por varias capas sobrepuestas formando una pared laminada, de 2-4 micras de espesor que da una apariencia arrugada a la espora.

Conexión hifal: Recta, de 6-10 micras de ancho, de color amarillo traslúcido, mas clara que la espora, su pared esta formada por la continuación de la pared mas interna de la espora. Suele estar cubierta de detritos que son los remanentes de las dos primeras paredes esporales.



A

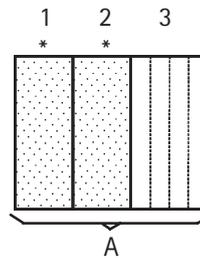


B



C

Figura 36. *Glomus intraradices*. A. Espora completa con conexión hifal (10X); B. Detalle de la composición de la pared esporal (40X); C. Detalle de la conexión hifal (100X).



Murograma *Glomus intraradices*

I. Género *Glomus*
***Glomus* de esporas solitarias**

Reacción Melzer: Se observa como la aparición de un color púrpura sobre los detritos de la espora en forma irregular, debido a la reacción de los remanentes de las primeras dos paredes.

Distribución geográfica

Es una de las especies de *Glomus* mas común de Florida, USA. Se ha reportado asociada a papaya (*Carica papaya*), tomate (*Lycopersicon esculentum*), apio (*Apium graveolens*), algunos cítricos (*Citrus* sp.), mani (*Arachis glabrata*), maíz (*Zea mays*), frijol (*Phaseolus vulgaris*), fresa (*Fragaria chiloensis*), zanahoria (*Daucus carota*), papa (*Solanum tuberosum*), avena (*Avena sativum*), trigo (*Triticum vulgare*) y *Stylosanthes* sp. (Schenk & Perez, 1988).

En la región amazónica colombiana *Glomus intraradices* solo ha sido encontrado en suelos rizosféricos provenientes del departamento de Amazonas asociado a potreros en la comunidad de Ventura, y en el municipio de Leticia, en las comunidades de San Juan de los Parentes, Mocagua, Zaragoza y San Martín de Amacayacu, asociado a pastos.

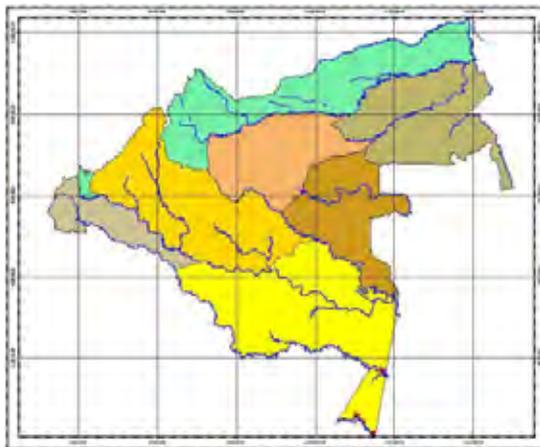


Figura 37. Lugares de la Amazonia colombiana donde se ha reportado *Glomus intraradices*

Fuente: Sistemas de Información Geográfica SIG. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. 2004

19. *Glomus* sp11

Descripción

Espora: Solitarias, de forma predominantemente subglobosa, grandes, de 120/180 a 180/200 micras de diámetro. De color negro a café oscuro al estereoscopio, y de café rojizo oscuro (2.5YR 2.5/3-2.5/4) a café amarillento (10YR 5/8). Al estereoscopio son similares a *Glomus* sp4, pero dos veces su tamaño.

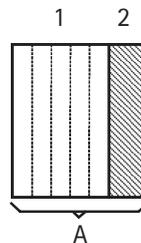
Paredes de la espora: Se distingue un grupo con dos paredes claramente distinguibles: Una pared externa, gruesa, de 6-8 micras de espesor, que le da el color a la espora, y que puede presentar poros que la atraviesan; y una pared mas interna, membranosa, transparente, flexible, que se desprende fácilmente de la pared externa. Su condición de pared flexible se evidencia al escachar la espora, con lo que se rompe la pared externa, pero la interna se conserva intacta.

Conexión hifal: En general se aíslan las esporas sin hifa. Parecería no ser una conexión hifal robusta, por su difícil oportunidad de observarla. Lo que a veces se encuentra es un canal en uno de los extremos de la espora en el cual la pared interna se prolonga al exterior, por lo que se presume que la hifa debe ser la prolongación de esta pared, siendo transparente, delgada y frágil.

Reacción Melzer: Ninguna.



Figura 38. *Glomus* sp11. A. Esporas completas vistas al estereoscopio (1.6X); B. Espora clara donde se observan la pared laminada externa y la pared interna delgada, transparente, flexible (40X); C. Espora mas oscura exhibiendo las dos paredes esporales (10X).



Murograma *Glomus* sp11

I. Género *Glomus*
***Glomus* de esporas solitarias**

Este morfotipo es similar en forma, color y composición de las paredes esporales con *Glomus* sp4, pero de mayor tamaño. Tiene igualmente semejanza con *G. geosporum* por su tamaño, color y forma, sin embargo no pudo comprobarse la especie dado que no se han encontrado esporas con conexión hifal presente que permita percibir el tapón que forma la pared interna en la luz de la conexión hifal. Las esporas estudiadas tampoco presentan restos mucilaginosos externos, ni remanentes de paredes evanescentes, aislandosen siempre limpias, por lo que para este catálogo se tomó como una especie diferente.

Distribución geográfica

En la región amazónica colombiana, se ha aislado en suelos del departamento de Guaviare, en El Retorno, asociado a plantas en agroforestal y en el municipio de San José del Guaviare bajo potreros. En el departamento de Caquetá asociado a zonas de cultivo y rastrojo. En el departamento de Putumayo, en chagras. En del departamento de Amazonas, en el municipio de Leticia, asociado a coberturas de rastrojo.

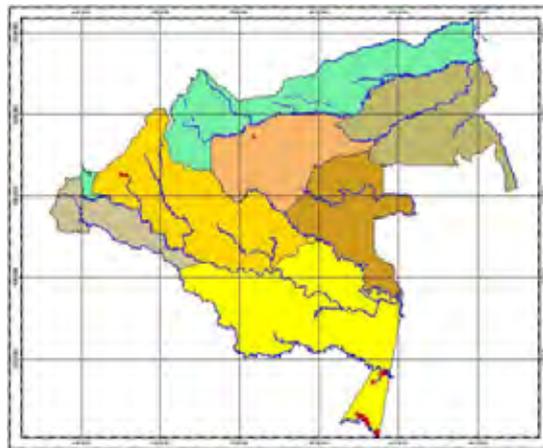


Figura 39. Lugares de la Amazonia colombiana donde se ha reportado *Glomus* sp11

Fuente: Sistemas de Información Geográfica SIG. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. 2004

20. *Glomus viscosum*

Descripción

Espora: Globosa, hialina o blanca, con detritos adheridos a su superficie, de 50-120 micras (INVAM, 2000), aún cuando en las muestras aisladas de suelos de la Amazonia colombiana se encuentran esporas mas grandes, hasta de 180 micras de diámetro. Generalmente solitarias, aún cuando pueden aparecer dos esporas unidas a un mismo talo hifal.

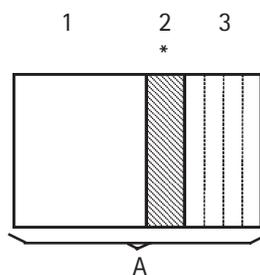
Paredes de la espora: Posee un solo grupo formado por tres paredes: La pared externa es flexible, de espesor variable con un máximo de 6 micras, la cual adhiere gran cantidad de detritos. Aparentemente existe una fina capa entre la pared externa y la laminada, la cual no se evidencia fácilmente al microscopio (INVAM, 2000). La pared mas interna es laminada, hialina, semi-rígida, de 2 micras de espesor.

Conexión hifal: Recta, transparente, hasta de 18 micras de grosor en la base de la espora, de paredes gruesas, continuas con las paredes de la espora. No forma septos.

Reacción Melzer: Ninguna.



Figura 40. *Glomus viscosum*. A. Espora completa con conexión hifal recta (10X); B. Espora completa con conexión hifal del mismo color y detritos adheridos en su superficie (10X); C. Esporas con detritos en su superficie, unidas a un mismo talo hifal (40X).



Murograma *Glomus viscosum*

I. Género *Glomus*
***Glomus* de esporas solitarias**

Distribución geográfica

Reportada por primera vez en Europa (Walker *et al.*, 1995).

En la región amazónica colombiana, ha sido recobrada de suelos provenientes del departamento de Amazonas, municipio de Leticia, en Nazaret y San Martín de Amacayacu, asociado a abarco y pastos; en Cotuhe, corregimiento de Tarapacá, asociado a caña de azúcar; y en Faraón asociado a coberturas de potrero. En el departamento de Guaviare, San José del Guaviare, asociado a la rizosfera de arazá (*Eugenia stipitata*) y pastos. Y en el departamento de Caquetá, municipio de Florencia, asociado a pastos.

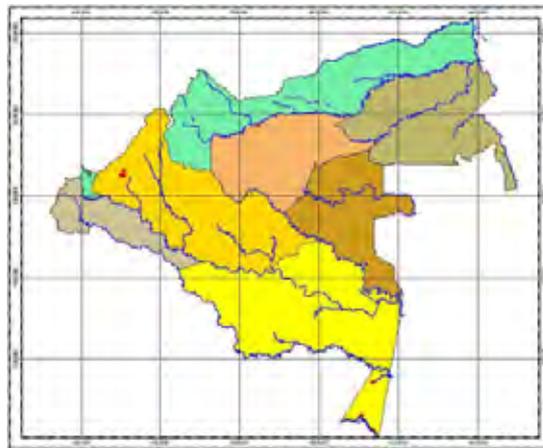


Figura 41. Lugares de la Amazonia colombiana donde se ha reportado *Glomus viscosum*

Fuente: Sistemas de Información Geográfica SIG. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. 2004

21. *Acaulospora foveata*

Descripción

Espora: Globosa o subglobosa, grande de 250-400 micras, aún cuando INVAM (2000) reporta esporas hasta de 300 micras. De color café rojizo oscuro al estereoscopio (2.5YR 2.5/3-2.5/4) y naranja a rojo oscuro al microscopio (5YR 5/6-5/8, 2.5YR 3/6). Al estereoscopio es posible apreciarla como una espora ornamentada, pues la superficie se observa como irregular.

Paredes de la espora: Formada por tres grupos de paredes: La mas externa formada por una pared hialina que pocas veces se evidencia y una pared laminada, concolora de hasta 18 micras de espesor, ornamentada con profundas depresiones concavas, de hasta 12 micras de diámetro. Un segundo grupo de paredes esta formada por dos paredes sólidas, transparentes que se evidencian como una sola. El grupo de paredes mas interno de 2 micras de espesor está formado por dos paredes, una coracea, de superficie "beaded", la cual reacciona en Melzer y una mas interna, muy pegada a la anterior, evidenciandolos en al microscopio de luz como una sola.

Cicatriz: 12-16 micras de diámetro, aparece en una zona con ornamentación suave (Janos & Trappe, 1982).

Reacción Melzer: La pared interna se torna roja.

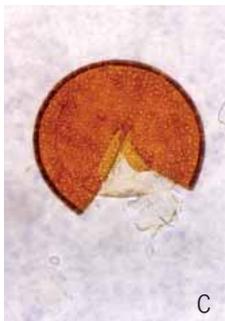
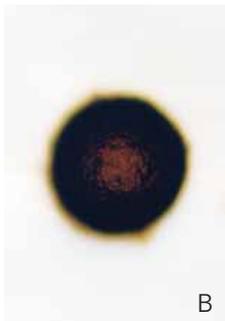
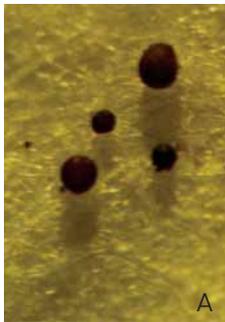
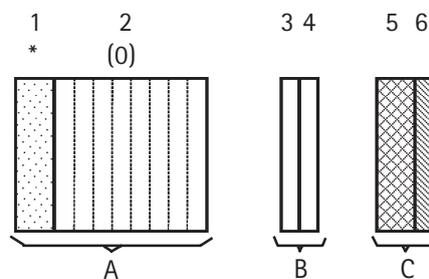
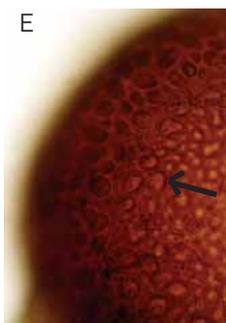
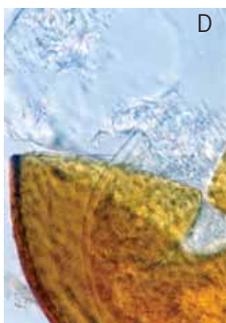


Figura 42. *Acaulospora foveata*. A. Esporas vistas al estereoscopio (1.6X); B. Espora completa en donde se observa la ornamentación de la pared externa (10X); C. Espora rota donde se observan las diferentes paredes (20X); D. Espora rota donde se observan las diferentes paredes (40X); E. Detalle de la ornamentación externa de la espora (40X).



Murograma *Acaulospora foveata*



Distribución geográfica

Ha sido reportada en suelos húmedos tropicales en México, Costa Rica y Panamá (Janos & Trappe, 1982), asociada a cultivos de cacao (*Theobroma cacao*), banano (*Musa sp*) y caña de azúcar (*Sacharum officinarum*).

Acaulospora foveata tiene una amplia distribución en la región amazónica colombiana. Se ha reportado asociada a ají (*Capsicum sp*) en el departamento de Guaviare- El Porvenir, departamento de Putumayo- Puerto Guzmán y San Miguel, departamento de Vaupés-Mitú, departamento de Vichada a orillas del río Guaviare y Vichada. Igualmente se ha encontrado en el departamento de Guaviare, municipio de San José del Guaviare, Agua Bonita, asociada a pastos en potrero, en el departamento de Caquetá, municipios de Florencia y Morelia asociada a caucho (*Hevea brasiliensis*) en cultivo, y en el departamento de Guainía, Puerto Inírida, asociado a agroforestales.

En el departamento de Amazonas, municipio de Leticia, asociado a varios cultivos, y a Abarco (*Cariniana pyriformis*), caña de azúcar, y leguminosas como *Abarema jupunba*, *Inga cylindrica*, *I. laterifolia*, *I. thibaudiana*, *I. edulis*, *I. macrophylla*, *Senna bacillaris*, *S. macrophylla*, *S. reticulata* y *Parkia sp.*, y en las comunidades de Mocagua, Macedonia, San Martín de Amacayacu y Zaragoza asociada a coberturas de bosque maduro, pastos y rastrojos; en el municipio de Puerto Nariño, asociada a *Brachiaria decumbens*; En el límite peruano con Colombia sobre el río Putumayo en Santa Marta, San Martín, Curinga y Primavera, bajo diferentes coberturas.



Figura 43. Lugares de la Amazonia colombiana donde se ha reportado *Acaulospora foveata*

Fuente: Sistemas de Información Geográfica SIG. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. 2004

22. *Acaulospora rehmi*

Descripción

Espora: Globosa o subglobosa, de 100-160 micras de diámetro, de color blanco al estereoscopio, y blanca o amarilla clara (2.5Y 8/6) al microscopio.

Paredes de la espora: Compuesta por tres grupos de paredes: El mas externo está formado por una pared externa evanescente difícilmente apreciable seguida por una pared gruesa, hasta de 13 micras, ornamentada con depresiones de menos de 2 micras de diámetro en esporas jóvenes, las cuales se van uniendo hasta formar un patrón labirintiforme o cerebroide; un segundo grupo de paredes está formado por una pared unitaria, transparente, de menos de 2 micras; el grupo interno de menos de 2 micras está formado por una pared corácea de superficie "beaded", y la mas interna transparente, la cual solo se evidencia con el reactivo de Melzer.

Cicatriz: Difícilmente distinguible por la ornamentación externa. Según INVAM (2000) la cicatriz está en un rango de 7-12 micras de diámetro.

Reacción Melzer: La pared mas interna reacciona tornándose roja.

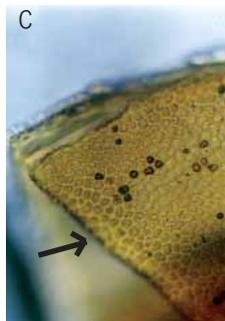
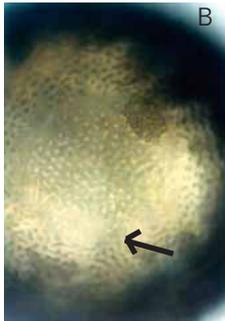
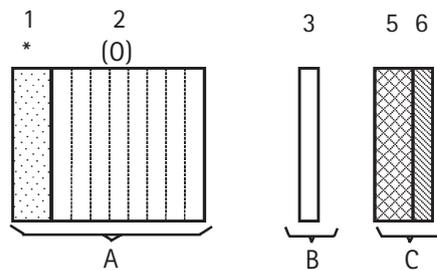


Figura 44. *Acaulospora rehmi*. A. Espora completa (10X); B. Pare externa de una espora joven con depresiones pequeñas y poco profundas (40X); C. Pared externa ornamentada de una espora madura (40X); D. Patrón laberintiforme formada por la unión de las depresiones de la pared externa (40X).



Murograma *Acaulospora rehmi*



Distribución geográfica

Aislada por primera vez de un cultivo del Valle del Cauca, Colombia (Sieverding & Toro, 1987). Esta también ha sido asociada a yuca (*Manihot esculenta*), frijol, sorgo y *Crotalaria* sp. y comúnmente presente en suelos arcillosos.

En la región amazónica colombiana ha sido aislada de suelos de los departamentos de Guaviare, municipio de San José del Guaviare, asociado a pastos en potrero, a guamas (*Inga* sp) y arazá (*Eugenia estipitata*); en el departamento de Vaupés, en la comunidad Macaquiño, municipio de Mitú, asociada a ají (*Capsicum* sp) en huerto habitacional; en el departamento de Amazonas, municipio de Leticia, asociado a la rizosfera de piña (*Ananas comosus*), abarco (*Cariniana pyriformis*), *Mucuna* sp., marañón (*Anacardium occidentale*) y yuca (*Manihot esculenta*); y en Perú en la comunidad de Santa Rosa asociado a especies de chagra. Y en el departamento de Caquetá, municipio de Florencia, asociado a pastos.

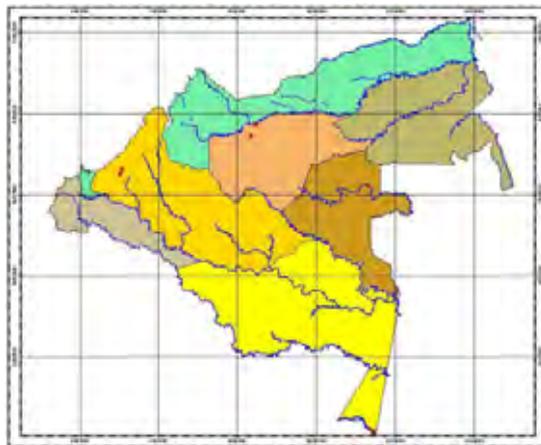


Figura 45. Lugares de la Amazonia colombiana donde se ha reportado *Acaulospora rehmii*

Fuente: Sistemas de Información Geográfica SIG. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. 2004

23. *Acaulospora tuberculata*

Descripción

Espora: Globosa, de 170 a 280 micras de diámetro, de color café oscuro (7.5YR 3/4) a café fuerte (7.5YR 4/6) al estereoscopio, y de oliva (5Y 5/6) a amarillo oliva (5Y 6/8) al microscopio.

Paredes de la espora: Formada por dos grupos de paredes fácilmente distinguibles: La primera unidad, la más externa, está formada por una pared hialina remanente del sáculo la cual no ha sido observada. INVAM (2003) la reporta como muy delgada, difícil de evidenciar. Seguidamente aparece una pared laminada, que le confiere el color a la espora, ornamentada con proyecciones tuberculares de 1 micras de ancho y de 1.5 a 3.5 micras de alto, con terminación redondeada convexa, semejando la forma de dientes. Esta ornamentación forma un patrón rugoso sobre la superficie de la espora similar a la piel de naranja que al unirse muchas veces genera un segundo patrón que se aprecia como hexágonos unidos. Una segunda pared aparece debajo de la pared laminada, muy pegada a esta. Es de color más claro, delgada, flexible, no mayor a 2 micras de espesor. El segundo grupo de paredes está formado por dos paredes denominadas por INVAM (2003) como germinales, de las cuales la que fácilmente se evidencia es una transparente, de 2 micras de espesor, la cual posee una superficie rugosa o "beaded", seguida por una pared interna, membranosa, transparente, que tiende a arrugarse y es la que contiene el citoplasma de la espora.

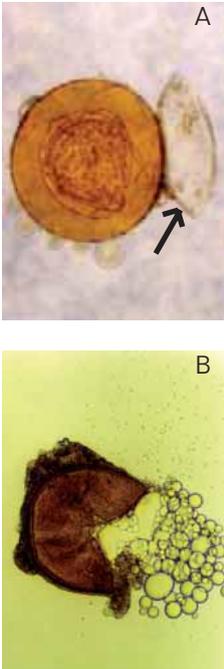
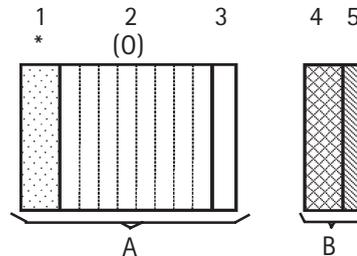


Figura 46. *Acaulospora tuberculata*. A. Espora completa unida al sáculo (20X); B. Espora rota en donde se destaca la ornamentación externa (10X); C. Detalle ornamentación de la pared esporal externa en donde se aprecia las proyecciones y el patrón que forman en la superficie de la espora (40X); D. Detalle de la composición de la pared, incluida la cicatriz (40X).

Murograma
Acaulospora tuberculata



II. Género *Acaulospora*



Cicatriz: Difícil de observar por la ornamentación de la espora. Pero cuando se observa aparece como una marca ovoide de 9-16 micras de diámetro, que aparece en una de las zonas donde no hay ornamentación.

Reacción Melzer: La pared "beaded" reacciona tornándose rosada.

Distribución geográfica

Según Janos & Trappe (1982) es una especie rara encontrada en bosques húmedos tropicales de Costa Rica y Panamá.

Esta especie ha sido encontrada en la región amazónica de Colombia en el departamento de Amazonas, en el municipio de Leticia en agroforestales, rastrojos y chagras, asociado a algunas leguminosas como *Inga edulis*, *Abarema jupunba*, *Senna bacillaris*, e *Inga fastuosa*; en Caña Brava, a orillas del río Cotuhé, asociado a la rizosfera de Caña de azúcar (*Sacharum officinarum*) y en El Encanto de suelo de potreros; y sobre el río Putumayo, en la Isla de la Fantasía, aislado de chagras. En el departamento del Guaviare, municipio de San José del Guaviare, en agroforestales. En la orilla peruana sobre el río Putumayo, en Santa Rosa asociado a chagras y en Pesquerías aislado de bosque. Y en el departamento de Caquetá, municipio de Florencia, asociado a pastos.

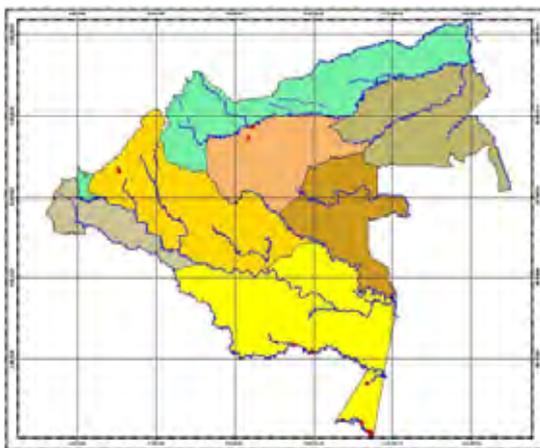
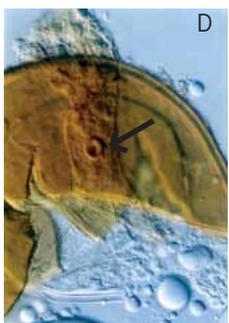


Figura 47. Lugares de la Amazonia colombiana donde se ha reportado *Acaulospora tuberculata*

Fuente: Sistemas de Información Geográfica SIG. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. 2004

24. *Acaulospora morrowiae*

Descripción

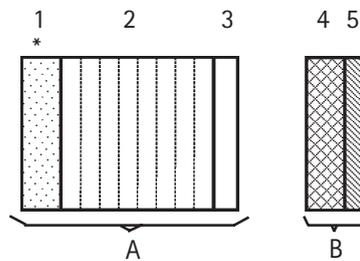
Espora: Globosa, de color amarillo al estereoscopio (2.5Y 7/8) y microscopio, de 60-120 micras de diámetro. Aún cuando se reporta que es de menor tamaño que *A. mellea*, muchas veces el tamaño de las dos es similar en esporas aisladas de suelo de la Amazonia colombiana.

Paredes de la espora: Se evidencian dos grupos de paredes: la mas externa, hialina no se aprecia claramente al microscopio de luz, pues tiende a perderse al separar las esporas por centrifugación en gradiente de sucrosa (INVAM, 2000). Pero cuando se evidencia, parece arrugarse en montajes con PVLG (INVAM, 2000), o adherir detritos (Schenck *et al.*, 1984). La siguiente pared, es laminada, de color amarillo, de 2-4 micras de espesor, pegada a esta está una pared mas interna, delgada, que suele no apreciarse. El grupo mas interno de paredes está formado por una pared corácea de superficie "beaded" y una pared hialina, de no mas de 0.5 micras de espesor, que tiende a arrugarse, y es la que contiene el citoplasma de naturaleza amorfa, globular, cristalina.

Cicatriz: De menor tamaño a la formada por *A. mellea*, de 8 a 10 micras de diámetro.



Figura 48. *Acaulospora morrowiae*. A. Esporas vistas al estereoscopio (1X); B. Espora completa (10X); C. Espora rota unida al sáculo y donde se aprecia la composición de la pared esporal (20X); D. Detalle de la composición de la pared esporal (40X).



Murograma *Acaulospora morrowiae*



Reacción Melzer: La pared mas interna reacciona, tornándose café-marrón.

Distribución geográfica

Se reportó por primera vez en Carimagua, Colombia, por lo que ha sido asociada a suelos ácidos.

En la región amazónica colombiana se ha aislado en el departamento de Amazonas, municipio de Leticia, en el Km 6, Mocagua, San martin de Amacayacu y Zaragoza, bajo pastos y coberturas de rastrojo, asociado a las rizosferas de leguminosas como *Inga bourgonii* e *I. thibaudiana*; en el municipio de Puerto Nariño, asociado a la rizosfera de *Brachiaria decumbens*, y en Faraón, asociado a pastos. Y en el departamento de Caquetá, municipio de Florencia, asociado a pastos.

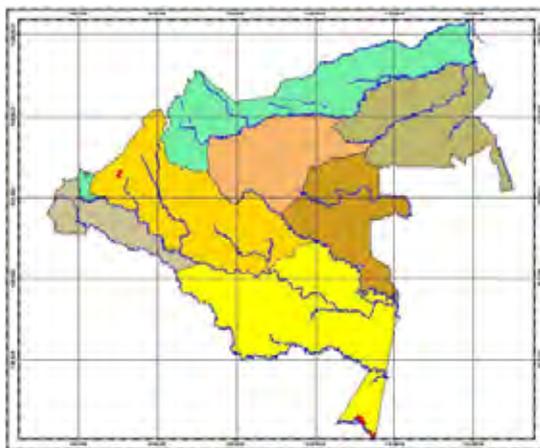


Figura 49. Lugares de la Amazonia colombiana donde se ha reportado *Acaulospora morrowiae*

Fuente: Sistemas de Información Geográfica SIG. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. 2004

25. *Acaulospora mellea*

Descripción

Espora: Globosa, de 72-100 micras, color amarillo-oliva (5Y 6/6) al estereoscopio, amarillo a oliva pálido en el microscopio (5Y 7/6-6/4), translúcidas. El color fue definido por Schenck *et al.* (1984) como miel, de donde derivó su nombre.

Paredes de la espora: Claramente se distinguen dos grupos de paredes: La pared mas externa, laminada, que le da el color a la espora, de 2-4 micras de espesor, Schenck *et al.* (1984) reporta un mayor grosor, pero en las esporas aisladas de la Amazonia colombiana no se ha encontrado tan gruesa. Según (INVAM, 2003) existe la presencia de una pared hialina externa, la cual no ha sido observada. Seguida a la pared laminada existe otra pared la cual ha sido descrita como laminada o semi-rígida (INVAM, 2003), siendo mas fácilmente observada como una pared sólida semi-rígida. El segundo grupo de paredes internas está formada por una pared corácea "beaded" de 0.6 a 1.2 micras de espesor y una pared interna, transparente, membranosa, delgada 0.5-1 micra de espesor.

Cicatriz: Cicatriz de 8 micras de ancho con un poro central de 1 micra

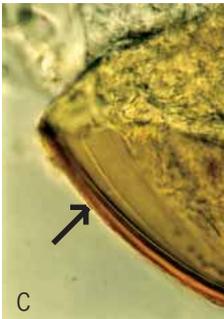
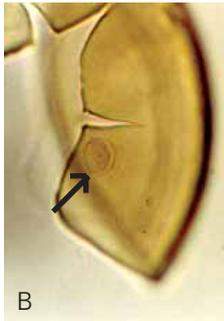
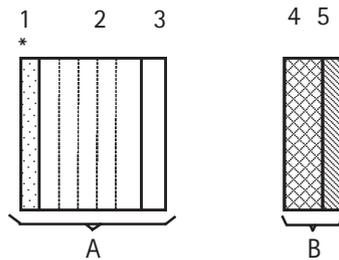
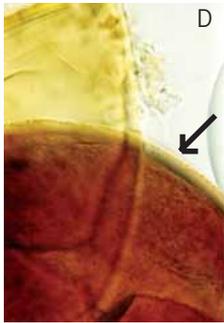


Figura 50. *Acaulospora mellea*. A. Detalle de la pared externa lisa y de color miel (40X); B. Detalle de la cicatriz (40X); C. Detalle de la composición de la pared esporal (40X); D. Reacción positiva al reactivo de Melzer de la pared mas interna (40X).



Murograma *Acaulospora mellea*



Reacción Melzer: La pared mas interna se torna rojo oscuro, sin embargo no siempre se da la reacción en las esporas.

Distribución geográfica

Ampliamente distribuida en Sur América. Parece tener una afinidad por los suelos arcillosos (Bhatia *et al.*, 1996). Se reportó por primera vez en Carimagua, Colombia; también ha sido reportada en el norte de Brasil, cerca de Belém, asociada ala rizosfera de la pimienta negra (*Piper nigrum*), en São Pablo asociado a la rizosfera de café (*Coffea arabica*), en la región de Minas Gerais. En Norte América ha sido reportada en Estados Unidos en el estado de Florida, asociada a pastos.

En la región amazónica colombiana, ha sido aislada en el departamento de Amazonas, sobre el río Putumayo en Ventura, Gaudencia, Porvenir, Alegría, Puerto Huila, Arica y Faraón, bajo potreros y cultivos de yuca (*Manihot esculenta*) y plátano (*Musa sp*). En la orilla peruana sobre el río Putumayo en Puerto Franco, Curinga, y Puerto Nuevo bajo potreros y cultivos de yuca.

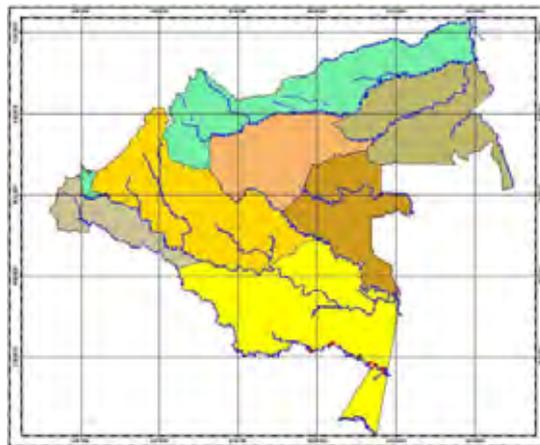


Figura 51. Lugares de la Amazonia colombiana donde se ha reportado *Acaulospora mellea*

Fuente: Sistemas de Información Geográfica SIG. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. 2004

26. *Scutellospora* sp1

Descripción

Espora: Globosa, de 120 a 280 micras de diámetro, transparente a amarillo pálido (5Y 8/3-8/4).

Paredes de la espora: Presenta dos grupos de paredes: el grupo externo está formado por una pared hialina externa, seguida por una pared laminada, transparente a amarillo pálido, de 4 micras de espesor. Al microscopio con contraste de interferencia, aparece la superficie levemente ondulada, simulando una ornamentación muy sutil. Sin embargo, esta característica no ha podido ser verificada como una ornamentación verdadera, pudiendo ser el efecto del juego de lentes y luz. El grupo de paredes internas está formado por aproximadamente 3 capas de paredes membranosas, transparentes, delgada, que tienden a arrugarse.

Celula suspensoria: En forma de perilla, de 25-35 micras de ancho, pared delgada, transparente, que se continua con una hifa igualmente transparente y delgada que puede o no presentar septos.

Escudo: Difícilmente apreciable. Sin embargo podría corresponder a una zona un poco mas densa de la pared, sin color, de bordes ondulados, que se evidencia al escachar la espora.

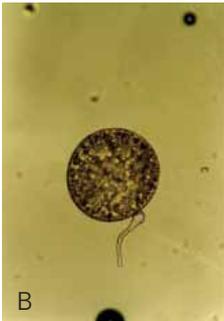
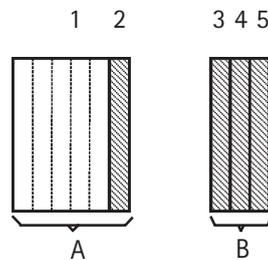
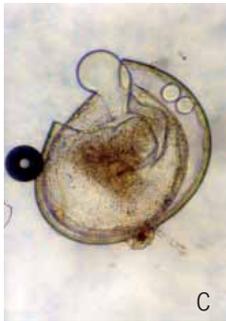


Figura 52. *Scutellospora* sp1. A. Espora con célula suspensoria (40X); B. Espora completa con célula suspensoria y contenido citoplasmático que le dan una apariencia granular (40X); C. Espora rota mostrando la composición de la pared esporal (40X); D. Espora exhibiendo contenido citoplasmático granular (40X); E. Patrón superficial de la espora algunas veces observado pero no corroborado como una ornamentación real (100X).



Murograma *Scutellospora* sp1



Reacción Melzer: La célula suspensoria se torna levemente rosada.

Esta especie fue revisada por la Dra. Gisela Cuenca, quien encontró que es similar a *Scutellospora gilmoreii*, pero esta última es de color amarillo y mas pequeña que la *Scutellospora* hialina aquí descrita, por lo que presumiblemente es una especie nueva.

Distribución geográfica

Esta especie ha sido aislada en el departamento de Amazonas, municipio de Leticia y Puerto Nariño, tanto en bosque como en rastrojos, asociado a las leguminosas *Inga edulis*, *Inga fastuosa* y *Abarema jupunba*, y en potreros con *Brachiaria decumbens*; también se ha encontrado en Ventura, asociado a pastos. Y en el departamento de Guaviare, El Retorno, asociado a abarco (*Cariniana pyriformis*).

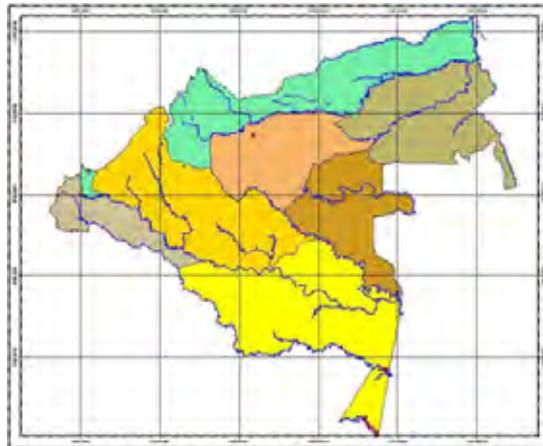


Figura 53. Lugares de la Amazonia colombiana donde se ha reportado *Scutellospora* sp1

Fuente: Sistemas de Información Geográfica SIG. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. 2004

27. *Scutellospora pellucida*

Descripción

Espora: Generalmente globosa, aún cuando puede ser subglobosa de 180 a 220 micras, de color blanca-transparente al estereoscopio, blanca a levemente amarilla al microscopio.

Paredes de la espora: Tiene dos grupos de paredes: Uno externo de 3 micras de grosor, formado por una pared unitaria, transparente, externa, seguida de una pared laminada, de color amarillo pálido-transparente (5Y 8/4) al microscopio y en seguida una pared membranosa unida a la laminada. El grupo interno de 2 micras de grosor, está formado por tres capas que se aprecian al microscopio de luz como una sola. La primera pared es membranosa, seguida de una pared sólida y una pared interna amorfa.

Célula suspensoria: Con forma de bulbo transparente de 35-38 micras de ancho. Aún cuando INVAM (2000) reporta dos capas en su pared, solo se observa claramente una de 1 a 2 micras, del mismo color de la espora. En su superficie presenta gotitas adheridas de forma irregular, fácilmente observables.

Escudo: Se aprecia con relativa facilidad. Este de forma ovoide, presenta invaginaciones de diferente profundidad en su margen, de color amarillo (2.5Y 7/8), mas oscuro que la espora.

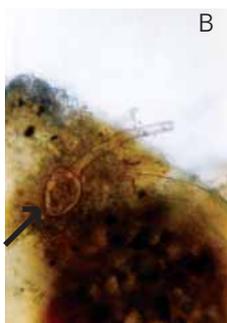
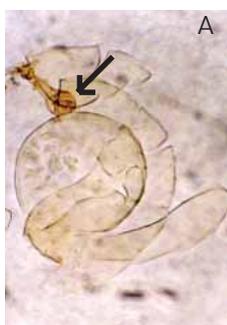
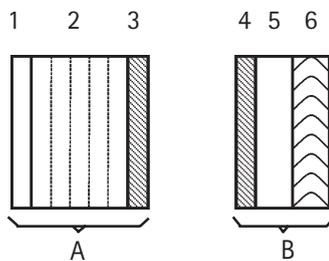
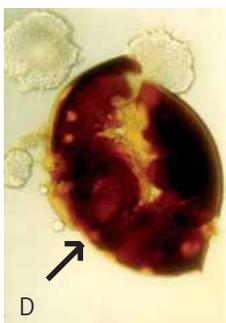


Figura 54. *Scutellospora pellucida*. A. Espora rota mostrando paredes y célula suspensoria (10X); B. Detalle de la célula suspensoria y el escudo germinal visible en forma parcial (40X); C. Detalle del escudo germinal (40X); D. Reacción positiva al Melzer de la pared laminada (10X).



Murograma *Scutellospora pellucida*



Reacción Melzer: Tanto la pared laminada como la pared interna amorfa reaccionan al reactivo de Melzer tornándose roja y rojo-morado respectivamente, siendo mas evidente la reacción en la pared laminada.

Distribución geográfica

Generalmente se ha aislado en regiones de suelos arenosos (Bhatia, 1996). Es comúnmente reportada en los Estados Unidos (Koske & Walker, 1986).

En la Amazonia colombiana ha sido aislada de ají (*Capsicum* sp) en la comunidad Cajaro, departamento del Vichada, límite de la Amazonia y Orinoquia; de la Isla de la Fantasía y kilómetro 6 via Leticia-Tarapacá, departamento de Amazonas, asociada a leguminosas como *Abarema jupunba*, *Inga edulis* y *Senna bacillaris*.

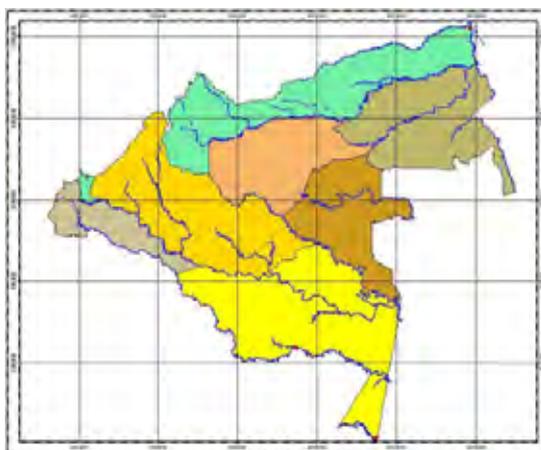


Figura 55. Lugares de la Amazonia colombiana donde se ha reportado *Scutellospora pellucida*

Fuente: Sistemas de Información Geográfica SIG. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. 2004

28. *Scutellospora spinosissima*

Descripción

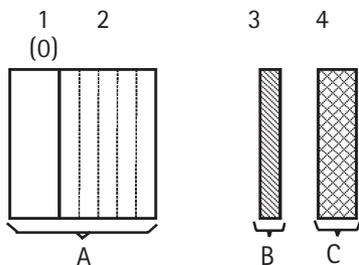
Espora: Globosa, de 125-260 micras de diámetro, hialina, amarillo pálido (5Y 8/8) traslúcido a café fuerte (7.5YR 4/6) al estereoscopio. Al microscopio se observan de color amarillo claro a rojo amarillento (5YR 4/6).

Paredes de la espora: Formada por tres unidades: la mas externa es una pared hialina, delgada. Seguidamente una pared laminada, hasta de 4 micras de espesor, ornamentada densamente con pequeñas espinas que al microscopio de luz normal lucen como pequeñas ampollas en la superficie de la espora. La unidad mas interna esta formada por varias paredes membranosas, hialinas, flexibles, de las cuales se distingue fácilmente la mas externa. Walker *et al.* (1998) reporta dentro de las paredes internas, una pared coreácea, difícilmente distinguible y que al microscopio de luz aparece como una mas de las paredes membranosas internas.

Celula suspensoria: Bulbosa, amarilla transparente a amarilla, de 24-40/48-50 micras de diámetro, de pared gruesa de hasta 4 micras de espesor. Walker *et al.* (1998) la reportan de un diámetro un poco menor a las encontradas en la Amazonia colombiana. Las esporas que pierden la célula suspensoria pueden ser confundidas con esporas de *Acaulospora tuberculata*, por lo que es importante verificar la composición de pared y la ornamentación externa densa de espinas pequeñas.



Figura 56. *Scutellospora spinosissima*. A. Espora clara en donde se observa la célula suspensoria y la ornamentación externa (40X); B Espora oscura completa (10X); C. Detalle de la composición de la pared esporal (40X); D. Detalle del patrón que puede formar la ornamentación externa en la superficie de la espora (40X); E. Detalle de la ornamentación externa de espinas (100X); F. Detalle de la célula suspensoria (40X).



Murograma *Scutellospora spinosissima*



D

Escudo: Difícil de observar. Walker *et al.* (1998) lo describen como hialino, con pliegues que en los bordes suelen ser mas gruesos.

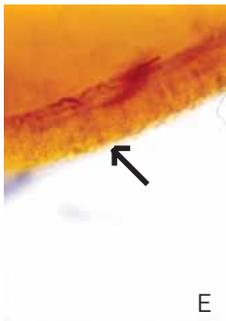
Reacción Melzer: Una de las paredes internas se torna rojiza.

Distribución geográfica

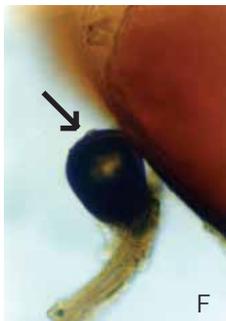
Scutellospora spinosissima había sido reportada únicamente para La Gran sabana venezolana bajo suelos ácidos de baja fertilidad, arenosos, ricos en materia orgánica, asociada a especies de la familia Rapateaceae.

En la región amazónica colombiana ha sido hallada en el departamento de Amazonas, municipio de Leticia, entre los desechos de caña de azúcar y leña de un antiguo trapiche, que se acumularon formando una capa profunda y sobre la cual ha crecido grama natural. Y en el departamento de Caquetá en suelos de vega de río.

De acuerdo a las características de donde ha sido aislada, esta especie solo ha sido hallada en suelos con alto contenido de materia orgánica. Es posible que la distribución de la especie sea mas amplia, pero que solo esporule en estas condiciones, por lo que generalmente pasa desapercibida.



E



F

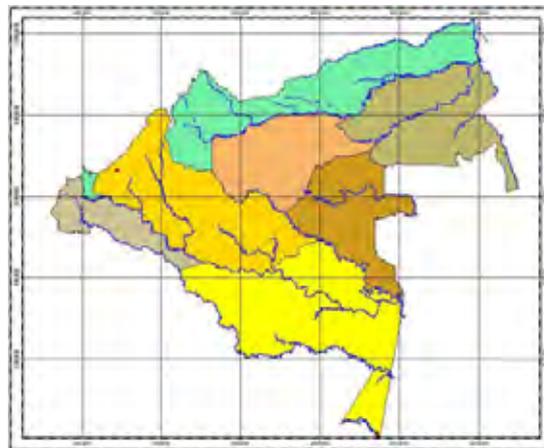


Figura 57. Lugares de la Amazonia colombiana donde se ha reportado *Scutellospora spinosissima*

Fuente: Sistemas de Información Geográfica SIG. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. 2004

29. *Archaeospora leptoticha*

Descripción

Paredes de la espora: Fácilmente se observan cuatro paredes: Una pared externa, de superficie irregular, mayor de 6 micras de espesor, la cual tiende a cuartearse. Suele adherir detritos a su superficie. Morton *et al.* (1997), reporta que en esporas viejas recogidas de campo o almacenadas por mucho tiempo, la superficie de la espora forma un patrón cerebriforme, que también se ha observado en esporas guardadas en nevera.

Existe una segunda pared, que no se diferencia claramente de la pared externa, pero que se evidencia por ser la que se extiende hacia el pedicelo, ornamentada con una superficie de protuberancias convexas como pequeñas ampollas. La pared interna es, laminada, de color hialino, ornamentada con depresiones cóncavas redondas de 2 micras que se distinguen más fácilmente que las protuberancias de la pared anterior, seguida de una pared más interna, descrita por Morton *et al.* (1997), pero no se evidencia claramente al microscopio de luz.

Pedicelo: Recto o levemente curvo, de 24 micras de ancho, del mismo color que la espora, formado por la continuación de las paredes externas, de paredes gruesas de 8 micras de espesor.

Reacción Melzer: La pared externa reacciona tornándose de color rojo-púrpura intenso.

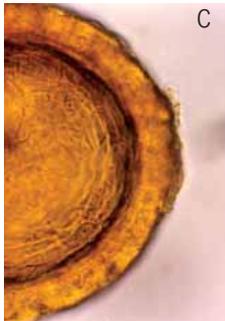
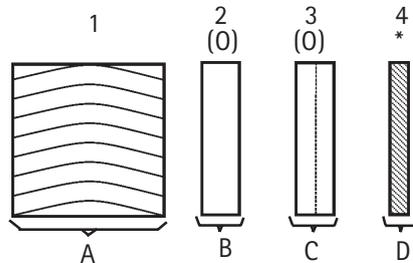


Figura 58. *Archaeospora leptoticha*. A. Espora completa con conexión hifal (10X); B. Espora completa donde se aprecian las grietas de la pared externa (20X); C. Detalle de la composición de la pared esporal (40x); D. Reacción de la pared externa al Melzer positiva, tornándose roja (20X).



Murograma *Archaeospora leptoticha*

IV. Género *Archaeospora*



Distribución geográfica

Tiene una distribución amplia en el continente americano. Se ha asociado a suelos ácidos con concentraciones bajas de fósforo disponible (Bhatia *et al.*, 1996). Ha sido aislada de Colombia, en Carimagua; en Brasil cerca de Araripina y Pernambuco; en Nicaragua, asociada a rizosferas de pastos; en Venezuela, cerca de Guanare; en Estados Unidos, West Virginia, asociado a la rizosfera de *Andropogon virginicus*. También ha sido reportado en el continente africano en Nigeria, cerca de Sadore (Morton *et al.*, 1997).

En la Amazonia colombiana se ha encontrado en los departamentos de Vichada y Guaviare-Calamar asociado a ají (*Capsicum* sp); en el departamento de Caquetá, en el municipio de Albania, Belén de los Andaquíes, Florencia, San José de Fragua, y la vereda San Isidro, asociado a caucho (*Hevea brasiliensis*) en monocultivo y pastos; en el departamento de Amazonas, Leticia bajo grama natural, rastrojos y bosques, y asociada a bacaba (*Oenocarpus bacaba*), pan del árbol (*Artocarpus altilis*), pomarroso (*Eugenia malacensis*), plátano (*Musa* sp), pasto imperial, y leguminosas como *Inga edulis*, *I. nobilis*, *I. gracicolor* y *Parkia* sp.

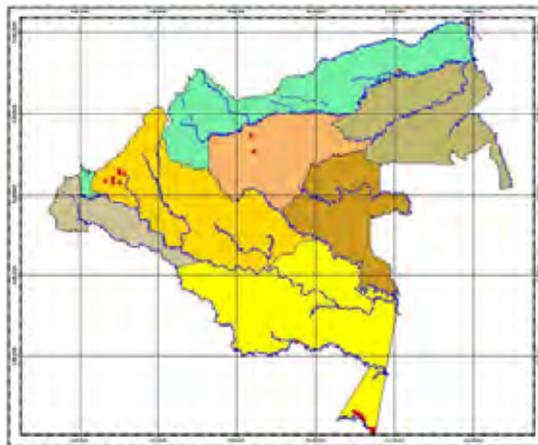


Figura 59. Lugares de la Amazonia colombiana donde se ha reportado *Archaeospora leptoticha*

Fuente: Sistemas de Información Geográfica SIG. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. 2004

30. *Entrophospora colombiana*

Descripción

Espora: Globosa, opaca, de superficie lisa, entre 90-120 micras de diámetro, de color oliva pálido (5Y 6/3) al estereoscopio, y amarillo-oliva (2.5Y 6/6) al microscopio.

Paredes de la espora: Posee tres grupos de paredes: La mas externa es membranosa, transparente, de menos de 1 micra de espesor. Se continúa con el sáculo, por lo que es mas evidente verla cuando se aísla la espora con este. La segunda pared es laminada, de 2 a 4 micras de espesor, de color amarillo. La pared mas interna es transparente, delgada y se aprecia cuando se desprende de la laminada al escachar la espora. Esta pared se observa como una pared flexible, pero según el INVAM (2003) su naturaleza es semi-rígida. El grupo de paredes mas internas de tipo germinal está compuesta por una pared de aproximadamente 2 micras de espesor, rugosa en la superficie o "beaded", que se expande en PVLG, y una mas interna, membranosa que contendría el citoplasma.

Cicatrices: Se distinguen claramente dos cicatrices. Una ovoide de grande de 15-30 micras de diámetro y otra, ubicada en el lado opuesto de la anterior, mas pequeña, circular, de 5-10 micras de diámetro.

Reacción Melzer: La pared mas interna reacciona tornándose de color púrpura intenso.

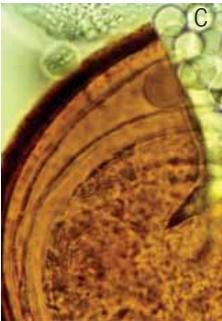
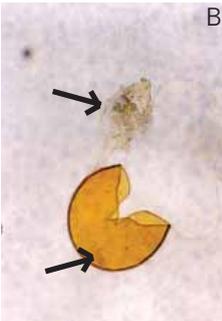
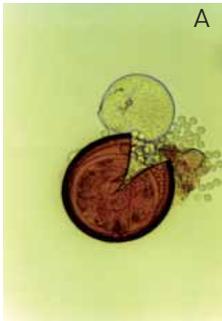
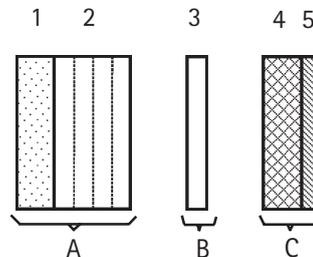
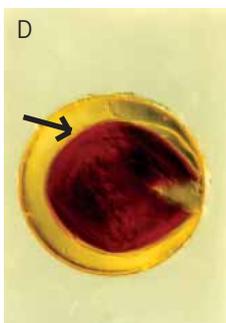


Figura 60. *Entrophospora colombiana*. A. Espora rota donde se aprecian las diferentes paredes (10X); B. Espora unida al sáculo esporal y en posición distal a este se aprecia la segunda cicatriz (10X); C. Detalle de la composición de la pared esporal (40X); D. Reacción positiva la Melzer de una de las paredes internas (10X).



Murograma *Entrophospora colombiana*



Distribución geográfica

Entrophospora colombiana fue aislada por primera vez en Carimagua, Colombia. Sin embargo, también ha sido encontrada en la región central de Florida, y en West Virginia, USA.

En la región amazónica colombiana, ha sido aislada en el departamento de Amazonas, municipio de Leticia, en bosque, potrero y en agroforestales asociado a guamo (*Inga edulis*), huito (*Genipa americana*), *Cannavalia* sp., balso (*Ochroma* sp.), asaí (*Euterpe precatoria*), cedro macho (*Bombacopsis quinata*), yuca (*Manihot esculenta*), plátano (*Musa paradisiaca*), copoazú (*Theobroma grandiflorum*), pomarroso (*Eugenia malacensis*), y pan del árbol (*Artocarpus altilis*).

En el departamento de Guaviare, municipio de San José del Guaviare en Agua Bonita, San Cristobal y Santa Rosa, asociado a bosque; en el municipio El Retorno asociado a Chontaduro (*Bactris gasipaes*) y arazá (*Eugenia stipitata*) en arreglo agroforestal. En el departamento de Vaupés, Mitú en las comunidades de Puerto Morichal, Macaquiño y San Pedro de Ti y en el departamento de Vichada, Cumaribo, comunidad de Manajuaire asociado a ají en chagra y huerto habitacional. Y en el departamento de Caquetá, en el municipio de Belén de los Andaquíes, asociado a caucho (*Hevea brasiliensis*).

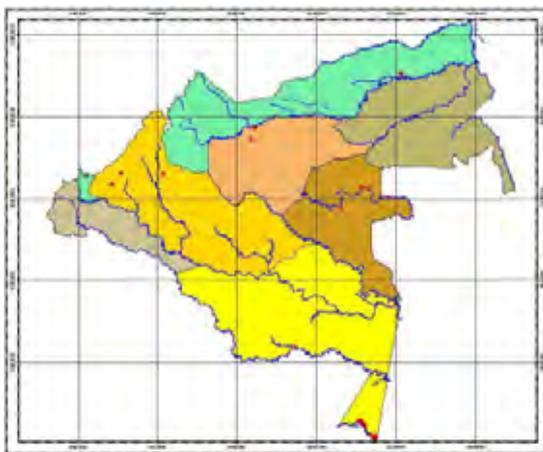


Figura 61. Lugares de la Amazonia colombiana donde se ha reportado *Entrophospora colombiana*

Fuente: Sistemas de Información Geográfica SIG. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. 2004

31. *Gigaspora* sp1

Descripción

Espora: Globosa, grande, de 200 a 240 micras de diámetro, opaca, de color amarillo pálido a amarillo (5Y 8/3 a 8/8).

Paredes de la espora: Se distinguen dos paredes que forman un único grupo: una externa, laminada, concolora de 5 micras de espesor, y una pared interna mas clara, rígida de 2 micras de espesor.

Celula suspensoria: Con forma de perilla, de 60 micras de largo por 40 en su parte mas ancha. El punto de conexión con la espora es de 8 micras. La pared de la célula suspensoria está formada por la continuación de la dos paredes de la espora. Hacia la parte mas distal la pared interna se adelgaza, quedando solo la externa que se prolonga hacia la hifa. La pared de la hifa es de 2 micras de espesor. El ancho total de la hifa es de 14 micras de espesor.

Celulas auxiliares: Desconocidas.

Reacción Melzer: La pared externa se torna rojo intenso a vinotinto.

Siguiendo la clave de Bentivenga & Morton (1995) para distinguir las especies de *Gigaspora* por sus características morfológicas, la especie encontrada en la Amazonia colombiana no corresponde a ninguna de las allí descritas: aún cuando

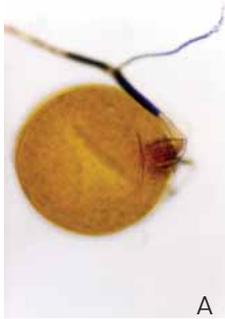
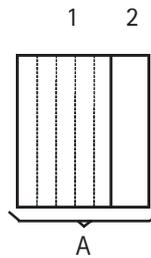


Figura 62. *Gigaspora* sp. A. Espora completa con célula suspensoria (10X); B. Detalle de la célula suspensoria en forma de bulbo (40X); C. Reacción de Melzer positiva observada en forma parcial en la pared externa de la espora (10X).



Murograma *Gigaspora* sp1

tiene el tamaño de *G. albida* o *G. rosea* (menos de 250 micras de diámetro), difiere en el color, puesto que aunque estas forman esporas claras, el morfotipo encontrado no da tonalidades verdes o rosadas. Podría corresponder a un morfotipo pequeño de *G. margarita*, pues su color, grosor de la pared (menos a 25 micras) y forma del la célula suspensoria corresponden a este morfotipo. Para este catálogo se toma como una especie de *Gigaspora* no determinada, por no poder con certeza incluir o descartar el morfotipo dentro de alguna de las especies reportadas.

Distribución geográfica

Esta especie de *Gigaspora* ha sido encontrada en la región amazónica colombiana en el departamento de Amazonas, en el kilómetro 4 vía Leticia-Tarapacá asociada a las leguminosas *Inga edulis*, *I. nobilis*, *I. gracilior* y *Parkia* sp.; y en San Martín de Amacayacu en bosque. También se ha aislado del departamento de Caquetá, municipio de Florencia, asociado a pastos; y en el departamento de Guaviare, municipio El Retorno bajo arreglos agroforestales.

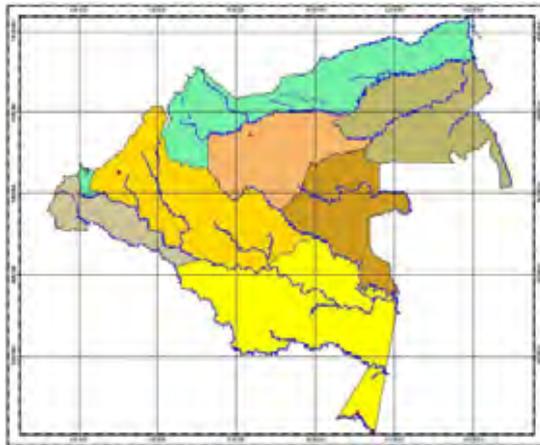


Figura 58. Lugares de la Amazonia colombiana donde se ha reportado *Gigaspora* sp1

Fuente: Sistemas de Información Geográfica SIG. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. 2004

La estimación de la diversidad de hongos micorriza arbuscular a partir del aislamiento de esporas del suelo

Existen varios factores que pueden afectar la estimación de la abundancia y riqueza de hongos formadores de micorriza arbuscular (HMA), a partir del aislamiento de sus esporas. Entre ellas está la capacidad natural de cada especie para producir esporas, la época y las condiciones del muestreo.

Se sabe que no todas las especies de hongos formadores de micorriza arbuscular tienen la misma capacidad de formar esporas. Muchos de los HMA no esporulan (Sanders *et al.*, 1996) o la producción de esporas está condicionada a los cambios edáficos del suelo, por lo que el estudiar las esporas de HMA puede no ser un reflejo fiel de la comunidad de estos hongos.

En los últimos años se vienen desarrollando métodos diferentes al aislamiento y cuantificación de esporas para el estudio de las micorrizas arbusculares. Dentro de los métodos se encuentra la comparación de secuencias de nucleótidos, especialmente el de los genes rRNA que han revolucionado la taxonomía y la filogenética de este grupo de hongos (Redecker & Thierfelder 1997; Tuinen & Jacquot 1998; Simon *et al.* 1992; Redecker *et al.* 1997; Redecker, *et al.* 2000) y ofrece ventajas tan importantes como la posibilidad de caracterizar individuos aislados directamente de su hábitat, o de la planta huésped sin tener que cultivarlos previamente en plantas trampa.

A pesar de ello, el costo para implementar estas técnicas imposibilita a muchos investigadores usarlas en forma rutinaria o de diagnóstico en pequeños proyectos. Es así como la cuantificación de esporas de HMA sigue siendo la forma más sencilla de evaluar las poblaciones de micorrizas en el suelo (Cuenca *et al.*, 1998).

Para poder saber que tanto nos podríamos acercar a conocer la composición de la comunidad de HMA en un suelo, a partir del aislamiento y estudio de sus esporas, podemos tener en cuenta algunas características de los subordenes que lo conforman. Algunos hongos del suborden Gigasporineae se reproducen casi exclusivamente por esporas (Kliromonos & Hart 2002), por cuanto su presencia dentro de la comunidad de HMA estará directamente relacionada con la presencia de sus esporas.

Por el contrario, algunas de las especies del suborden Glomineae raramente esporulan (Clapp *et al.* 1995), por cuanto la estimación de la riqueza de este suborden puede no ser tan precisa como en el suborden

anterior. Sin embargo, muchos de los hongos de este último suborden esporulan abundantemente como para detectar su presencia. La presencia o no de esporas de Glomineae, depende mas de otros factores externos que afectan el número o presencia de esporas en el momento de la colecta.

Diversos trabajos han mostrado la importancia de coleccionar muestras de suelo en épocas contrastantes (Hayman 1970). La Amazonia colombiana se caracteriza por tener un régimen de pluviosidad monomodal. Sin embargo, existen diferencias entre la zona norte y la zona sur de la Amazonia colombiana que vale tener en cuenta en el momento del muestreo. En los departamentos de la zona norte de la región amazónica como Caquetá, existe una época durante el año de muy baja pluviosidad reconocida como la época de verano y que se presenta entre los meses de diciembre y marzo.

Por el contrario, en la zona sur de la Amazonia colombiana se presentan periodos de mas baja pluviosidad que otros, pero no se distingue fácilmente una época seca que se pudiera definir como verano. En zonas del norte de la Amazonia colombiana la presencia de una época de verano podría incidir en la esporulación de HMA, por lo que sería recomendable hacer las colectas en las dos épocas contrastantes. En la zona sur de la región, la época de colecta de muestras puede no ser un factor relevante en los resultados a obtener.

Además del clima, es importante la forma como se coleccionan las muestras de suelo para el aislamiento de las esporas de HMA. El número de esporas en los 20cm superficiales del suelo puede ser hasta 4 veces mayor que el número de esporas recobrada a unos centímetros mas de profundidad (Peña-Venegas *et al.*, sometido). Igualmente se ha observado que la riqueza de especies no varía con la profundidad, lo que indica que cualquiera de las especies de HMA nativas está en capacidad de establecerse y esporular en los primeros 30 cm del suelo. Sin embargo, en aquellos casos en que haya una especie de HMA con muy baja esporulación comparada con otras especies presentes en un mismo suelo, la presencia de la primera podría pasar desapercibida, mas aún si se estudian suelos tomados a una profundidad mayor a 20cm.

En una muestra de 10g de suelo proveniente de la región amazónica colombiana, se puede fácilmente recuperar hasta 8 morfotipos de esporas de HMA (Figura 64), pero generalmente se recobran muestras con 2 a 4 morfotipos de esporas diferentes, en donde uno o dos dominan la muestra.

El número de esporas presentes en una muestra de suelo varía de acuerdo al tipo de cobertura muestreada. Si comparamos coberturas

Figura 64. No. morfotipos por muestra de suelo

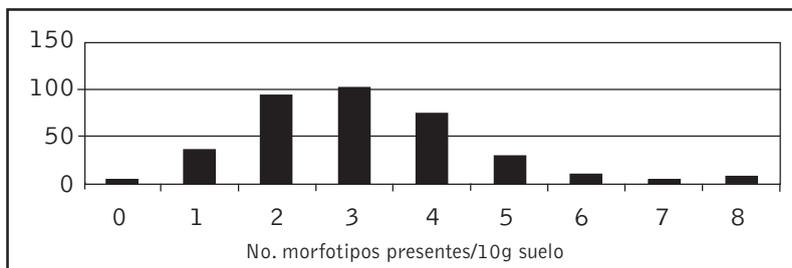
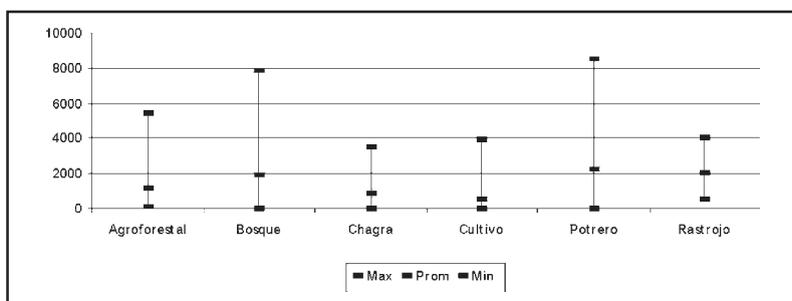


Figura 65. Número de esporas por cada 100g de suelo según la cobertura muestreada



diferentes como bosque, potrero, rastrojo y zonas de cultivo (monocultivo, agroforestal y chagra como policultivo tradicional indígena), encontramos que el promedio de esporas recuperadas de potreros, bosques o rastrojos es mayor (aproximadamente 2000 esporas/100g suelo), que la cantidad de esporas recuperadas a partir de cultivos (figura 65), la cual oscila alrededor de 1000 esporas/100g suelo.

La diferencia en la abundancia de esporas en las diferentes coberturas estaría relacionada con la permanencia de plantas hospederas en el lugar y el establecimiento de HMA en el suelo. La estrategia mas exitosa desarrollada por los HMA para colonizar nuevos huéspedes, consiste en desarrollar una red de micelio extraradical compleja que comunica las diferentes plantas del ecosistema. La colonización de un nuevo huésped tiende a realizarse en primer lugar por la red de micelio ya establecida, y en segundo lugar por la germinación de esporas. La ventaja de establecer la red es que esta le permite permanecer unido a mas de un huésped, aumentando su oportunidad de supervivencia. Si el hongo opta por producir inicialmente esporas, cada propágulo tendrá una oportunidad de encontrar un huésped, no siendo esta la estrategia mas efectiva.

En suelos bajo cultivo, los HMA no siempre pueden depender de la red de micelio extraradical para colonizar nuevas plantas, pues en muchos de los casos la intervención del suelo está ligada a la tala total o parcial de la cobertura, el uso de fuego y la remoción de los horizontes orgánicos del suelo. En estos sistemas, los HMA tienden a permanecer unidos a una planta huésped, hasta tener la posibilidad de establecer la red de micelio extraradical. Sin embargo, los tocones quemados que quedan en las chagras, han sido reportados como fuentes importantes de inóculo, por estar sus raíces micorrizadas (Restrepo, *et al.* 1993).

El establecimiento de la red parece tomar varios meses o años en lograrse. Titus & Del Moral (1998) encontraron que la colonización de HMA de plantas no micorrizadas de una zona en recuperación luego de una erupción volcánica toma hasta 2 años. Peña-Venegas & Arias (sin publicar) reportaron una baja presencia de esporas en chagras de menos de 4 meses de establecidas, comparado con otras coberturas, lo que sugiere que la red de micelio requiere un lapso de tiempo mayor para establecerse. Luego de establecida la red, el hongo estaría en capacidad de producir otro tipo de propágulos que puedan ser dispersados por agentes externos como la lluvia, el viento y algunos animales.

Es interesante anotar que para los hongos del suborden Gigasporineae las esporas son el propágulo principal, sin embargo en ninguna de las muestras de suelo colectada en la Amazonia colombiana, este grupo mostró ser el más representativo en términos de la cantidad de esporas por volumen de suelo, siendo su representatividad entre el 2 al 34% para *Scutellospora*, y entre el 5 y el 40% para *Gigaspora* del total de esporas de cada muestra de suelo.

Por el contrario, el suborden Glomineae utiliza como forma de propagación principal el micelio extraradical, pero igualmente producen un número abundante de esporas, lo que les confiere una ventaja sobre los hongos del suborden Gigasporineae que podría, en alguna medida, estar relacionada con la abundancia de los géneros *Glomus* y *Acaulospora* en suelos de la Amazonia colombiana.

La determinación taxonómica de las especies a partir de las esporas de HMA, se vio afectada por el estado de las esporas. En algunas muestras, especialmente en las provenientes de ecosistemas recientemente perturbados como las chagras, un buen número de esporas no eran viables. Muchas aparecían mordidas o hiperparasitadas, comparativamente con la cantidad de aquellas que parecían haber sido rotas mecánicamente.

Es poco lo que se ha estudiado sobre los agentes naturales que deterioran las esporas de HMA (Powell & Bagyaraj 1984), pero se ha especulado que las esporas de HMA podrían ser muy susceptibles al ataque de otros organismos, dada su composición rica en lípidos. Las esporas oscuras, muy melanizadas parecen ser menos susceptibles al ataque de otros organismos (Daniels & Menge 1980). En las muestras de chagras, se observa que las paredes externas de esporas oscuras tienden a permanecer en el suelo, sin evidenciarse otras paredes no melanizadas, hifas o células suspensorias.

Igualmente se observó con alguna frecuencia, que las esporas presumiblemente no viables, pero aparentemente en buen estado, albergan esporas de otros HMA. Koske (1984) reportó este hecho como una tendencia de algunas especies para su germinación. En el presente trabajo se observó que muestras que no son lo suficientemente secas y se refrigeran, tienden a producir con mayor frecuencia esporas dentro de esporas de HMA, en especial en esporas grandes como las de *Gigaspora* y *Scutellospora*. Los géneros que con mayor frecuencia invaden otras esporas son *Glomus*, *Acaulospora* y *Archaeospora*, respectivamente, y suele en algunas ocasiones aparecer más de un género ocupando una misma espора, lo cual puede en algunos casos confundir en la determinación taxonómica de algunas especies.

Es interesante anotar que aún cuando las esporas de *Archaeospora leptoticha* y *Acaulospora foveata* son de gran tamaño, estas no presentan con frecuencia hiperparasitismo. Pero esporas de *Glomus* y *Acaulospora* de menor tamaño y superficie lisa sí. Es posible que las esporas con capas mucilaginosas, peridios en el exterior, paredes ornamentadas o gruesas sean menos sensibles al ataque de otros organismos que aquellas de superficies lisas.

Diversidad de hongos micorriza arbuscular en suelos de la Amazonia colombiana

La simbiosis micorriza arbuscular es la relación planta-hongo más frecuente en la tierra. Ocurre en la mayoría de las angiospermas, en un gran número de Gimnospermas, Pteridofitas y Briofitas.

Actualmente se reconocen 7 géneros y se han descrito menos de 170 especies (INVAM, 2003), con una representatividad de nuevos reportes muy baja para el trópico y la cuenca amazónica. Del total de especies descritas, menos del 50% existen actualmente en la colección

del INVAM, donde están representadas 15 especies de *Acaulospora*, 3 de *Archaeospora*, 4 de *Entrophospora*, 29 de *Glomus*, 2 de *Paraglomus*, 5 de *Gigaspora* y 12 de *Scutellospora* ya descritas.

También posee 45 especies de Glomales no descritos, siendo *Glomus* y *Acaulospora* los géneros con mas vauchers representados no descritos dentro de la colección. Estas cifras permiten dar una idea de la necesidad de un número mayor de estudios en este grupo de hongos para determinar su diversidad y distribución mundial.

Es igualmente importante anotar que en los años 80's Colombia hizo un gran aporte al conocimiento de nuevas especies de Glomales: de las 15 especies de *Acaulospora* descritas *A. appendiculata*, *A. denticulata*, *A. longula*, *A. mellea*, *A. morrowiae*, *A. rehmii* y *A. myriocarpa* fueron descritas por primera vez en Colombia. Igualmente *Entrophospora colombiana*, *E. schenkii*, *Glomus glomerulatum* y *G. manihotis*, fueron reportadas por primera vez en Colombia, lo que demuestra el gran potencial que tiene el país en este recurso.

El presente catálogo describe 31 morfotipos diferentes para la región amazónica colombiana, que si se toman como especies diferentes, representan el 20% de la diversidad mundial. Sin embargo, los 31 morfotipos de este catálogo no corresponden al número total de especies reportadas para la región amazónica colombiana.

Para el departamento de Caquetá, Pinto (1993) con el apoyo en la determinación del Dr. Saif, reportó en la región de Araracuara a *Glomus macrocarpus*, *G. multicaulis*, *G. fasciculatum*, *G. mosseae*, *G. pachycaulis* y *G. rubiformis*, siendo este género el mas abundante. También reportó la presencia de *Gigaspora erythropha*, *G. gigantea*, *G. margarita*, y una especie de *Entrophospora*. Restrepo *et al.* (1993) reportó para la región noroccidental de Caquetá en diferentes paisajes la presencia de los géneros *Acaulospora*, *Glomus*, *Gigaspora*, *Acaulospora* y *Scutellospora*.

Para el departamento de Guaviare Ochoa (1997) quien tuvo el apoyo del Dr. Edward Sieverding en las determinaciones de hongos micorrízicos asociados al género *Theobroma* en el municipio de San José de Guaviare, reportó las especies *Acaulospora foveata*, *Glomus brohultii*, *G. aggregatum*, *G. geosporum*, *G. fulvum*, *G. glomerulatum*, *G. invermaium*, *G. fasciculatum*, *Gigaspora albida* y *G. gigantea*. Salamanca y Silva (1998) reportaron para el mismo municipio a *Glomus* como el género mas abundante, ocupando el 54.5% del total de la muestra compuesta por *Glomus macrocarpum*, *G. etunicatum*, *G. geosporum*, *G. agregatum*

y *G. tenebrosum*. El segundo género en abundancia fue *Acaulospora* ocupando el 27.3% de la muestra con las especies *A. rehmi*, *A. tuberculata* y *A. morrowiae*. Igualmente se reportó una baja presencia de *Entrophospora colombiana* (9.1%) y *Scutellospora persica* (9.1%).

Para el departamento de Amazonas Arcos (2003), reportó la dominancia del género *Glomus* en la composición micorrítica del Trapecio amazónico, y la presencia de *Acaulospora* asociado a los suelos mas ácidos y *Gigaspora* en suelos de loma y terraza.

De acuerdo con los anteriores reportes, la diversidad de Glomales en la región podría ser mucho mas alta de la aquí reportada. Es claro también que en los reportes del género *Glomus* es donde se presentan mayores divergencias en parte dadas por las dificultades en la determinación de las especies de este género, basándose en los pocos atributos morfológicos que posee para su diferenciación. Para este género sería muy recomendable el uso de técnicas moleculares que permitan verificar las determinaciones taxonómicas, corroborando las determinaciones hechas a partir de los rasgos morfológicos de las esporas.

A partir de los resultados obtenidos en este catálogo y de los trabajos aquí reportados, podemos concluir que *Glomus* es el género mas representativo de los suelos amazónicos de Colombia, seguido por el género *Acaulospora*. Los demás géneros aparecen en menor proporción y con menor diversidad de especies en el suelo.

Es importante destacar el reporte de nuevas especies para Colombia como es el caso de *Scutellospora spinosissima*, especie que solo había sido reportada en la Gran Sabana de Venezuela. Tanto en Venezuela como en Colombia ha sido aislada de suelos con abundante materia orgánica acumulada, por lo que su distribución puede ser mas amplia. Su esporulación puede verse estimulada por la alta presencia de materia orgánica, no siendo aisladas las esporas en suelos pobres aún cuando esté presente.

Igualmente *Glomus tortuosum* había sido reportado en Norte América y el sur de Sur América (Argentina), pero no en localidades intermedias. El reporte de esta especie en la Amazonia colombiana permite inferir que su distribución es mas amplia, pudiendo cubrir todo el continente americano.

Igualmente se encontraron especies no reportadas para la región amazónica colombiana como *Glomus sinuosum*, *G. microaggregatum*, *G. viscosum* y *Scutellospora pellucida*, lo que amplía la posibilidad de uso de especies en investigación y mejoramiento de cultivos en la región.

Factores fisicoquímicos y biológicos que afectan la simbiosis micorriza arbuscular en suelos de la Amazonia colombiana

La acidez. Los HMA han sido considerados como hongos sensibles a la acidez (Paul & Clark, 1996). La acidez igualmente está directamente relacionada con la capacidad de intercambio catiónico (CIC), las concentraciones de aluminio y la disponibilidad de fósforo.

La colonización radicular estuvo directamente correlacionada con la acidez del suelo ($p=0.80$), en donde un pH ligeramente más neutro posibilita mejores condiciones para la colonización de HMA, a pesar de ser biotipos tolerantes a la alta acidez de los suelos amazónicos. Esta dependencia no es exclusiva de este grupo de organismos, en general toda la microflora edáfica está fuertemente relacionada con el pH, encontrándose que el valor límite para la vida en el suelo está alrededor de 3.0 (Peña-Venegas *et al.*, sometido). La mayoría de los géneros se aislaron en un rango de pH entre 4.0 y 5.0, siendo este su pH natural para desarrollar la simbiosis, establecerse en el suelo y esporular.

El fósforo. De acuerdo al coeficiente de correlación de Pearson, dentro de los factores que afectan la producción de esporas se encuentran los niveles de fósforo en el suelo ($p= 0.55$). Este hecho puede estar mostrando la importancia del fósforo en procesos vitales como la producción de esporas, en donde una gran cantidad de ATP debe ser consumido para producir cada propágulo. Las esporas son ricas en lípidos, proteínas y glucógeno (Bonfante *et al.*, 1994). De allí que los hongos prefieran usar la red de micelio extraradical para colonizar nuevos huéspedes en suelos pobres en este elemento, que consumir una buena cantidad de ATP en la producción de propágulos.

Es conocido que las concentraciones de fósforo afectan el establecimiento de la simbiosis. Concentraciones bajas de este elemento tienden a generar simbiosis más efectivas (Douds & Schenck, 1990; Johnson, 1993, Arcos, 2003). El coeficiente de correlación de Pearson también mostró una correlación inversamente proporcional entre las concentraciones de fósforo y la colonización radicular ($p= -0.10$) y la presencia de arbuscúlos ($p= -0.72$).

Los niveles de fósforo en solución en los suelos amazónicos tienden a ser muy bajos. El promedio de fósforo en muestras provenientes de la Amazonia colombiana es de 12.3ppm. Se sabe que la concentración de P más baja en solución de suelo bajo la cual diferentes cultivos co-

mienzan a beneficiarse de la asociación MA va de 0.1µg/ml para soya a 1.6µg/ml para yuca. Sieverding & Howeler (1985) encontraron que a concentraciones de 2.9µg/g de fósforo en suelo, la colonización de raíz fue mayor que a concentraciones de 6.3µg/g o mayor, lo que concuerda con la correlación encontrada.

Arcos (2003) encontró para el sur del Trapecio amazónico, departamento de Amazonas, una mejor micorrización en plantas provenientes de zonas de terraza y lomeríos que aquellas provenientes de planos de inundación. Esta relación podría estar igualmente relacionada con la disponibilidad de fósforo, encontrando concentraciones mas bajas en las zonas no inundables.

Adicionalmente, no se encontraron correlaciones entre la presencia de vesículas y las concentraciones de fósforo ($p=0.01$). Las vesículas son estructuras de almacenamiento ricas en lípidos, que eventualmente pueden servir como estructuras de propagación. Aparentemente su formación estaría dada por la naturaleza misma de la especie de HMA que puede formarlas y no por efecto de factores externos.

Se puede concluir que prácticas que busquen un aumento de fósforo en el suelo a niveles superiores a 10ppm como el uso de roca fosfórica o fertilizantes fosfatados, pueden ser contraproducentes para el desarrollo de la simbiosis MA en los suelos de la región. Se deben asegurar niveles bajos de fósforo que puedan ser eficientemente movilizados por la simbiosis MA hacia la planta, alcanzando en ella niveles equivalentes a si recibe una fertilización fosfatada.

Textura. De todas las variables fisicoquímicas del suelo evaluadas, solo la textura mostró influir en la distribución de géneros de HMA en el suelo, posiblemente por la disponibilidad de oxígeno y capacidad de infiltración natural del suelo con relación al volúmen de la espora.

Los suelos de la región amazónica colombiana se clasifican en su gran mayoría como suelos arcillosos a francos. Solo en la zona limítrofe con la Orinoquia se pueden encontrar suelos predominantemente arenosos. Al hacer una clasificación de todas las texturas de suelos encontradas en la región, encontraríamos una escala así: Ar - FAr - F - FArA - FA.

De acuerdo con los resultados obtenidos a partir del uso de una prueba de Chi cuadrada, se encontró que para los géneros de *Glomus* ($p=0.003$), *Acaulospora* ($p=0.016$), *Scutellospora* ($p=0.021$) y *Entrophospora* ($p<0.0001$), existe una relación directa de la presencia de estos géneros y la textura, lo que no sucede para los géneros *Archaeospora* ($p=0.05$) y *Gigaspora* ($p=0.60$). El análisis de varianza

mostró resultados similares, a excepción de *Scutellospora*, el cual no mostró ser afectado por la textura ($p=0.14$, $\mu= 0.05$). De esta forma encontramos que las esporas de mayor diámetro no estarían afectadas por la textura del suelo.

Esta independencia podría estar relacionada con la estrategia de reproducción casi exclusiva a partir de esporas del suborden Gigasporineae. Para el género *Archaeospora* no es clara esta relación dado que no se han llevado a cabo muchos trabajos que evalúen la viabilidad y efectividad de diferentes tipos de propágulos de este género. Sin embargo, para *Archaeospora* no ha sido reportada la formación de vesículas, por cuanto es posible que las esporas, si no son el único tipo de propágulo viable, si sea el más importante.

Según la prueba de Tukey la mayoría de los géneros sensibles a la textura prefieren suelos franco. Algunas de las especies como *Glomus manihotis*, *Glomus* sp8 y *Acaulospora mellea* solo fueron aislados de suelos francos y no de suelos arcillosos. Para el género *Entrophospora* se encontraron dos grupos de la misma especie claramente separables: aquellos biotipos que prefieren los suelos arenosos y aquellos aislados de suelos franco a arcillosos, los dos biotipos estarían relacionados con su lugar de origen.

La mayor sensibilidad a los suelos arcillosos estaría dada por la poca disponibilidad de oxígeno y bajo drenaje de estos suelos, que promoverían la formación de microhabitats anaeróbicos en el suelo, que afectaría la viabilidad de los propágulos.

La cobertura. El 99% del total de plantas muestradas presenta la simbiosis micorriza arbuscular. El porcentaje de colonización de raíz por HMA en promedio es baja, siendo de $37.6 \pm 27.8\%$ independientemente de la cobertura.

Si realizamos el análisis por cobertura, encontramos que los sistemas agroforestales, seguidos por los rastrojos y el bosque nativo presentan los mayores promedios de colonización radicular, estando por encima del 30%. Por el contrario, las coberturas de chagra, monocultivo y potrero presentaron los valores de porcentaje de colonización radical más bajos respectivamente. Los resultados estarían indicando que la simbiosis micorriza arbuscular es más efectiva en ecosistemas con coberturas altamente diversas. De allí la importancia que tiene promover sistemas de producción agrícola agrobiodiversos para la región amazónica colombiana.

Por otra parte, la presencia de arbuscúlos en muestras provenientes de la Amazonia colombiana es poco común, los mayores valores apa-

recen en muestras provenientes de sistemas antrópicos como los agroforestales y no de coberturas naturales. Restrepo *et al.* (1993) reportó características similares de la presencia del hongo en la raíz, atribuyendo a la simbiosis características de una relación saprofítica. Se encontró igualmente una correlación directa entre el porcentaje de colonización radical y el porcentaje de arbusculos ($p=0.30$), en donde los valores promedio de colonización radicular (37.6%) están en el límite inferior en que se observa la presencia de arbusculos.

A la simbiosis micorriza arbuscular se le ha atribuido una posible especificidad ecológica, al existir una correspondencia entre la especie del hongo y la especie vegetal huésped. Sin embargo al evaluar en un grupo específico de plantas (Mimosaceae, por ejemplo) el comportamiento de la simbiosis a partir de la colonización radicular, se encuentra que la colonización por micorrizas arbusculares no varía significativamente entre las diferentes especies leguminosas evaluadas (entre 33,8% y 37,8%), aún cuando exista diferencia en la comunidad de Glomales en el suelo. Estos resultados indican que probablemente no existe especificidad ecológica de los ecotipos de HMA de la región.

Este hecho podría ser explicado por la alta diversidad de las coberturas naturales, que hacen que las diferentes especies tengan la misma capacidad de colonizar una u otra planta. Esta condición natural le confiere a los HMA de la región amazónica una característica deseable para el desarrollo de biofertilizantes. Con este propósito podríamos sugerir la evaluación como simbiosis de especies como *Glomus* sp1, *Glomus rubiformis*, *Glomus* sp4, *Glomus* sp5, *Glomus* sp6, *Glomus manihotis*, *Glomus brohultii*, *Glomus* sp11, *Acaulospora foveata*, *Archaeospora leptoticha* y *Entrophospora colombiana*, por su amplia distribución natural en la región.

Es importante destacar que algunas de las especies de *Glomus*, como *Glomus* sp5 y sp6, no han podido ser multiplicadas en plantas trampa, lo cual limita su uso. No todas las especies tienen las mismas potencialidades de uso, es así como se puede promover el uso de *Glomus manihotis* en suelos franco y no en suelos arcillosos, por sus limitaciones en establecerse en este tipo de suelo. El uso de *Archaeospora leptoticha* y *Acaulospora foveata* en suelos con desbalance en las poblaciones de micro y mesofauna que pongan en riesgo la permanencia de inóculos sensibles a la micofagia y el hiperparasitismo. Y la aplicación de *Entrophospora colombiana* a especies cultivadas por su condición de fácil adaptación a estos sistemas.

Estas recomendaciones son válidas, destacando que el inóculo natural de los suelos de la región desarrollan en forma eficiente la simbiosis micorriza arbuscular, por lo que la aplicación de cepas será recomendable para la recuperación de suelos y la restauración de ecosistemas en los cuales las poblaciones nativas están diezmadas o no están presentes.

Bibliografía

- ARCOS, A. L. 2003. Distribución de la asociación micorrícica arbuscular en ecosistemas naturales e intervenidos. En: Aspectos ambientales para el ordenamiento territorial del Trapecio Amazónico. Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC-.
- BENTIVENGA, S. P., MORTON, J. B. 1995. A monograph of the genus *Gigaspora*, incorporating developmental patterns of morphological characters. *Mycologia* 87 (5): 719-731.
- BHATIA, N. P., SUNDARI, K., ADHOLEYA, A. 1996. Diversity and selective dominance of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. Handbook of vegetation science. H. Lieth, Editor in chief. Concepts in mycorrhizal research. K. K. Mukerji. Kluwer, Academic Publishers. p 133-178.
- BLASZKOWSKI, J. 1994. First record and notes on *Glomus coronatum* in Poland and Germany. *Mycologia* 86 (5): 630-634.
- BONFANTE, P., BALESTRINI, R., MENDGEN, K. 1994. Storage and secretion processes in the spore of *Gigaspora margarita* Becker Et Hall as revealed by high-pressure freezing and freeze-substitution. *New Phytologist* 128: 93-101.
- CABELLO, M. N. 2001. *Glomus tortuosum* (Glomales), an arbuscular mycorrhizal fungus (AMF) isolated from hydrocarbon-polluted soils. *Nova Hedwigia* 73 (3-4): 513-520.
- CLAPP, J. P. W., MERRYWEATHER, J. W., FITTER, A. H. 1995. Diversity of fungal symbionts in arbuscular mycorrhizas from natural community. *New Phytologist* 130: 259-265.
- CUENCA, G., Z. DE ANDRADE, G. ESCALANTE. 1998. Diversity of Glomalean spores from natural, disturbed and revegetated communities growing on nutrient-poor tropical soils. *Soil Biol.Biochem* 30 (6): 711-719.
- CUENCA, G., Z. DE ANDRADE, M. LOVERA, L. FAJARDO, E. MENESES. 2003. Mycorrhizal response of *Clusia pusilla* growing in two different soils in the field. *Trees* 17: 200-206.
- DANIELS, B. A., MENGE, J. A. 1980. Hiperparasitization of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *Phytopathology* 70: 584-590.
- DOUDS, D. D., SCHENCK, N. C. 1990. Increase sporulation of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi by manipulation of nutrient regimes. *Appl. Environ. Microbiol.* 56: 413-418.
- GERDEMANN J. W., NICOLSON, T. H. 1963. Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological Society*, 46: 235-244.

- GIOVANNETTI, M., AVIO, L., SALUTINI, L. 1991. Morphological, cytochemical, and ontogenetic characteristics of a new species of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus. *Can. J. Bot.* 69: 161-167.
- HALL, L. R. 1977. Species and mycorrhizal infections of New Zealand Endogonaceae. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 68: 341-356.
- HAYMAN, D. S. 1970. Endogone spore numbers in soil and vesicular-arbuscular mycorrhiza in wheat as influenced by season and soil treatment. *Trans. Br. Mycol. Soc.* (54): 53-58.
- INVAM. 2000. International Culture Collection of Vesicular Arbuscular Mycorrhizal Fungi. <http://invam.caf.wvu.edu/>
- INVAM. 2003. International Culture Collection of Vesicular Arbuscular Mycorrhizal Fungi. <http://invam.caf.wvu.edu/>
- JANOS, D. P., TRAPPE, J. M. 1982. Two new Acaulospora species from tropical America. *Mycotaxon* 15: 515-522.
- JOHNSON, N. C. 1993. Can fertilization of soil select less mutualistic micorrhizae?. *Ecological application* 3: 749-757.
- KLIRONOMOS, J. N., HART, M.M. 2002. Colonization of roots by arbuscular mycorrhizal fungi using different sources of inoculum. *Mycorrhiza* 12: 181-184.
- KOSKE, R. E. 1984. Spores of VAM fungi inside spores of VAM fungi. *Mycologia* 76 (5): 853-862.
- KOSKE, R. E., GEMMA, J. N., OLEXIA, P. D. 1986. *Glomus microaggregatum*, a new species in the Endogonaceae. *Mycotaxon* 26: 125-132.
- KOSKE, R. E., WALKER, C. 1986. Species of Scutellospora (Endogonaceae) with smooth-walled spores from maritime sand dunes: two new species and a redescription of the spores of *Scutellospora pellucida* and *Scutellospora calospora*. *Mycotaxon* 27: 219-235
- MCGONIGLE, T. P., FITTER, A. H. 1990. Ecological specificity of vesicular-arbuscular mycorrhizal associations. *Mycological Research* 94: 120-122.
- MORTON, J. B., BEVER, J. D., PFLEGER, F. L. 1997. Taxonomy of *Acaulospora gerdemannii* and *Glomus leptotichum*, synanamorphs of an arbuscular mycorrhizal fungus in Glomales. *Mycol. Res.* 101 (5): 625-631.
- OCHOA, O. C. 1997. Reconocimiento de hongos formadores de micorriza vesiculo-arbuscular (MVA) en cacao (*Theobroma cacao*), Maraco (*T. bicolor*) y copoazu (*T. grandiflorum*), en condiciones de campo en San José del Guaviare - Colombia. Departamento de Biología. Universidad Nacional de Colombia. Tesis de Pregrado. 96p.

- PAUL, E. A., CLARCK, F. E. 1996. Soil microbiology and biochemistry. 2 ed. Ed. Academic Press. San Diego, USA. 275 p.
- PEÑA-VEGAS, C. P., CARDONA, G. I., ARGÜELLES, J. H., ARCOS, A. L. 2003. Micorrizas arbusculares del sur de la Amazonia colombiana y su relación con algunos factores fisicoquímicos y biológicos del suelo. *Acta Amazónica* (Sometido)
- PEÑA-VEGAS, C. P., ARIAS, J. C. (Sin publicar). Natural occurrence of arbuscular mycorrhizal and nitrogen fixing rizobacteria symbioses on indigenous legumes from the southern of colombian amazon.
- PHILLIPS, J. M., HAYMAN, D. S. 1970. Improved procedure for cleaning roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society* 55: 158-161.
- PINTO, J. B. 1993. Evaluación de las poblaciones micorrizales en suelos degradados y de bosque maduro en Araracuara - Amazonas. Departamento de Biología. Universidad Nacional de Colombia. Tesis de grado. 151p.
- POWELL, C.L., BAGYARAJ, D.J. 1984. VA Mycorrhiza. C R C Press. p 6-95.
- REDECKER, D., THIERFELDER, H., WALKER, C., WERNER, D. 1997. Restriction Analysis of PCR-Amplified Internal Transcribed Spacers of Ribosomal DNA as a Tool for Species Identification in Different Genera of the Orden Glomales. *Applied and Environmental Microbiology* 63(5): 1756-1761.
- REDECKER, D., MORTON, J., BRUNS, T. 2000. Ancestral Lineages of Arbuscular Mycorrhizal Fungi (Glomales). *Molecular Phylogenetics and Evolution* 14(2): 276-284.
- RESTREPO, M. C., MARTINEZ, J. E., MONTENEGRO, J. E., CAICEDO, A., TORRES, E. 1993. Análisis sobre la actividad de hongos formadores de micorrizas vesículo arbusculares. En: Aspectos ambientales para el ordenamiento territorial del occidente del departamento del Caquetá. Estudios en la Amazonia colombiana. Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC-. p 698-736.
- SALAMANCA, C. R., SILVA, M. R. 1998. Las micorrizas como alternativa para el manejo sostenible de los agroecosistemas tropicales. *Boletín Técnico* No. 12. CORPOICA. 26p.
- SCHENCK, N. C., SPAIN, J. L., SIEVERDING, E., HOWELER, H. 1984. Several new and unreported vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi (Endogonaceae) from Colombia. *Mycologia* 76 (4): 685-699.
- SCHENCK, N. C., PEREZ, Y. 1988. Manual for the identification of VA micorrhizal fungi. INVAM. 241p.

- SIEVERDING, E., HOWELER, R.H. 1985. Influence of species of VA mycorrhizal fungi on cassava yield response to phosphorus fertilization. *Plant and Soil* 88: 213-221.
- 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.
- SIEVERDING, E., TORO, S. 1987. *Acaulospora denticulata* sp. nov. and *Acaulospora rehmsii* sp. nov. (Endogonaceae) with ornamented spore walls. *Angewandte Botanik* 61: 217-223.
- SIMON, L., LALONDE, M., BRUNS, T. 1992. Specific Amplification of 18S Fungal Ribosomal Genes from Vesicular-Arbuscular Endomycorrhizal Fungi Colonizing Roots. *Applied and Environmental Microbiology* 58 (1): 291-295.
- SCHÜBLER, A., SCHWARZOTT, D., WALKER, C. 2001. A new fungal phylum: the Glomeromycota. *Mycol Res.* 105 (12): 1413-1421.
- SCHWARZOTT, D., WALKER, C., SCHÜBLER, A. 2001. *Glomus*, the largest genus of the arbuscular mycorrhizal fungi (Glomales), is nonmonophyletic. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 21 (2): 190-197.
- TITUS, J.H., DEL MORAL, R. 1998. Vesicular-arbuscular mycorrhizae influence Mounts St. Helens pioneer species in greenhouse experiments. *Oikos* 81: 495-510.
- TUINEN, V., JACQUOT, E. 1998. Characterization of root colonization profiles by a microcosm community fungi using 25S rDNA-targeted nested PCR. *Molecular Ecology* 62 (7): 879-887.
- WALKER, C. 1983. Taxonomic concepts in the Endogonaceae: spore wall characteristics in species descriptions. *Mycotaxon* 18 (2): 443-455.
- WALKER, C., GIOVANNETTI, M., AVIO, L., CITERNESI, A. S., NICOLSON, T. H. 1995. A new fungal species forming arbuscular mycorrhizas: *Glomus viscosum*. *Mycol. Res.* 99 (12): 1500-1506.
- WALKER, C., CUENCA, G., SANCHEZ, F. 1998. *Scutellospora spinosissima* sp. Nov., a newly described Glomalean fungus from acidic, low nutrient plant communities in Venezuela. *Annals of Botany* 82: 721-725.