

---

# HONGOS MICORRIZÓGENOS ARBUSCULARES DEL PEDREGAL DE SAN ÁNGEL

*Laura Hernández-Cuevas<sup>1</sup>*

*Silvia Castillo Argüero<sup>2</sup>*

*Patricia Guadarrama Chávez<sup>2</sup>*

*Yuriana Martínez Orea<sup>2</sup>*

*Marco Antonio Romero Romero<sup>2</sup>*

*Irene Sánchez Gallén<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Laboratorio de Micorrizas, Centro de Investigaciones en Ciencias Biológicas  
de la Universidad Autónoma de Tlaxcala

<sup>2</sup>Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias,  
Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE CIENCIAS, UNAM



**Hongos micorrizógenos arbusculares  
del Pedregal de San Ángel**  
1ª edición, 2003

© Coordinación de Servicios Editoriales,  
Facultad de Ciencias, UNAM

Diseño de Portada: Laura Uribe

**ISBN: 970-32-0431-7**

Impreso y hecho en México

---

## AGRADECIMIENTOS

**L**os autores agradecen al Biól. Oswaldo Núñez Castillo por su colaboración en el trabajo de campo, al Dr. Arturo Estrada Torres, a la M. en C. Yolanda Nava Gutiérrez, al Biól. Oswaldo Núñez Castillo y a la Biól. Carmen Loyola por el material fotográfico. Al M. en A. Aldi de Oyarzábal por la elaboración del mapa de la Reserva.

A los Drs. Arcadio Monroy Ata y Arturo Estrada Torres, al M. en C. José Ramos Zapata y al M. en E. Eduardo Alberto Pérez García por la revisión y comentarios al manuscrito.

Este manual se realizó con el apoyo financiero del Programa de Apoyo a Proyectos Institucionales de Mejoramiento de la Enseñanza (PAPIME 182033), con el proyecto titulado: "Apoyo a la Docencia y a la Difusión del Conocimiento Ecológico y Florístico de la Reserva del Pedregal de San Ángel".

---

## PRESENTACIÓN

**L**os hongos micorrizógenos arbusculares (HMA), debido a su carácter de simbiontes mutualistas obligados de un gran número de especies vegetales, juegan un papel crucial en la mayoría de los ecosistemas ya que, además de incidir directamente en las plantas con las que se asocian, sus efectos se extienden al suelo y contribuyen significativamente a su mantenimiento y al del ecosistema en el que se encuentran. Los HMA no son específicos a una especie o a un grupo vegetal particular, sin embargo, la planta hospedera si tiene una respuesta diferencial dependiendo de la especie de hongo que la colonice. Por todo lo anterior, surge la necesidad de estudiar a estos hongos y de ser posible definir la identidad de las especies de HMA de sitios con alta biodiversidad, así como la de las especies vegetales con las que se asocian; con ello, se podrá conocer de manera más precisa la participación que pueden tener estos hongos en hábitats particulares, permitiendo la restauración y manejo de sitios deteriorados.

Este manual pretende dar información acerca de las características generales de los HMA, para ello, se tomó como caso de estudio la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel; la cual está caracterizada por un matorral xerófito desarrollado sobre un sustrato de origen volcánico cuya heterogeneidad topográfica ha generado gran variación microambiental y alta riqueza biológica. Esta reserva, como muchas otras áreas naturales protegidas en México, se encuentra sometida a disturbios naturales y antropogénicos que han modificado, de manera determinante, sus características físicas y bióticas. Ante tal situación, se hace necesario conocer en detalle los efectos más notorios que han influido en su riqueza biológica, así como los factores ambientales que promueven y mantienen esta diversidad como es el caso de los HMA, cuyo estudio puede dar algunas pautas al respecto. Tal conocimiento podría utilizarse más adelante para planear estrategias de conservación, manejo y explotación de la asociación micorrízica, asociación que es clave para el mantenimiento o

restauración de comunidades vegetales, como la presente en la Reserva del Pedregal de San Ángel.

La reserva está ubicada dentro de los terrenos de la Universidad Nacional Autónoma de México en Ciudad Universitaria, situación que la convierte en un laboratorio natural para investigadores y estudiantes. Por ello, el Grupo de trabajo Dinámica de Comunidades del Departamento de Ecología y Recursos Naturales de la Facultad de Ciencias de la UNAM y el Laboratorio de Micorrizas del Centro de Investigaciones en Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Tlaxcala (UAT) se dieron a la tarea de recopilar información acerca de algunos de los recursos biológicos del lugar. Como parte de los resultados, surge este manual, el cual pretende ofrecer una herramienta para acercarse y conocer aspectos diversos de los hongos micorrizógenos arbusculares.

---

# CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN	13
I.1. Generalidades	13
I.2. Tipos de micorrizas	13
I.3. Importancia de las micorrizas	15
I.4. Los hongos micorrizógenos arbusculares	16
I.4.1. Taxonomía	16
I.4.2. Anatomía	18
I.4.3. Fisiología	26
I.4.4. Ecología	26
II. RESERVA ECOLÓGICA DEL PEDREGAL DE SAN ÁNGEL	
Descripción de la zona de estudio	29
III. ESPECIES DE HONGOS MICORRIZÓGENOS ARBUSCULARES EN LA RESERVA ECOLÒGICA DEL PEDREGAL DE SAN ÁNGEL	
III.1 Métodos	31
III.2 Descripción de especies de HMA	31
SUBORDEN GLOMINEAE	33
Familia Acaulosporaceae	33
<i>Acaulospora appendicula</i> Spain, Sieverding et Schenck	33
<i>Acaulospora laevis</i> Gerdemann et Trappe	35
<i>Acaulospora mellea</i> Spain et Schenck	37
<i>Acaulospora rehmi</i> Sieverding et Toro	39
<i>Acaulospora scrobiculata</i> Trappe	41

<i>Acaulospora spinosa</i> Rothwell et Trappe	43
<i>Entrophospora infrequens</i> (Hall) Ames et Schneider	45
<b>Familia Glomaceae</b>	
<i>Glomus aggregatum</i> Schenck et Smith emend. Koske	47
<i>Glomus claroideum</i> Schenck et Smith	48
<i>Glomus geosporum</i> Nicolson et Gerdemann	51
<i>Glomus intraradix</i> Schenck et Smith	53
<i>Glomus microaggregatum</i> (Berk. et Broome) Trappe et Gerdemann	55
<i>Glomus mosseae</i> Nicolson et Gerdemann	57
<b>SUBORDEN GIGASPORINEAE</b>	
<b>Familia Gigasporaceae</b>	
<i>Gigaspora gigantea</i> Nicolson et Gerdemann	59
<i>Scutellospora pellucida</i> (Nicol. et Schenck) Walker et Sanders	61
III.3 Discusión y conclusiones	63
IV. GLOSARIO	65
V. LITERATURA CITADA	69
ANEXO 1. Colecta de suelo	79
ANEXO 2. Método de separación de esporas de HMA	81
ANEXO 3. Elaboración de preparaciones fijas	83
ANEXO 4. Fórmulas para la preparación de reactivos	84

---

## ÍNDICE DE FIGURAS

- Fig. 1** Esquema de los diferentes tipos de colonización producidos por los hongos micorrizógenos (modificado de Selosse y Le Tacon, 1998).
- Fig. 2** Clasificación de los hongos micorrizógenos arbusculares (tomado de Morton y Benny, 1990).
- Fig. 3** Esquema de la penetración intercelular e intracelular que presentan los hongos micorrizógenos arbusculares. **A:** arbúsculo, **B:** vesícula.
- Fig. 4** Estructuras de hongos micorrizógenos arbusculares dentro de la raíz. **A:** arbúsculo, 40×, fotografía de Arturo Estrada-Torres, **B:** arbúsculo en degradación de *Glomus mosseae*, 100× (fotografía de Arturo Estrada-Torres). **C:** ovillos, 10× (fotografía de Oswaldo Nuñez Castillo).
- Fig. 5** Estructuras de hongos micorrizógenos arbusculares dentro de la raíz. **A:** vesículas, 10× (fotografía de Oswaldo Nuñez Castillo). **B:** es-poras, 10× (fotografía de Arturo Estrada-Torres).
- Fig. 6** Esquema del desarrollo de las hifas de hongos micorrizógenos arbusculares del suelo. **He:** hifas exploradoras, **Bas:** estructuras de absorción ramificadas (modificado de Bago, 1999).
- Fig. 7** Estructuras formadas por los hongos micorrizógenos arbusculares. **A:** hifas cenocíticas, 20× (fotografía de Arturo Estrada-Torres). **B:** hifas septadas, 40× (fotografía de Arturo Estrada-Torres). **C:** Células auxiliares de *Scutellospora* sp., 40×, tinción con safranina (fotografía de Arturo Estrada-Torres).
- Fig. 8** Hifa de sostén. **A:** recta en *Glomus intraradix* 20× contraste de interferencia de Nomarski (fotografía de Laura Hernández-Cuevas). **B:** cónica en *Glomus mosseae*, 20×, iluminación Keller (fotografía de Arturo Estrada-Torres).

- Fig. 9** Esporocarpos. **A:** con peridio en *Sclerocystis* sp., 10×, iluminación Keller (fotografía de Arturo Estrada-Torres). **B:** sin peridio en *Sclerocystis rubiformis*, 10×, iluminación Keller (fotografía de Arturo Estrada-Torres).
- Fig. 10** Hifa de sostén en forma de sáculo en *Entrophospora infrequens*, inserción intercalar, 10×, iluminación Keller (fotografía de Yolanda Nava Gutiérrez).
- Fig. 11** Algunas características del género *Acaulospora*. **A:** Hifa de sostén en forma de sáculo en *Acaulospora splendida*, inserción lateral, 10×, iluminación Keller (fotografía de Arturo Estrada-Torres). **B:** Orbe de germinación en *Acaulospora spinosa*, 40×, contraste de interferencia de Nomarski (fotografía de Laura Hernández-Cuevas).
- Fig. 12** Espora completa de *Gigaspora* sp., 40×, luz tangencial (fotografía de Carmen Loyola).
- Fig. 13** Características del género *Scutellospora*. **A:** Hifa de sostén en forma de bulbo en *Scutellospora pellucida*, 20×, contraste de interferencia de Nomarski (fotografía de Arturo Estrada-Torres). **B:** Escudo de germinación en *Scutellospora gilmoreii*, 40×., contraste de interferencia de Nomarski (fotografía de Arturo Estrada-Torres).
- Fig. 14** Esquema de la formación de agregados del suelo por parte de las hifas. **A:** arbusculo, **C:** célula, **V:** vesícula, **H:** haustorio, **Pr:** pelo radical, **He:** hifa exploradora, **Bas:** estructuras de absorción ramificada y **Ag:** agregados.
- Fig. 15** Mapa de la Reserva Ecológica "El Pedregal de San Ángel" (tomado de Gaceta UNAM, 1997, modificado por Aldi de Oyarzabal).

# I. INTRODUCCIÓN

## I.1. Generalidades

La relación micorrízica es una asociación mutualista en la que ambos participantes, hongo y planta, mantienen un balance de beneficios y costos positivo, ya que a pesar de los costos que representa estar juntos, los beneficios son mayores y recíprocos, lo cual se ve reflejado en incremento en las tasas de crecimiento, reproducción y supervivencia de ambas poblaciones involucradas (Allen, 1991).

## I.2. Tipos de micorrizas

De acuerdo con el grado de penetración del hongo en la raíz del hospedero Harley y Smith (1983) dividieron a las micorrizas en tres grandes grupos: ectomicorriza, ectendomicorriza y endomicorriza. Con base en los grupos de hongos y de plantas que establecen la asociación, los mismos autores subdividieron a la ectendomicorriza en arbutoide, monotropoide y ectendomicorriza, y a la endomicorriza en ericoide, orquideoide y arbuscular (Fig. 1). Las características de cada tipo de micorriza son descritas a continuación:

I. **ECTOMICORRIZA:** presenta un manto fúngico denso que cubre exteriormente a la raíz, intercelularmente penetran las hifas y dan lugar a la red de Hartig.

*Hongos involucrados:* Zigomicetos, Ascomicetos, Basidiomicetos y Deuteromicetos.

*Plantas hospederas:* Gimnospermas y Angiospermas.

II. **ECTENDOMICORRIZA:** presenta manto fúngico laxo, red de Hartig y penetración intracelular escasa.

a) **Arbutoide:** El hongo forma un manto, red de Hartig e hifas intercelulares.

*Hongos involucrados:* Ascomicetos y Basidiomicetos.

*Plantas hospederas:* Orden Ericales.

b) **Monotropoide:** El hongo forma un manto fúngico, hifas intracelulares e intercelulares y haustorios.

*Hongos involucrados:* Ascomicetos y Basidiomicetos

*Plantas hospederas:* Género *Monotropa*.

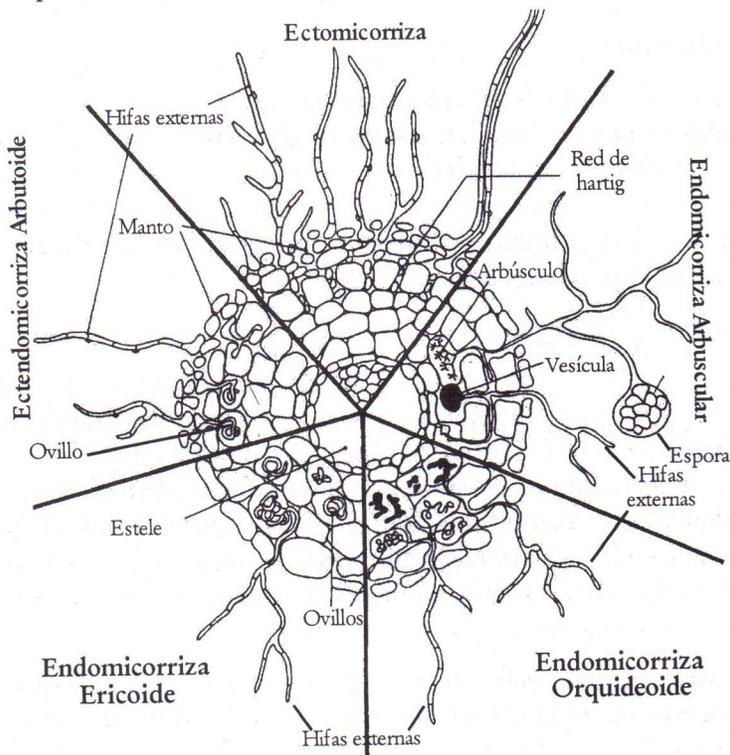


Fig. 1. Esquema de los diferentes tipos de colonización producidos por los hongos micorrizógenos (modificado de Selosse y Le Tacon, 1998).

c) **Ectendomicorriza:** El hongo forma en algunos casos un manto, presenta hifas intercelulares e intracelulares, llamadas estas últimas pelotones fúngicos.

*Hongos involucrados:* Ascomicetos.

*Plantas hospederas:* Gimnospermas y Angiospermas.

III. **ENDOMICORRIZA:** presenta hifas externas que exploran el suelo y penetración de hifas intracelular e intercelularmente, no hay un manto fúngico ni red de Hartig.

a) **Arbúscular:** El hongo penetra intracelular e intercelularmente y forma arbúsculos.

*Hongos involucrados:* Zigomicetos.

*Plantas hospederas:* Briofitas, Pteridofitas, Gimnospermas y Angiospermas.

b) **Ericoide:** El hongo penetra intracelular e intercelularmente y forma enrollamientos hifales llamados ovillos.

*Hongos involucrados:* Ascomicetos y Basidiomicetos

*Plantas hospederas:* Orden Ericales

c) **Orquideoide:** El hongo penetra intracelular e intercelularmente y forma enrollamientos hifales llamados ovillos.

*Hongos involucrados:* Basidiomicetos y Deuteromicetos

*Plantas hospederas:* Familia Orchidaceae

### I.3. Importancia de las micorrizas

Las asociaciones micorrízicas son *cosmopolitas* por su presencia en la mayoría de los hábitats naturales terrestres y *generalistas* por el amplio número de familias de plantas susceptibles de ser micorrizadas, por ello la micorrización es considerada como la norma en los ambientes naturales, e incluso se dice que las plantas más que las raíces presentan micorrizas.

Mediante esta asociación, el hongo incrementa la superficie de captación de nutrimentos para la planta, principalmente de iones fosfato y amonio disponibles en el suelo. Se estima que las hifas externas proporcionan hasta un 80% del fósforo y 25% del nitrógeno requeridos por la planta. A cambio, el hongo además de contar con un hábitat, recibe azúcares simples derivados de la fotosíntesis efectuada por el hospedero. Se ha señalado que una gran cantidad de hongos micorrizógenos asociados con especies vegetales reciben del 4 al 20% del carbono almacenado por la planta. Pero estos hongos llegan a ser parásitos cuando los costos netos de la simbiosis exceden los beneficios.

Su presencia en las plantas es considerada un carácter ancestral, ya que las evidencias fósiles señalan que fueron determinantes para que

éstas colonizaran el medio terrestre al proveer ventajas para resolver dos problemas, la desecación y los sustratos escasos de nutrimentos. Los datos señalan la presencia de hifas y esporas fósiles en rocas del Ordovícico (hace 460 MA), muy semejantes a los ejemplares actuales del género *Glomus* que forman micorrizas arbusculares, lo que podría indicar que la transferencia de nutrimentos y de agua entre los organismos asociados ya se llevaba a cabo cuando las primeras plantas invadieron el medio terrestre (Pirozynski y Malloch, 1975; Simon *et al.*, 1993; Redecker *et al.*, 2000a), debido a esto se ha especulado acerca de su participación en el éxito de la invasión del ambiente terrestre al disminuir los problemas de desecación a que se enfrentaban las plantas.

#### **I.4. Los hongos micorrizógenos arbusculares**

Los hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) presentan una amplia distribución, ya que se encuentran casi en todos los hábitats terrestres, y son capaces de asociarse con la mayoría de las raíces de Angiospermas, Gimnospermas, Pteridofitas y Briofitas. Dicha asociación puede ser tanto facultativa como obligada por parte de las plantas, dependiendo de sus características particulares (Allen, 1991; Honrubia *et al.*, 1992).

Los HMA son habitantes comunes del suelo y al contrario del simbionte vegetal, son obligados; sus efectos sobre las plantas son diversos, tales como una captación de nutrimentos más eficiente, resistencia a patógenos y a condiciones ambientales adversas como sequías y niveles extremos de sales, pH y contaminantes (Sieverding, 1991).

Estos hongos no se asocian con especies vegetales específicas, sin embargo, el efecto que tienen sobre ellas sí puede ser diferente de acuerdo con la especie vegetal de que se trate, es decir, no son específicos pero sí tienen una efectividad diferencial y esto, a su vez, puede modificar la composición de especies de HMA en sitios particulares (Clark *et al.*, 1999) puede alterar las abundancias de las especies fúngicas, en cada uno de los ambientes, e incluso el número de esporas viables).

##### **I.4.1. Taxonomía**

Los hongos que forman micorriza arbuscular tradicionalmente se han clasificado dentro de la Clase Zygomycetes, debido a la presencia de micelio cenocítico y quitina y quitosano en sus paredes celulares (Griffin, 1981; Persad-Chinnery *et al.*, 1992). En 1990, Morton y Benny incluyeron a

estos hongos en el Orden Glomales con seis Géneros en tres Familias y dos Subórdenes. No obstante, la más reciente de las clasificaciones basada en evidencias moleculares los eleva al nivel de Phylum, Glomeromycota, más relacionado con Basidiomycota y Ascomycota que con Zygomycota (Schüßler *et al.*, 2001).

No obstante, cabe señalar que aquí se utilizará la clasificación de Morton y Benny (1990) (Fig. 2), debido a que esta última propuesta de clasificación es poco clara con respecto a la posición de varios taxa, no ha sido aceptada en su totalidad por la comunidad científica y presenta problemas nomenclaturales.

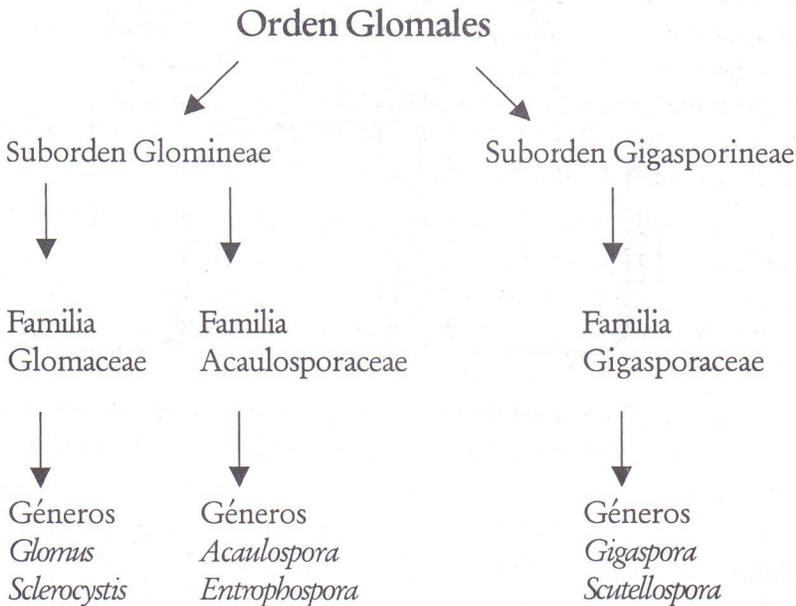
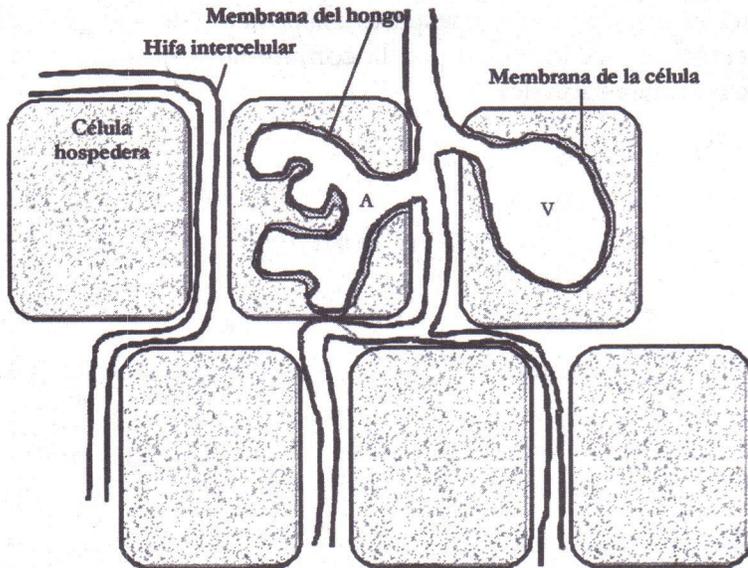


Fig. 2. Clasificación de los hongos micorrizógenos arbusculares (tomado de Morton y Benny, 1990).

### I.4.2. Anatomía

#### *Estructuras dentro de la raíz*

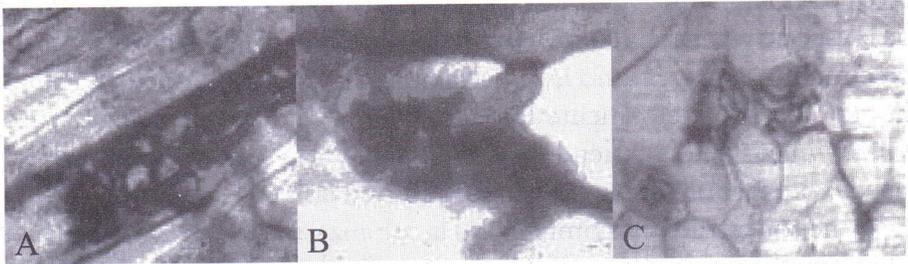
El sistema micorrízico está formado por hifas que se ramifican en el suelo y que además se encuentran conectadas con el tejido de la raíz donde penetran intercelular e intracelularmente (Fig. 3). Las hifas pueden presentar diferentes modificaciones dentro de la raíz como arbusculos, ovillos y vesículas.



**Fig. 3.** Esquema de la penetración intercelular e intracelular que presentan los hongos micorrizógenos arbusculares. A: arbusculo, V: vesícula.

Los arbusculos son ramificaciones sucesivas de la hifa dentro de las células vegetales que permiten que se establezca un contacto íntimo entre el plasmalema de los dos mutualistas; es importante destacar el hecho de que el hongo nunca está en contacto con el citoplasma de la célula vegetal (Fig. 4A). En estas estructuras el hongo transfiere elementos nutritivos a la planta y recibe los carbohidratos en forma de azúcares simples que ésta produce por fotosíntesis. La vida media de los arbusculos es de aproximadamente 14 días, después de los cuales la célula vegetal se restablece y el arbusculo se degrada (Fig. 4B). Los ovillos son enrollamientos de las

hifas a los cuales se les ha adjudicado también un papel de intercambio de nutrimentos, son característicos de la micorriza tipo *Paris* (Fig. 4C).

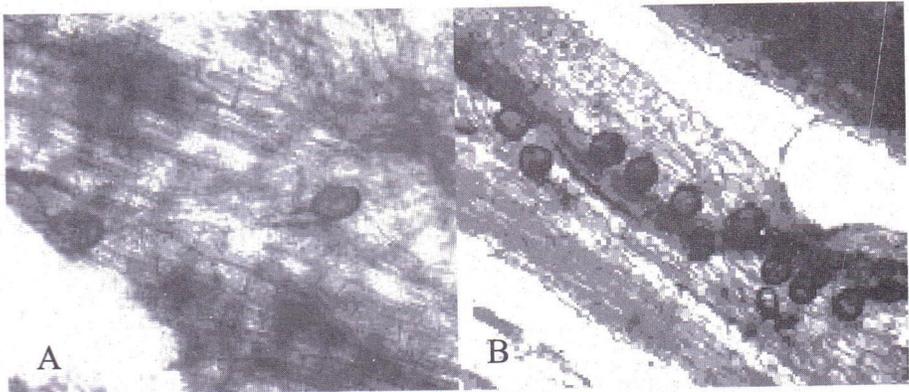


**Fig. 4.** Estructuras de hongos micorrizógenos arbusculares dentro de la raíz.

A: arbúsculo, 40×, fotografía de Arturo Estrada-Torres, B: arbúsculo en degradación de *Glomus mosseae*, 100×, fotografía de Arturo Estrada-Torres.

C: ovillos, 10×, fotografía de Oswaldo Nuñez Castillo.

Finalmente, las vesículas son engrosamientos de hifas donde se almacenan lípidos y son formadas en los géneros *Glomus*, *Sclerosystis*, *Acaulospora* y *Entrophospora* (Fig. 5A). Cabe señalar que existen especies que esporulan dentro de la raíz, como *Glomus intraradix* (Fig. 5B).



**Fig. 5.** Estructuras de hongos micorrizógenos arbusculares dentro de la raíz.

A. vesículas, 10×, fotografía de Oswaldo Nuñez Castillo. B. esporas, 10×, fotografía de Arturo Estrada-Torres.

Estudios realizados sobre la colonización micorrízica por Gallaud (1905 en Smith y Read, 1997), señalaron la presencia de dos tipos de colonización: *Arum* y *Paris*, las cuales se desarrollan en la raíz, dependiendo de la especie vegetal. La colonización tipo *Arum* se presenta en especies de crecimiento rápido, como las cultivadas y las pioneras, en estos casos el hongo coloniza velozmente la corteza de la raíz por medio de hifas intercelulares que se extienden, se ramifican y dan lugar a arbuscúlos, se pueden además presentar ovillos, pero sólo en las capas exodérmicas de la raíz y no son estructuras comunes. En la colonización tipo *Paris* se presenta un desarrollo extensivo de ovillos que se extienden directamente de célula a célula dentro de la corteza de la raíz. Los arbuscúlos crecen a partir de los ovillos y el crecimiento intercelular es lento; en este tipo de colonización la velocidad de desarrollo es más lenta que en el tipo *Arum*.

#### *Estructuras fuera de la raíz*

Las hifas son estructuras encargadas de la exploración del suelo y la captura de nutrimentos y agua, que a través de corrientes citoplasmáticas transportan hacia los arbuscúlos (Fig. 6). Estas estructuras se ramifican a partir de una

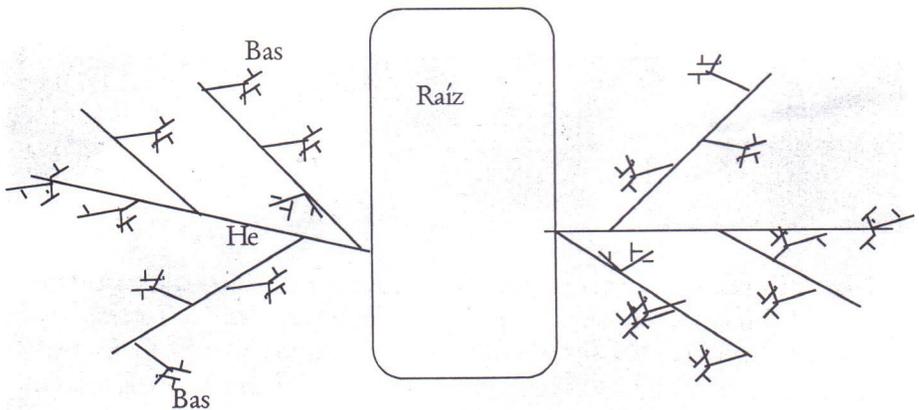
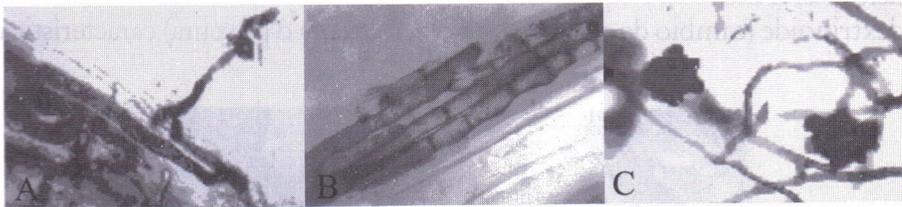


Fig. 6. Esquema del desarrollo de hifas de los hongos micorrizógenos arbusculares en el suelo. **He**: hifas exploradoras, **Bas**: estructuras de absorción ramificadas (modificado de Bago 1999).

hifa exploradora “*runner hyphae*” que constituye la parte principal de las hifas extrarradicales. Las hifas exploradoras de primer orden se ramifican formando un ángulo de aproximadamente  $45^\circ$  y a partir de ahí las ramas van ramificándose progresivamente, siendo más finas cada vez y extendiéndose de forma radial alrededor de la raíz. Las hifas de segundo y tercer orden presentan ramificaciones menos uniformes con características similares a los arbúsculos y a las que actualmente se les denomina BAS por su significado en inglés “*branched absorbing structures*” (estructuras absorbentes ramificadas). En algunos casos están asociadas con esporas y cuya función es la absorción de elementos minerales del suelo (Bago *et al.*, 1998a,b; Friese y Allen, 1991).

Las hifas jóvenes son de tipo cenocítico, es decir, no presentan paredes intercalares y el contenido citoplasmático forma un continuo (Fig. 7A), mientras que en las hifas viejas el contenido se retrae por la formación de paredes intercalares, ubicadas irregularmente, que van aislando los segmentos vacíos (Fig. 7B). Las especies de los géneros *Gigaspora* y *Scutellospora* forman células auxiliares, estructuras en forma de vesículas, integradas en racimos y generalmente ornamentadas, a las que se les atribuye una función de almacenamiento (Fig. 7C).



**Fig. 7.** Estructuras formadas por los hongos micorrizógenos arbusculares.

A: hifas cenocíticas, 20× (fotografía de Arturo Estrada-Torres).

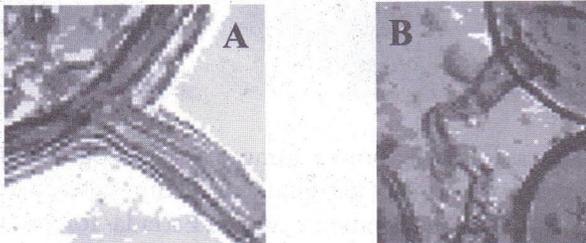
B: hifas septadas, 40× (fotografía de Arturo Estrada-Torres). C: Células auxiliares de *Scutellospora* sp., 40×, tinción con safranina. (Fotografía de Arturo Estrada-Torres).

Por otro lado, están las esporas que son estructuras de resistencia y propagación de los HMA; son multinucleadas y con abundantes compuestos de carbono (glicógeno y lípidos) (Bonfante *et al.*, 1994). Se

encuentran en el suelo o dentro de las raíces de las plantas, por lo que, para su estudio, es necesario llevar a cabo métodos particulares de extracción. A través de las esporas se pueden colonizar las raíces ya que, si las condiciones ambientales lo permiten, al germinar la espora, la hifa que emerge se dirige hacia la raíz más próxima por atracción química y la penetra; sin embargo, si no hay raíces a su alrededor, en los géneros *Gigaspora*, *Scutellospora* y *Acaulospora*, se ha observado que el contenido hifal se retrae del extremo apical hacia la base gracias a la formación de paredes intercalares que van aislando el contenido, hasta que finalmente se sella la espora. En estos casos las esporas entran en un estado de latencia que puede durar semanas o años, sin perder viabilidad. La morfología de las esporas es el criterio principal para la identificación y clasificación de las diferentes especies de HMA.

*Características anatómicas particulares de cada género de HMA:*

*Glomus*. En este género las esporas se producen en el ápice de las hifas o intercaladas en el micelio. Las esporas maduras conservan restos del micelio que les dio origen en forma de una “hifa de sostén” que en el punto de unión con la espora es recta o cónica (Fig. 7). Las esporas pueden poseer pared estructural y paredes internas o sólo estructural, asimismo, algunos de los estratos de la pared pueden cambiar de color al adicionar reactivo de Melzer (Anexo 4), ya que contiene yodo y puede producirse una reacción dextrinoide (cambio de color a rosa, rojo, magenta o púrpura) característica



**Fig. 8.** Hifa de sostén. A: recta en *Glomus intraradix* 20× contraste de interferencia de Nomarski, fotografía de Laura Hernández-Cuevas, B: cónica en *Glomus mosseae*, 20×, iluminación Keller, fotografía de Arturo Estrada-Torres.

de especies particulares. La germinación en este género se da por la emergencia de una o varias hifas que atraviesan las paredes de la espora o bien por el lumen de la hifa de sostén. Este género está representado por más de 100 especies de HMA y, por lo tanto, es el que tiene el mayor número de especies en el grupo.

*Sclerocystis*. En este género las esporas forman agrupaciones de esporas más o menos compactas, conocidas como esporocarpos, los cuales se caracterizan por presentar una masa semicompacta de hifas en su parte central, llamada plexo, asimismo, en algunos casos es posible observar una cubierta compacta o laxa de hifas, denominada peridio (Fig. 9). Actualmente existen controversias sobre la existencia de este género y autores como Redecker *et al.* (2000b) demuestran que presentan características que lo asemejan al género *Glomus*. De este género se conocen ocho especies.

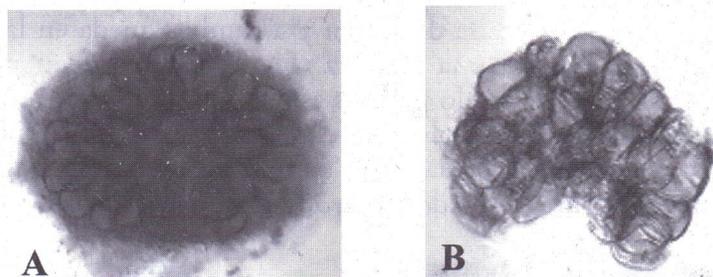


Fig. 9. Esporocarpos. A: con peridio en *Sclerocystis sp.*, 10 $\times$ , iluminación Keller (fotografía de Arturo Estrada-Torres). B: sin peridio en *Sclerocystis rubiformis*, 10 $\times$ , iluminación Keller (fotografía de Arturo Estrada-Torres).

*Entrophospora*. En este caso las esporas se producen intercaladamente a la hifa de sostén, que en uno de sus ápices se ensancha o infla a manera de globo formando lo que se conoce como sáculo (Fig. 10). Las esporas maduras pierden los restos de la hifa que les dio origen y a cambio conservan dos cicatrices como señal de ello, una opuesta a la otra. Las esporas pueden poseer paredes estructurales e internas o sólo estructurales. Algunos de los estratos de tales paredes cambian de color con el reactivo de Melzer (Anexo 4). La germinación se da a partir de una estructura conocida como "orbe de germinación". Se conocen solo siete especies de este género.

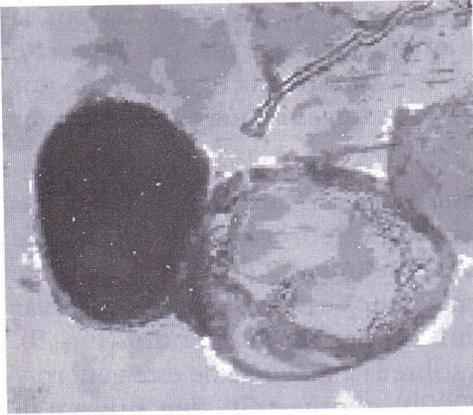


Fig. 10. Hifa de sostén en forma de sáculo en *Entrophospora infrequens*, inserción intercalar, 10×, iluminación Keller, fotografía de Yolanda Nava Gutiérrez.

*Acaulospora*. En este género las esporas se producen de manera lateral a la hifa de sostén, la cual, como en el caso de *Entrophospora* se encuentra ensanchada en su ápice (sáculo) (Fig. 11A). En las esporas maduras se pierde la totalidad de la hifa de sostén y a cambio queda en la pared estructural de la espora una cicatriz. Las esporas poseen paredes estructurales e internas o sólo paredes estructurales, algunos de cuyos estratos pueden cambiar de color con el reactivo de Melzer (Anexo 4). Presentan la estructura conocida como “orbe de germinación” (Fig. 11B), de este género se conocen alrededor de 30 especies en el mundo.

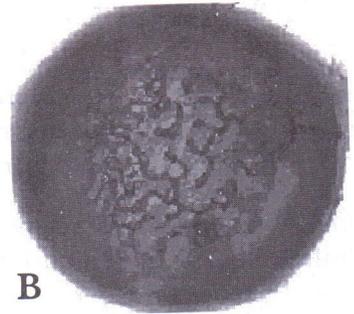
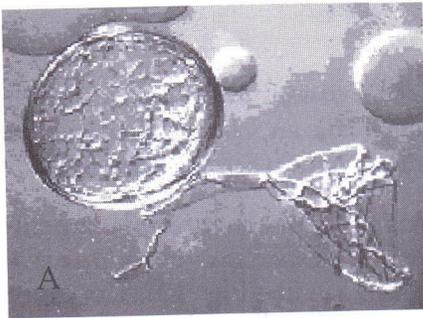


Fig. 11. Algunas características del género *Acaulospora*. A: Hifa de sostén en forma de sáculo en *Acaulospora splendida*, inserción lateral, 10×, iluminación Keller, fotografía de Arturo Estrada-Torres, B: Orbe de germinación en *Acaulospora spinosa*, 40×, contraste de interferencia de Nomarski, fotografía de Laura Hernández-Cuevas.

*Gigaspora*. Las esporas de este género se producen apicalmente a partir de una hifa de sostén ligeramente ensanchada en su ápice, a manera de bulbo (Fig. 12). Las esporas poseen sólo pared estructural, la cual generalmente incluye de dos a tres estratos, alguno de los cuales cambia de color con el reactivo de Melzer (Anexo 4). La última característica importante del género es que previamente a la germinación se produce un estrato interno adicional, altamente papilado, conocido como “estrato germinal”. Se conocen alrededor de 15 especies de este género en el mundo.

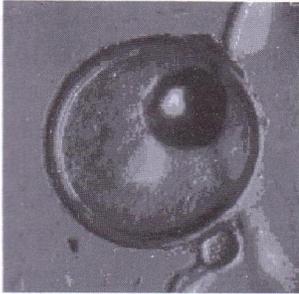


Fig. 12. Espora completa de *Gigaspora* sp., 40×, luz tangencial, fotografía de Carmen Loyola.

*Scutellospora*. Como en el caso de *Gigaspora*, las esporas se producen apicalmente a partir de una hifa de sostén en forma de bulbo. Pero, a diferencia de *Gigaspora*, las esporas siempre poseen paredes estructurales e internas y algunos de los estratos cambian de color con el reactivo de Melzer (Anexo 4). La germinación es a partir de una estructura especializada denominada “escudo de germinación”, que es, de hecho, lo que da el nombre al género (Fig. 13). Se conocen alrededor de 30 especies en este género.

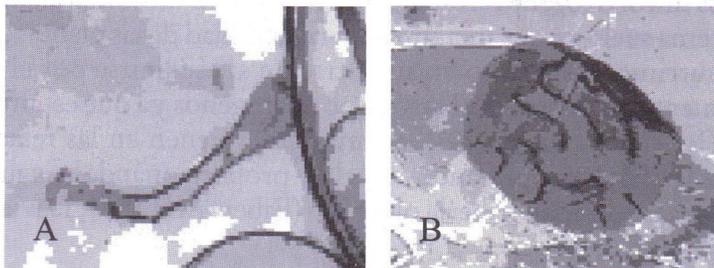


Fig. 13. Características del género *Scutellospora*. A. Hifa de sostén en forma de bulbo en *Scutellospora pellucida*, 20×, contraste de interferencia de Nomarski, fotografía de Arturo Estrada-Torres, B. Escudo de germinación en *Scutellospora gilmoreii*, 40×, contraste de interferencia de Nomarski, fotografía de Arturo Estrada-Torres.

### I.4.3. Fisiología

La colonización micorrízica arbuscular puede aumentar el contenido de fósforo, calcio, zinc, azufre, bromo y cloro en la planta hospedera (Rhodes y Gerdemann, 1978; Tinker, 1978; Swaminathan y Varma, 1979; Buwalda *et al.*, 1983), por lo que ha habido mucho interés en su uso para mejorar el desarrollo de la vegetación en lugares perturbados (Daft y Hackscaylo, 1976), ya que se ha confirmado que la micorriza arbuscular puede incrementar el crecimiento de las plantas al aumentar la superficie de absorción de fósforo en suelos deficientes en este elemento (Tinker, 1978).

Algunos estudios han mostrado que si se adicionan esporas de HMA al medio de crecimiento vegetal se disminuyen los efectos dañinos de factores limítrofes tales como niveles altos de boro y sodio en el agua de irrigación y la salinidad (Badran *et al.*, 1994), además, se puede modificar la respuesta de las plantas al estrés por agua, aumentando la resistencia a la sequía (Azcón *et al.*, 1994).

La colonización por HMA disminuye la cantidad y tipo de exudados de las raíces, tales como aminoácidos y azúcares (Graham, 1998). De esta forma, la colonización de las raíces con HMA puede ejercer efectos selectivos sobre algunos microorganismos específicos, incrementando las poblaciones de bacterias solubilizantes de fosfato, fijadoras de nitrógeno e hidrolizadoras de urea (Barea *et al.*, 1975).

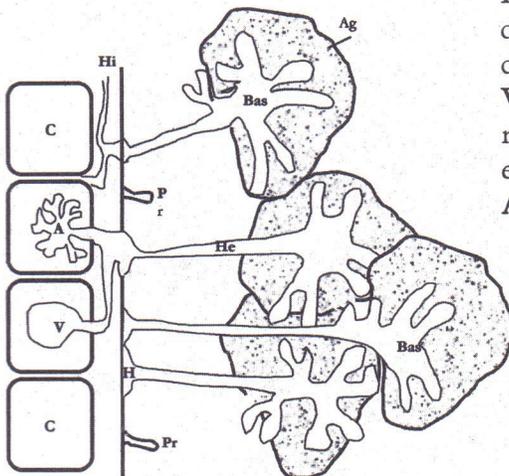
### I.4.4. Ecología

Los hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) son un componente vital del ecosistema suelo ya que incrementan la habilidad de las plantas para la toma de nutrimentos y mejoran su nutrición al esparcirse por el suelo, indirectamente las protege del ataque por patógenos ya que están mejor nutridas (Jeffries y Barea, 2001), además, intervienen en las relaciones hídricas de las plantas explorando el suelo y proporcionándoles agua, que de otra forma no podrían haberla obtenido (Faber *et al.*, 1991; Davies Jr. *et al.*, 1992).

Las raíces de las plantas al no crecer aisladas, sino en yuxtaposición con raíces de otros individuos, hacen que el sistema micelial desarrollado por los hongos micorrizógenos no esté aislado en el suelo, debido a esto, se ha propuesto que forman redes interhifales o miceliales a través de las cuales hay un flujo de materiales de una planta a otra, lo que favorece el establecimiento

de especies cercanas a la planta madre en condiciones de escasez de luz. Además, esto puede ser un factor que disminuye la competencia al hacer disponibles recursos para los individuos involucrados, lo cual explicaría la coexistencia de especies en distintas comunidades (Whittingham y Read, 1982; Newman, 1988; Simard *et al.*, 1997; Zobel *et al.*, 1997; Jeffries y Barea, 2001).

Los HMA también contribuyen de manera importante en los procesos de formación y estabilización del suelo, lo que mantiene su fertilidad (Jeffries y Barea, 2001). Ya que participan en la formación de agregados, por acción mecánica y química, gracias a que la red micelial atrapa y compacta partículas primarias de suelo. Además de secretar glomalina, una glicoproteína recalcitrante, que cementa partículas de suelo (Wright y Upadhyaya, 1998; Miller y Jastrow, 1992), (Fig. 14). Los macro y microagregados resisten mejor fuerzas destructivas como impacto de gotas y mojado y secado del suelo, mejoran la infiltración y evitan la pérdida de suelo por erosión eólica (Forster y Nicolson, 1981a, b; Koske y Polson, 1984; Dexter, 1988; Attou *et al.*, 1998). Dichos agregados persisten aún después de la muerte de las plantas y descomposición de sus raíces, por ello los HMA pueden ser utilizados como una herramienta en la rehabilitación de suelos perturbados y en la conservación de suelos potencialmente perturbables (Conde, 2001).



**Fig. 14.** Esquema de la formación de agregados del suelo por parte de las hifas. **A:** arbúsculo, **C:** célula, **V:** vesícula, **H:** haustorio, **Pr:** pelo radical, **He:** hifa exploradora, **Bas:** estructuras de absorción ramificada, **Ag:** agregados.

Los HMA por lo tanto, tienen un papel importante en el mantenimiento de la diversidad en comunidades naturales, como consecuencia de sus diferentes efectos sobre las plantas y la rizósfera. En un experimento de microcosmos, van der Heijden *et al.* (1998a,b) demostraron la relación que existe entre diversidad de hongos micorrizógenos y la productividad y diversidad de plantas, además demostraron la diversidad funcional de los hongos micorrizógenos. Es claro que la pérdida de HMA y de su diversidad por perturbaciones naturales o antropogénicas causa un decremento en la diversidad y productividad vegetal difícil de revertir.

## II. RESERVA ECOLÓGICA DEL PEDREGAL DE SAN ÁNGEL

### Descripción de la zona de estudio

La Reserva del Pedregal de San Ángel forma parte del Eje Neovolcánico y se encuentra ubicada en la zona urbana de la ciudad de México, siendo una de las áreas de mayor riqueza florística del Valle de México (Álvarez *et al.*, 1982). Su origen se remonta a la erupción volcánica del Xitle, hace unos 2000 años (Cano-Santana, 1994). En la Reserva predomina una flora propia de matorral xerófito, a la cual Rzedowski (1954) denominó como *Senecionetum praecocis*.

El clima se caracteriza por ser templado, con una temperatura media anual de 15.5 °C con variaciones extremas que van de los -6 °C hasta los 34.6 °C y con una precipitación pluvial de 870 mm anuales (Rzedowski, 1954; García, 1964).

La Reserva del Pedregal de San Ángel comprende un área de 176 ha (Gaceta UNAM, 1997) (Fig. 14), cuyos suelos son escasos, de origen eólico y orgánico, situados sobre la capa de lava (Rzedowski, 1954; Cano-Santana y Meave, 1996), tienen poca capacidad de retención de agua y escasez de nitrógeno y fósforo (Rzedowski, 1954); pueden reconocerse dos fisonomías contrastantes: i) sitios abiertos y ii) sitios cerrados (Cano-Santana, 1994). Más aún, al interior de estos dos tipos de sitios, pueden identificarse variaciones topográficas como hoyos, grietas, hondonadas, planos y promontorios rocosos (Álvarez *et al.*, 1982). Esta heterogeneidad topográfica favorece una gran diversidad ambiental, la que a su vez ha incidido positivamente en la diversidad florística del sitio (Valiente-Banuet y de Luna, 1990).

No obstante, es claro que tanto la fisonomía como la riqueza de especies, han sufrido deterioros a lo largo del tiempo ya que de las 345 especies vegetales registradas para la Reserva en la primera mitad del siglo pasado (Rzedowski, 1954) el número se ha reducido actualmente a 286

(Castillo-Argüero, 2002), 21% de las cuales son especies que a mediados de siglo no habían sido registradas y posiblemente entraron a la Reserva recientemente. Las causas de ello son los disturbios a los que se encuentra sometida la Reserva: reducción del área por el crecimiento de la mancha urbana, contaminación ambiental, así como un aumento reciente en la frecuencia de incendios (Cano-Santana y Meave, 1996; Martínez-Mateos, 2001).

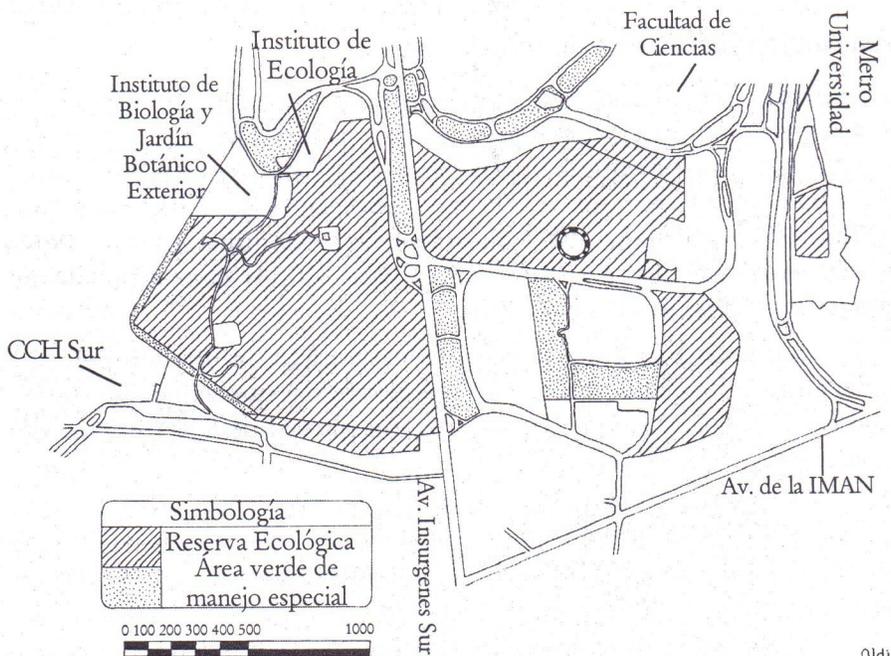


Fig. 15. Mapa de la Reserva Ecológica "El Pedregal de San Ángel" (tomado de Gaceta UNAM, 1997, modificado por Aldi de Oyarzabal).

---

### III. ESPECIES DE HONGOS MICORRIZÓGENOS ARBUSCULARES EN LA RESERVA ECOLÒGICA DEL PEDREGAL DE SAN ÁNGEL

#### III.1. Métodos

Se colectaron muestras de suelo en los diferentes microambientes presentes en la reserva, se aislaron las esporas, se realizaron preparaciones y posteriormente se identificaron y caracterizaron (Ver anexos).

Para la descripción de las especies se consideró como pared estructural, integrada por uno o varios estratos (L11, L2, etc.) a aquella que está en contacto con el ambiente, presenta estratos duros, generalmente pigmentados y ornamentados, características que se han correlacionado con la persistencia y dispersión de las esporas. Por su parte, las paredes internas (IW1, IW2, IW3), que pueden estar integradas por varios estratos, se caracterizan por su falta de pigmentación y fragilidad, son éstas las que limitan el contenido esporal.

En la Reserva del Pedregal de San Ángel se encontraron cinco de los seis géneros que se conocen para el grupo: *Glomus*, *Acaulospora*, *Entrophospora*, *Gigaspora* y *Scutellospora*.

Se encontraron 12 especies de *Glomus*, seis no determinadas, nueve especies de *Acaulospora*, tres no determinadas, una de *Entrophospora*, una de *Gigaspora* y dos de *Scutellospora*., una no determinada. Las especies no identificadas están caracterizadas en la base de datos y podrían ser especies nuevas.

#### III.2. Descripción de especies de HMA

##### SUBORDEN GLOMINEAE

##### Familia Acaulosporaceae

*Acaulospora appendicula* Spain, Sieverding et Schenck

*Acaulospora laevis* Gerdemann et Trappe

*Acaulospora mellea* Spain et Schenck

- Acaulospora rehmsii* Sieverding et Toro  
*Acaulospora scrobiculata* Trappe  
*Acaulospora spinosa* Rothwell et Trappe  
*Entrophospora infrequens* (Hall) Ames et Schneider

**Familia Glomaceae**

- Glomus aggregatum* Schenck et Smith emend. Koske  
*Glomus claroideum* Schenck et Smith  
*Glomus geosporum* Nicolson et Gerdemann  
*Glomus intraradix* Schenck et Smith  
*Glomus microaggregatum* (Berk. et Broome) Trappe et Gerdemann  
*Glomus mosseae* Nicolson et Gerdemann

**SUBORDEN GIGASPORINEAE****Familia Gigasporaceae**

- Gigaspora gigantea* Nicolson et Gerdemann  
*Scutellospora pellucida* (Nicol. et Schenck) Walker et Sanders

## SUBORDEN GLOMINEAE

### Acaulosporaceae

#### *Acaulospora appendicula* Spain, Sieverding et Schenck

Espora formada a partir de una hifa ensanchada en el ápice a manera de sáculo. Espora con cuatro estratos en la pared estructural (L1, L2, L3 y L4). L1: mucilaginoso, delgado, se pierde rápidamente. L2: membranoso, grueso, con numerosas fracturas que le dan a su superficie una apariencia "parchada", reacciona de color rosa o magenta al reactivo del Melzer. L3: unitario, amarillo pálido o blanquecino, con numerosas proyecciones en su superficie interna, las cuales se acoplan a las depresiones del estrato siguiente, reacciona de color rojo intenso al Melzer. L4: membranoso con depresiones, grueso.

#### Comentarios

La cicatriz se encuentra adherida a los restos del pedicelo de sostén a partir del cual se originó la espora. Las esporas se forman individualmente en el suelo. La pared tiene un patrón reticular de grietas que sirven de líneas de fractura cuando la espora es presionada, la tercera capa presenta proyecciones que se acoplan al retículo alveolar convexo del último estrato. Estas características hacen de esta una de las especies de HMA más fáciles de reconocer. Esta especie se considera como sinónimo de *Glomus leptotichum* (Schenk *et al.*, 1984).

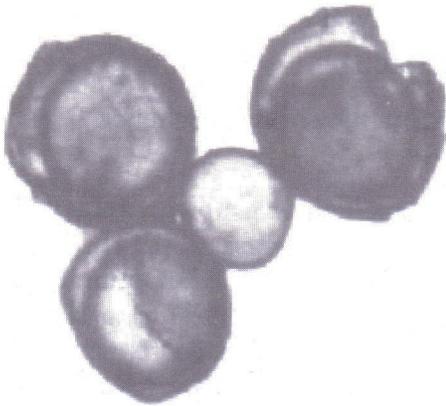
#### Distribución

Cali, Colombia; Gainesville, Florida, E.U.A. (Schenk *et al.*, 1984; Schenck y Pérez, 1990).

*En México:* Tlaxcala (Luna-Zendejas, 1997; Nava, 1998), Estado de México (Varela y Trejo, 2001).

#### Especies con las que se asocia:

*Pueraria phaseoloides* (Schenk *et al.*, 1984). *Zea mays*, *Phaseolus vulgaris*, *Pisum sativum* y *Vicia faba* (Luna-Zendejas, 1997; Varela y Trejo, 2001).



Grupo de esporas.  
Campo claro Keller 4x

Espora completa,  
detalle de los estratos.  
Campo claro Keller 20x



Detalle de los estratos de la pared L3.  
Contraste interferencial Nomarski 40x



Detalle del estrato  
ornamentado interno L4.  
Contraste interferencial Nomarski 100x



### *Acaulospora laevis* Gerdemann et Trappe

Esporas que nacen lateralmente de una hifa ancha y gruesa que termina en una sáculo grueso y globoso. Presenta paredes lisas. Pared estructural formada por dos estratos (L1 y L2). L1: mucilaginoso, evanescente, delgado, hialino. L2: formado por láminas delgadas de color naranja. Presenta tres paredes internas (IW1, IW2 e IW3). IW1: con un estrato semirrígido, delgado, hialino. IW2: con dos estratos membranosos, delgados, hialinos. IW3: con dos estratos membranosos, uno delgado hialino, ornamentado con excrescencias en forma de anillos elípticos, el más interno membranoso, hialino, grueso.

#### **Comentarios**

Presenta una cicatriz circular a ovoide que indica la región de contacto entre la espora y la base del sáculo. Con frecuencia, la pared IW1 se encuentra adherida fuertemente al estrato L2, de manera que a veces parece formar parte de la pared estructural. Asimismo, los estratos de IW2 se encuentran adheridos entre sí tan firmemente que dan la apariencia de formar un solo estrato.

#### **Distribución**

Dunas costeras, pastizales y bosques (Schenk y Pérez, 1990).

Costa Norte de California a Washington, Oregon, Florida, E.U.A. (Gerdemann y Trappe, 1974; Schenk y Pérez, 1990).

*En México:* Estado de México y Tlaxcala (Varela y Trejo, 2001).

#### **Especies con las que se asocia:**

*Chamaecyparis lawsoniana*, *Dactylis glomerata*, *Thuja plicata*, *Bellis perennis*., *Festuca* spp., *Fragaria* spp., *Hypochaeris radicata*, *Lupinus litoralis*, *Phleum pratense*, *Plantago* sp., *Stellaria* sp., *Trifolium* sp., *Allium cepa*, *Lycopersicon esculentum* (Gerdemann y Trappe, 1974; Schenk y Pérez, 1990). *Zea mays*, *Phaseolus vulgaris*, *Cucurbita sculenta*, *Solanum tuberosum*, *Vicia faba*, *Pisum sativum* (Varela y Trejo, 2001).



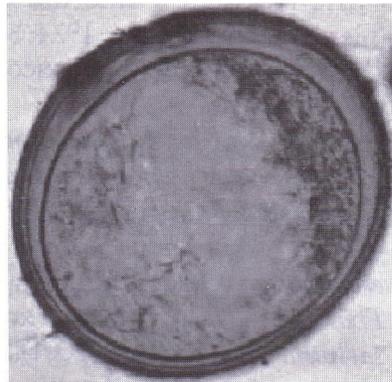
Espora completa.  
Campo claro Keller 10x

Espora en la que se aprecia la pared  
estructural y las paredes internas.  
Campo claro Keller 20x



Espora completa mostrando hifa de  
germinación.  
Contraste interferencial Nomarski 20x

Espora completa con parte del contenido  
concentrado hacia el extremo en el  
que se forma la orbe de germinación.  
Contraste interferencial Nomarski 20x



## *Acaulospora mellea* Spain et Schenck

Esporas producidas lateralmente a una hifa ancha y gruesa que termina en un sáculo grueso y globoso. Pared estructural con tres estratos (L1, L2 y L3) y dos paredes internas (IW1 y IW2). L1: hialino, delgado, muy flexible. L2: laminar, grueso, color naranja amarillento pálido. L3: laminar, flexible, delgado, color amarillo pardusco pálido. IW1: presenta dos capas hialinas de grosores similares. IW2: presenta dos capas, la primera membranosa, con excrescencias, la segunda amorfa, delgada, reacciona de color rojo púrpura al reactivo de Melzer.

### **Comentarios**

Cicatriz de forma circular a oval que indica la región de contacto entre la espora y la base del sáculo. Se caracteriza por su color rojizo y su gran tamaño.

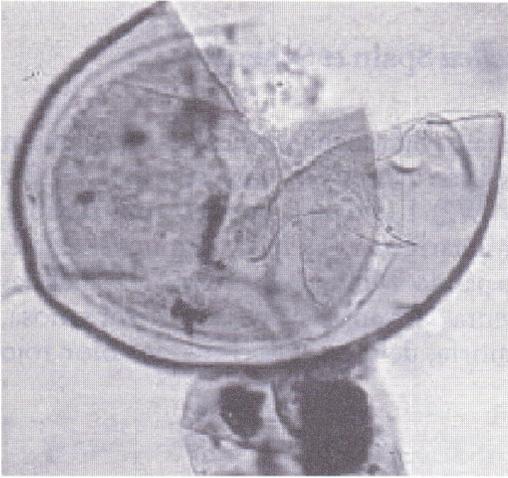
### **Distribución**

San Paulo y Minas Gerais, Brasil; Gainesville, Florida, E.U.A. (Schenck *et al.*, 1984; Schenk y Pérez, 1990).

*En México:* Tlaxcala (Varela y Trejo, 2001).

### **Especies asociadas**

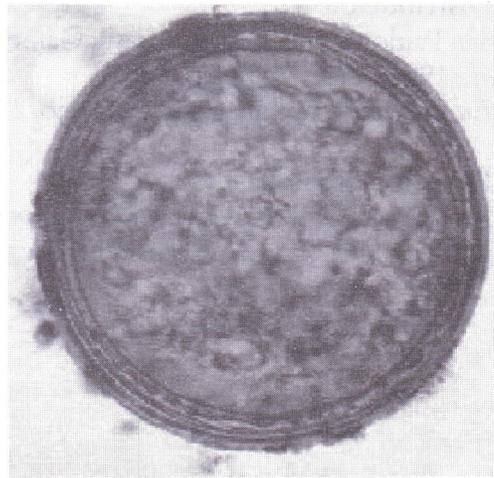
*Pueraria phaseoloides*, *Coffea arabica*, *Piper nigrum* (Schenck *et al.*, 1984; Schenk y Pérez, 1990). *Zea mays*, *Phaseolus vulgaris*, *Vicia faba* (Varela y Trejo, 2001).



Espora completa, estratos de la pared y reacción al reactivo de Melzer.

Contraste interferencial  
Nomarski 20×

Espora completa.  
Contraste interferencial  
Nomarski 20×



### *Acaulospora rehmii* Sieverding et Toro

Esporas producidas lateralmente a una hifa de sostén que en su ápice termina en forma de sáculo, ornamentadas. Pared estructural formada por dos estratos (L1 y L2). L1: mucilaginoso, evanescente, delgado, hialino. L2: formado por láminas delgadas, con depresiones laberintiformes en su superficie externa. Paredes internas tres (IW1, IW2 e IW3). IW1: con un estrato semirrígido, delgado, hialino. IW2: con un estrato membranoso, delgado, hialino. IW3: con dos estratos membranosos, el primero delgado, hialino, con numerosas excrescencias irregulares, el último membranoso, más o menos grueso, hialino, muy flexible.

#### **Comentarios**

Presenta una cicatriz de circular a oval. La primera pared se degrada rápidamente y generalmente no se encuentra en las esporas maduras. La segunda capa presenta una red de canales organizados en un patrón laberíntico complejo. La segunda pared flexible presenta una ligera reacción al reactivo de Melzer tiñéndose de color rosado claro.

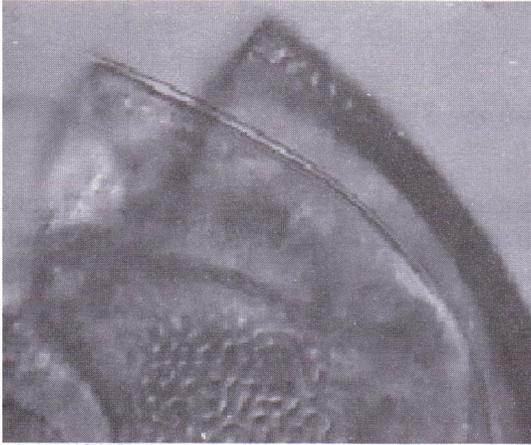
#### **Distribución**

Valle de Cauca, Colombia (Sieverding y Toro, 1987). Brasilia, Brasil (Schenk y Pérez, 1990).

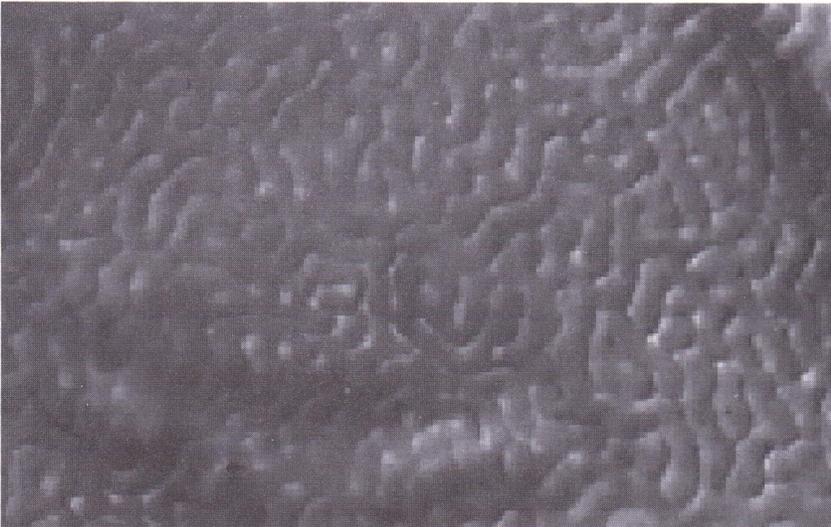
*En México:* Tlaxcala (Varela y Trejo, 2001).

#### **Especies asociadas**

*Pueraria phaseoloides*, *Sorgum* sp., *Crotalaria* sp., *Cajanus cajan* (Sieverding y Toro, 1987). *Phaseolus vulgaris* (Varela y Trejo, 2001).



Espora rota donde se observan las paredes estructural e internas.  
Campo claro Keller 20×



Detalle de la ornamentación laberintiforme en L2.  
Contraste Interferencial Nomarski 40×

### *Acaulospora scrobiculata* Trappe

Esporas ornamentadas. Pared estructural formada por dos estratos (L1 y L2). L1: mucilaginoso, evanescente, hialino, delgado. L2: formado por numerosas láminas delgadas, con depresiones circulares, pequeñas y distribuidas de manera uniforme en la superficie externa. Presenta tres paredes internas (IW1, IW2 e IW3). IW1: con un estrato membranoso, hialino, delgado. IW2: con dos estratos membranosos, hialinos. IW3: con dos estratos membranosos, hialinos, el primero ornamentado con excrescencias irregulares, IW3 más grueso que el anterior, muy flexible.

#### **Comentarios**

Presenta una cicatriz de circular a ovoide. La superficie de la espora está ornamentada con depresiones circulares o elípticas pequeñas y distribuidas uniformemente sobre su superficie. Los estratos de IW2 se encuentran tan adheridos entre sí que dan la apariencia de ser sólo uno. El estrato más interno de IW3 cambia a rosado o rosado intenso con reactivo de Melzer.

#### **Distribución**

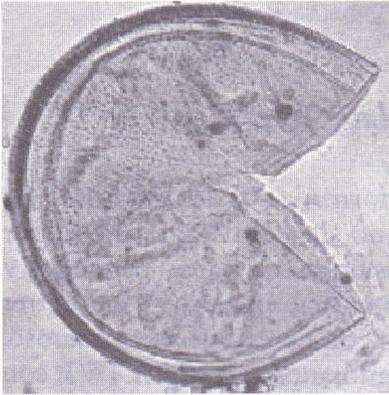
Dunas costeras, selvas y pastizales tropicales (García, 1997; Ramírez-Gerardo *et al.*, 1997; Guadarrama y Álvarez-Sánchez, 1999; Schenk y Pérez, 1990; Varela y Trejo, 2001; Álvarez, 2002).

Illinois, Oregon, Washington, E.U.A.; Shiga, Japón (Trappe, 1977; Schenk y Pérez, 1990).

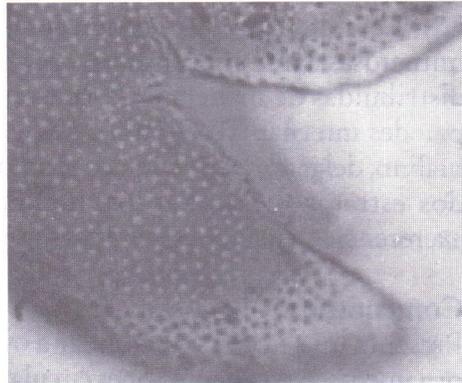
*En México:*, Veracruz (García, 1997; Ramírez-Gerardo *et al.*, 1997; Guadarrama y Álvarez-Sánchez, 1999; Varela y Trejo, 2001), Yucatán (Barredo-Pool *et al.*, 1998). Quintana Roo (Carrillo *et al.*, 2000) Chiapas, Estado de México (Varela y Trejo 2001) y Jalisco (Álvarez, 2002),

#### **Especies con las que se asocia:**

*Saccharum officinarum*, *Zea mays*, *Festuca viridula* (Trappe, 1977). *Mamillaria gaumeri*, *Pterocereus gaumeri* (Barredo-Pool *et al.*, 1998). *Bactris balanoidea*, *Desmoncus quasillarius*, *Bactris mexicana* (Carrillo *et al.*, 2000).



Espora completa mostrando  
los estratos de la pared.  
Contraste interferencial Nomarski 20×



Detalle de la ornamentación.  
Contraste interferencial  
Nomarski 40×



Cicatriz y contenido esporal.  
Contraste interferencial  
Nomarski 40×

Espora completa donde se  
observan los estratos en grupos.  
Contraste interferencial  
Nomarski 20×



### *Acaulospora spinosa* Walker et Trappe

Esporas ornamentadas, producidas lateralmente sobre una hifa de sostén que en su ápice se ensancha y forma un sáculo. Pared estructural formada por dos estratos (L1 y L2). L1: mucilaginoso, evanescente, hialino, delgado. L2: formado por láminas delgadas, de color café amarillento por la luz transmitida, con proyecciones en forma de espinas con ápices redondeados, distribuidas uniformemente sobre su superficie externa. Presenta tres paredes internas (W1, IW2 e IW3). IW1: con un estrato semirrígido, delgado, hialino. IW2: con dos estratos membranosos, delgados, hialinos. IW3: con dos estratos membranosos, hialinos, el primero delgado con numerosas excrescencias irregulares, el último grueso, muy flexible, reacciona con reactivo de Melzer y cambia a rosado o magenta.

#### Comentarios

Presenta una cicatriz con bordes prominentes. La primera capa se degrada durante la diferenciación de las paredes. El estrato L1 se pierde con facilidad en esporas maduras. La pared IW1 frecuentemente se encuentra unida fuertemente al estrato L2 de la pared estructural, por lo que ha llegado a pensarse que es parte de ésta.

#### Distribución

Pastizales (Ramírez-Gerardo *et al.*, 1997; Álvarez, 2002); selva tropical húmeda (Guadarrama y Álvarez-Sánchez, 1999).

Iowa, E.U.A. (Walker y Trappe, 1981).

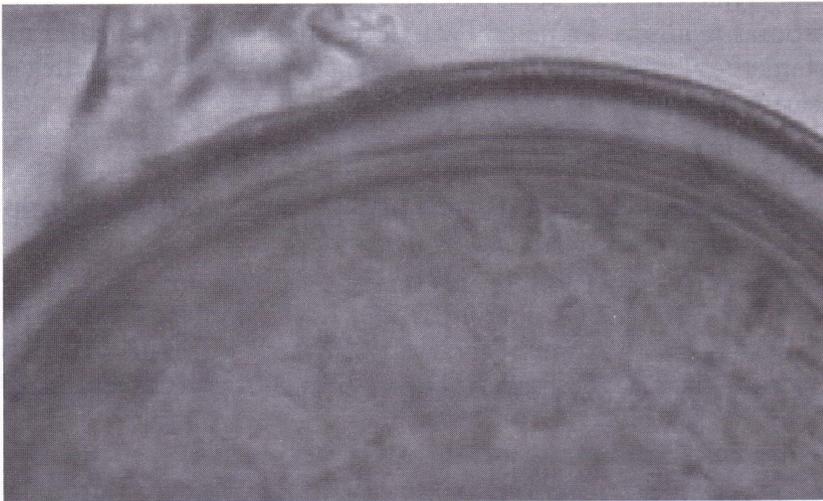
*En México:* Veracruz (Walker y Trappe, 1981; Ramírez-Gerardo *et al.*, 1997; Guadarrama y Álvarez-Sánchez, 1999; Varela y Trejo, 2001), Yucatán (Barredo-Pool *et al.*, 1998), Tlaxcala (Varela y Trejo, 2001), Jalisco (Álvarez, 2002).

#### Especies con las que se asocia:

*Fragaria vesca*, *Populus* spp., *Fraxinus americana* (Walker y Trappe, 1981). *Mamillaria gaumeri*, *Pterocereus gaumeri* (Barredo-Pool *et al.*, 1998). *Zea mays*, *Phaseolus vulgaris*, *Vicia faba*, *Pisum sativum*, *Coffea* sp. (Varela y Trejo, 2001).



Espora completa mostrando  
los estratos y ornamentación  
en corte óptico.  
Contraste interferencial  
Nomarski 20×



Detalle de la ornamentación.  
Contraste interferencial Nomarski 40×

### *Entrophospora infrequens* (Hall) Ames et Schneider

Esporas ornamentadas, producidas intercaladamente en una hifa de sostén que se ensancha en su ápice formando un sáculo globoso. Pared estructural formada por tres estratos (L1, L2 y L3). L1 y L2: mucilaginosos, evanescentes, hialinos. L3: semirrígido, con numerosas proyecciones poligonales de ápices romos, con una ligera depresión en el centro, de color amarillo a café amarillento. Presenta una pared interna (IW1). IW1: con dos estratos membranosos, delgados, hialinos.

#### **Comentarios**

Presenta dos cicatrices opuestas o casi opuestas entre sí de circulares a ovoides y con espinas. La primera capa de la espora y la capa externa del sáculo esporífero presentan reacción al Melzer de rosa a rojizo oscuro. El sáculo esporífero es hialino, oblongo, con 3 paredes. La hifa de sostén es de color café y carece de septo. El estrato L1 se tiñe de color magenta con reactivo de Melzer y sólo se observan restos de él adheridos a la espora. Los estratos de IW1 se encuentran tan fuertemente adheridos entre sí que dan la apariencia de ser sólo uno.

#### **Distribución**

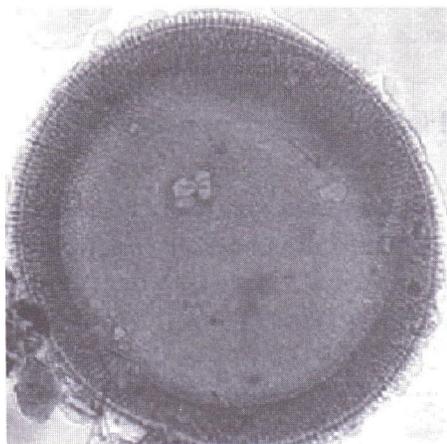
Selva baja caducifolia y pastizal (Álvarez, 2002).

California, Oregon, Iowa, E.U.A. (Ames y Schneider, 1979).

*En México:* Tlaxcala (Varela y Trejo, 2001) y Jalisco (Álvarez, 2002).

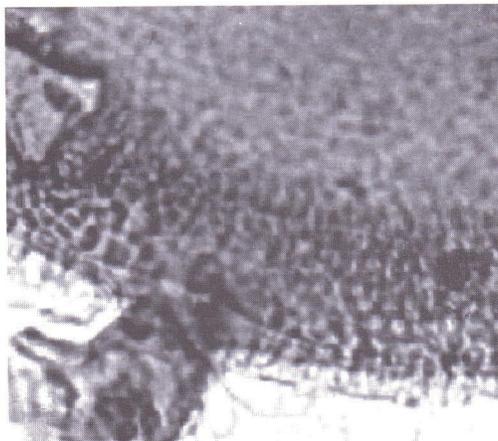
#### **Especies con las que se asocia:**

*Populus* sp., *Sorghum* sp., y *Zea mays* (Ames y Schneider, 1979).



Detalle de la ornamentación en  
vista superficial y corte óptico.  
Contraste interferencial  
Nomarski 20×

Vista donde se notan  
los restos de la hifa de  
sostén y restos del  
estrato L2 mucilaginoso.  
Contraste interferencial.  
Nomarski 20×



Detalle de la ornamentación en  
vista superficial y corte óptico,  
con restos de la hifa de sostén.  
Contraste interferencial  
Nomarski 40×

## Glomaceae

### *Glomus aggregatum* Schenck et Smith emend. Koske

Esporas agregadas en esporocarpos laxos, de pocas esporas, formadas dentro o fuera de la raíz. Los esporocarpos carecen de peridio. Esporas lisas, globosas a subglobosas, pequeñas, de color amarillo a amarillo pardusco. Pared estructural formada por dos (L1 y L2). L1: evanescente, delgado, se pierde rápidamente. L2: formado por láminas abundantes muy delgadas.

#### Comentarios

Hifa de sostén recta. El arreglo de las esporas en grupos es característico de esta especie.

#### Distribución

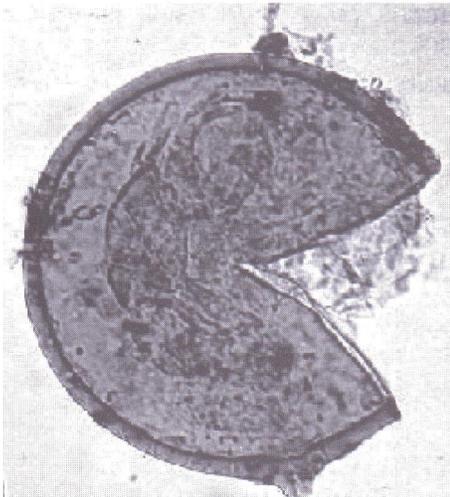
Dunas (Koske, 1985), pastizales (Álvarez, 2002).

Oregon, Florida, E.U.A. (Koske, 1985).

*En México:* Jalisco (Álvarez, 2002).

#### Especies con las que se asocia:

*Poncirus trifoliata*, *Citrus sinensis* (Hernández-Meza *et al.*, 1998).



Espora completa.  
Contraste interferencial  
Nomarski 20×

### *Glomus claroideum* Schenck et Smith

Pared estructural formada por cuatro estratos (L1, L2, L3 y L4). L1 y L2: mucilaginosos, evanescentes. L3: formado por numerosas láminas delgadas, de color amarillo pardo a café anaranjado. L4: membranoso, hialino.

#### **Comentarios**

Hifa de sostén recta. Las primeras dos capas sólo se encuentran en las esporas jóvenes. La primera capa es mucilaginosa, hialina y produce una reacción de rosa a rosa oscuro con Melzer, es granular y desaparece en las etapas maduras. La cuarta pared se extiende dentro de la hifa de sostén y es semejante a una pared flexible. El estrato L1 se pierde rápidamente y es muy difícil de observar, salvo en esporas jóvenes. El L2 también se pierde, pero frecuentemente quedan restos de él sobre el L3, a manera de parches con materia orgánica adherida. En esporas jóvenes, el estrato L4 se encuentra adherido muy firmemente al L3, de manera que a veces parecen ser sólo uno. Por el contrario, en esporas maduras L4 se desprende con facilidad de L3.

#### **Distribución**

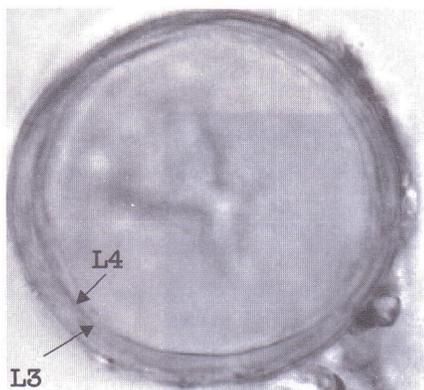
Selva baja caducifolia y pastizal (Álvarez, 2002).

Florida, E.U.A. (Schenck y Pérez, 1990).

*En México:* Tlaxcala (Nava, 2000), Zacatecas (Varela y Trejo, 2001), Jalisco (Álvarez, 2002),

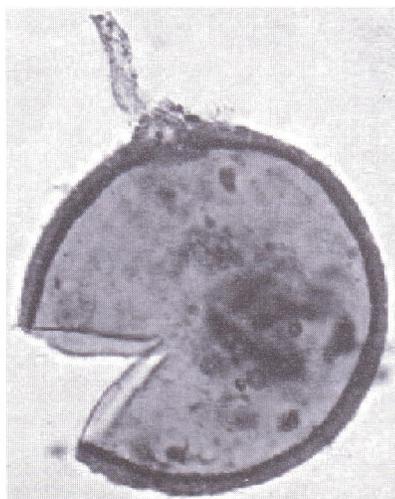
#### **Especies con las que se asocia:**

*Glycine max*, *Paspalum notatum* (Schenck y Pérez, 1990). *Phaseolus vulgaris* (Hernández-Acosta *et al.*, 2000; Varela y Trejo, 2001).



Espora en la que se notan los estratos L3 laminado y L4 membranoso.  
Contraste interferencial Nomarski 20x

En la espora del ángulo inferior izquierdo puede apreciarse la hifa de sostén recta.  
Contraste interferencial Nomarski 10x



Espora mostrando la hifa de sostén y la hifa de germinación.  
Contraste interferencial Nomarski 20x



Paredes de la espora.  
Contraste interferencial Nomarski 40×

## *Glomus geosporum* (Nicolson et Gerdemann) Walker

Esporas lisas. Pared estructural formada por tres estratos (L1, L2 y L3). L1: mucilaginoso, evanescente, hialino, muy delgado. L2: formado por láminas gruesas, de color café a café rojizo. L3: membranoso, de hialino a amarillo pardo.

### **Comentarios**

Hifa de sostén recta a ligeramente cónica. Esporas brillantes, rugosas por materia orgánica adherida. Pared de la espora café oscuro a negro, a menudo ya maduras están perforadas. Tiene una hifa de sostén con pared gruesa de amarillo a café oscuro. El estrato L3 generalmente se encuentra adherido fuertemente al L2, por lo que a veces es difícil de observar, salvo en la zona de oclusión de la espora, donde es claramente evidente. Una de las características más notables de esta especie es la presencia de numerosas perforaciones en su pared, producto del ataque de algunos microorganismos. Algunas veces, es posible ver crecimiento interno de la pared por efecto de dicho ataque, en forma de agallas internas.

### **Distribución**

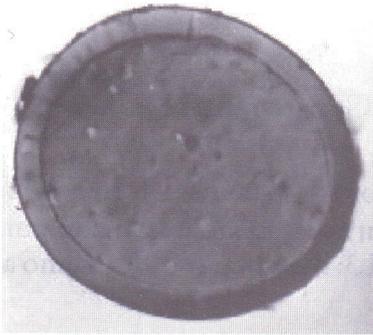
Selva baja caducifolia y pastizales (Ramírez-Gerardo *et al.*, 1997; Álvarez, 2002).

California, Norte de Washington, Michigan, E.U.A.; Escocia, Reino Unido (Schenck y Pérez, 1990).

*En México:* Yucatán (Barredo-Pool *et al.*, 1998), Quintana Roo (Carrillo *et al.*, 2000), Tlaxcala, Veracruz (Varela y Trejo, 2001), Jalisco (Álvarez, 2002).

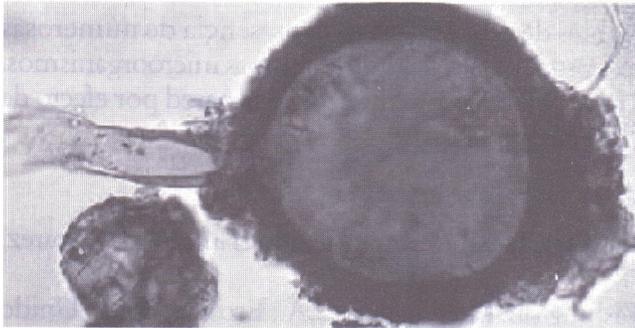
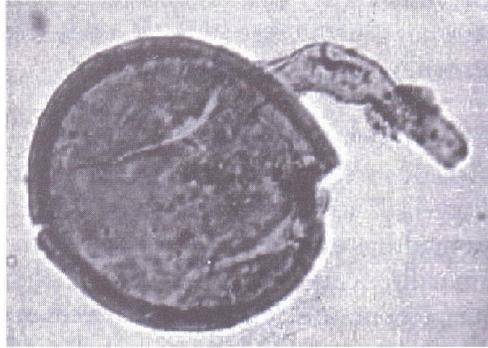
### **Especies con las que se asocia:**

*Avena* sp., *Bellis perennis*, *Hypochoeris radicata*, *Lolium* sp., *Malus* sp., *Prunus* sp., *Trifolium* sp., *Lycopersicon esculentum*, *Zea mays*, *Fragaria* sp. (Schenck y Pérez, 1990). *Mamillaria gaumeri*, *Pterocereus gaumeri* (Barredo-Pool *et al.*, 1998). *Bactris balanoidea*, *Desmoncus quasillarius* (Carrillo *et al.*, 2000). *Coffea* sp. (Varela y Trejo, 2001).



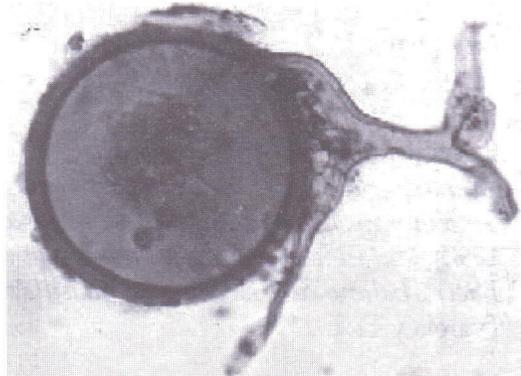
Perforaciones características de la especie.  
Contraste interferencial Nomarski 20×

Espora completa.  
Contraste interferencial Nomarski  
20×



Espora completa.  
Contraste  
interferencial  
Nomarski 20×

Espora completa.  
Contraste interferencial  
Nomarski 20×



### *Glomus intraradix* Schenck et Smith

Esporas lisas. Pared estructural formada por tres estratos (L1, L2 y L3). L1 y L2: mucilaginosos, evanescentes, gruesos, hialinos. L3: grueso, formado por láminas delgadas, de color café amarillento.

#### **Comentarios**

Hifa de sostén recta. El estrato L1 cambia a color magenta o rosado intenso con reactivo de Melzer y se pierde con facilidad. El L2 es un poco más persistente que el L1 y no reacciona con el reactivo. El nombre específico de esta especie se le otorgó gracias a que generalmente las esporas se producen dentro de la raíz. Ocasionalmente se les puede encontrar formando esporocarpos laxos de unas pocas esporas.

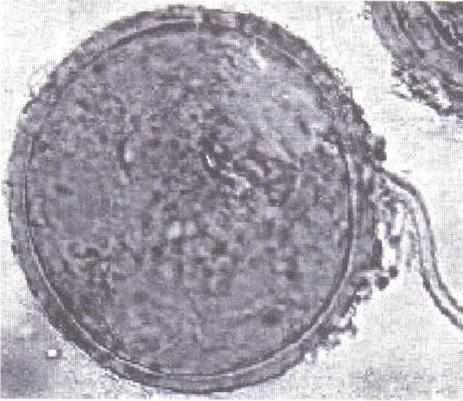
#### **Distribución**

Florida, Immokalee, Dover, Hastings, Quincy, E.U.A. (Schenck y Pérez, 1990).

*En México:* Tlaxcala, Jalisco (Varela y Trejo 2001).

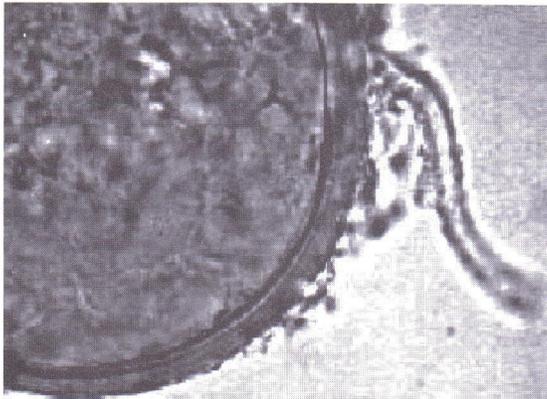
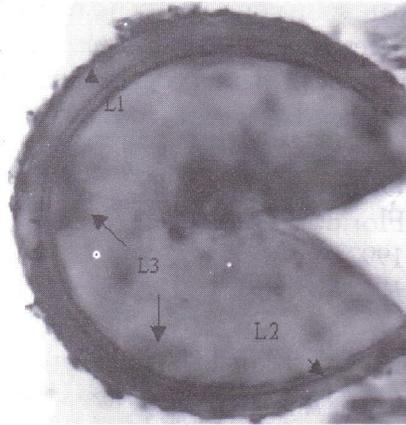
#### **Especies con las que se asocia:**

*Carica papaya*, *Lycopersicon esculentum*, *Apium graveolens* var. *dulce*, *Citrus* sp., *Arachis glabrata*, *Stylosanthes* sp., *Fragaria chiloensis* var. *ananassa*, *Daucus carota* var. *sativa*, *Solanum tuberosum*, *Hordeum vulgare*, *Avena sativum* y *Triticum vulgare*. (Schenck y Pérez, 1990). *Physalis ixocarpa* (Velasco-Velasco et al., 1998). *Poncirus trifoliata*, *Citrus sinensis* (Hernández-Meza et al., 1998). *Zea mays* (Ramos-Zapata et al., 1998). *Lycopersicon esculentum* (Bago et al., 1998a). *Chilopsis linearis*, *Capsicum annuum*, *Psidium guajaba* (Davies et al., 2000). *Leucaena leucocephala*, *Panicum maximum* (Flores-Bello et al., 2000). *Phaseolus coccineus*, *Cucurbita ficifolia* (Álvarez-Solís et al., 2000). *Phaseolus vulgaris* (Aguilar et al., 2000).



Espora completa.  
Contraste interferencial  
Nomarski 20×

Espora en la que se notan los estratos  
L2 y L3 y sólo restos del L1 en  
forma de manchas púrpuras.  
Contraste interferencial Nomarski 40×



Detalle de la hifa de sostén  
y estratos de la pared.  
Contraste interferencial  
Nomarski 40×

### *Glomus microaggregatum* Koske, Gemma et Olexia

Esporas producidas en esporocarpos laxos, pequeñas, esféricas a subesféricas. Pared estructural formada por dos estratos (L1 y L2). L1: mucilaginoso, evanescente, hialino. L2: formado por láminas muy delgadas, amarillas.

#### **Comentarios**

Esporas lisas con hifa de sostén recta, a ligeramente cónica. Es frecuente encontrar las esporas de esta especie dentro de otras esporas de hongos micorrizógenos arbusculares, muertas y más grandes. La apariencia general de la espora es muy frágil ya que se colapsa con facilidad.

#### **Distribución**

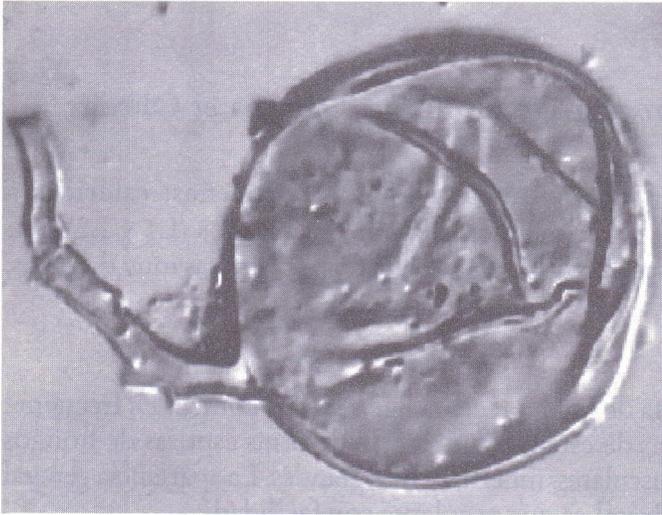
Dunas (Koske y Walker, 1986).

California, Michigan, Hawaii, E.U.A. (Koske *et al.*, 1986).

*En México:* Estado de México (Varela y Trejo, 2001).

#### **Especies con las que se asocia:**

*Abronia maritima*, *Ambrosia chamissonnis*, *Ammophila breviligulata*, *Calamovilfa longifolia*, *Ipomoea brasiliensis*, *Malaconthrix incana*, *Pennisetum setaceum*, *Sporobolus* sp., *Prunus pumila*, *Uniola paniculata* (Koske *et al.*, 1986). *Zea mays* (Varela y Trejo, 2001).



Espora donde se  
observa la hifa de  
sostén recta.  
Campo claro 40×

Esporas dentro de una espora de  
hongos micorrizógenos  
arbusculares.  
Contraste interferencial  
Nomarski 20×



## *Glomus mosseae* (Nicolson et Gerdemann) Gerdemann

Esporas lisas, con apículo. Pared estructural formada por tres estratos (L1, L2 y L3). L1 y L2: mucilaginosos, evanescentes, delgados, hialinos, cambian a rosa o rojizo con reactivo de Melzer. L3: formado por láminas delgadas, amarillas.

### **Comentarios**

Hifa de sostén recta. Cuando las esporas se presentan agrupadas presentan un peridio formado por agregación de hifas. El estrato L1 es muy difícil de ver, salvo en esporas muy jóvenes, ya que se pierde con facilidad. El L2 es un poco más persistente y evidente por los restos que permanecen sobre la superficie de la espora como parches, este estrato adquiere coloración rosado a magenta con el reactivo de Melzer. Aunque la forma general de la espora es esférica, se considera como apiculada ya que la oclusión que separa su contenido del exterior se encuentra proyectada hacia fuera de la superficie, formando una especie de cono o infundíbulo.

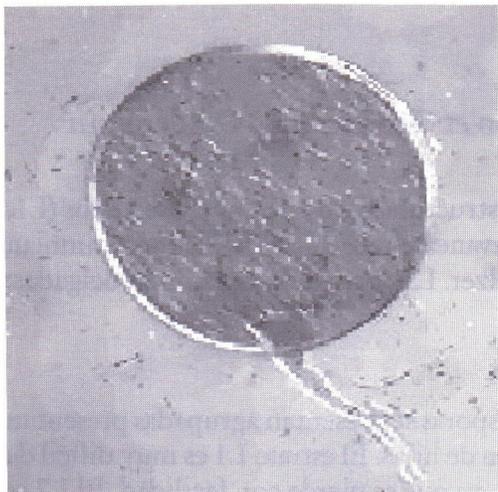
### **Distribución**

Escocia, Reino Unido (Gerdemann y Nicolson, 1963).

*En México:* Jalisco (Aguilar *et al.*, 2000), Tlaxcala (Varela y Trejo, 2001).

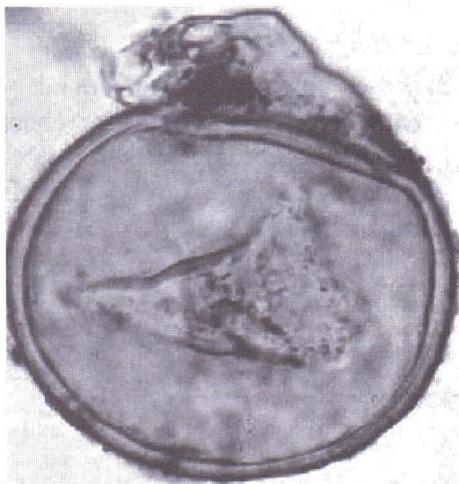
### **Especies con las que se asocia:**

*Fragaria chiloensis*, *Zea mays* (Schenck y Pérez, 1990; Ramos-Zapata *et al.*, 1998). *Pisum sativum* (Slezack *et al.*, 1998). *Cucurbita succulenta*, *Phaseolus vulgaris* (Aguilar *et al.*, 2000; Varela y Trejo 2001). *Pyrus malus*, *Prunus domestica* (Varela y Trejo 2001).



Espora con apículo  
y restos de la hifa de sostén.  
Contraste interferencial  
Nomarski 20×

Espora con hifa infundibuliforme.  
Contraste interferencial  
Nomarski 20×



## SUBORDEN GIGASPORINEAE

### Gigasporaceae

#### *Gigaspora gigantea* Nicolson et Gerdermann

Esporas lisas, muy grandes, de color amarillo limón brillante. Pared estructural compuesta por dos estratos (L1 y L2). L1: semirrígido, delgado, hialino. L2: formado por láminas más o menos gruesas, de color amarillo limón por la luz transmitida.

#### Comentarios

Hifa de sostén en forma de bulbo. El tubo de germinación se produce directamente a través de la pared de la espora y se origina de un estrato papilado formado específicamente para tal fin el que se conoce como estrato germinal. Presenta células auxiliares esféricas en grupos. Una de las características más notables de esta especie es el color amarillo limón brillante de sus esporas, que cambia a amarillo oliváceo brillante en esporas viejas y su gran tamaño. El estrato L2 cambia a rojizo intenso con reactivo de Melzer y está firmemente adherido al L1.

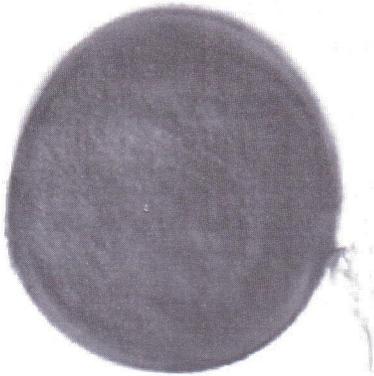
#### Distribución

Oregon, Connecticut, Carolina del Norte, E.U.A. (Gerdemann y Trappe, 1974).

*En México:* Tlaxcala (Estrada-Torres *et al.* 1992; Luna-Zendejas, 1997; Nava, 1998, 2000).

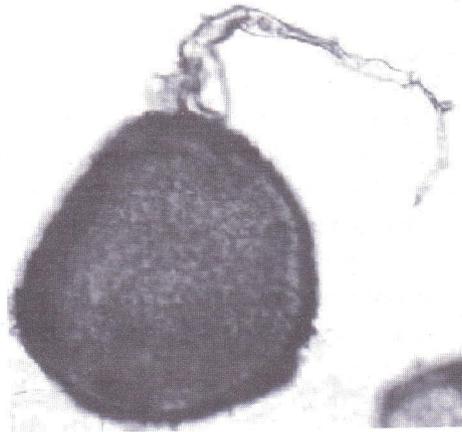
#### Especies con las que se asocia:

*Zea mays*, *Liriodendron tulipifera*, *Fraxinus americana*, *Acer negundo*, *A. saccharum*, *Arachis hypogaeae*, *Acanthospermum australe*, *Borreria alata*, *Althernanthera ficoidea*, *Diodia teres*, *Rhynchelitrum roseum*, *Waltheria indica*, *Borreria alata*, *Althernanthera ficoidea*, *Diodia teres*, *Rhynchelitrum roseum*, *Waltheria indica*, (Gerdemann y Trappe, 1974). *Vicia faba*, *Pisum sativum*, *Phaseolus vulgaris* (Luna-Zendejas, 1997).

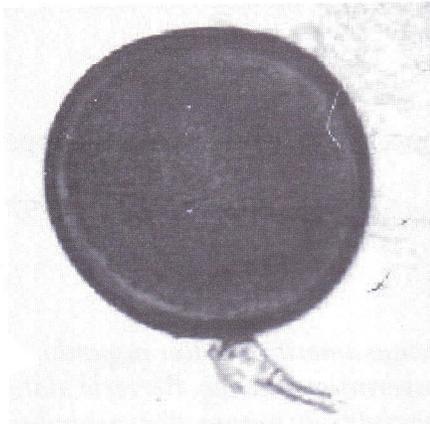


Espora completa  
con hifa bulbosa.  
Contraste interferencial  
Nomarski 10×

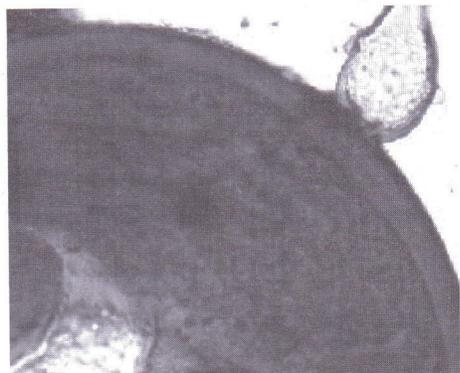
Vista general de la espora.  
Campo claro 10×



Espora completa.  
Campo claro Keller 10×



Detalle de la pared y del bulbo.  
Contraste interferencial  
Nomarski 20×



### *Scutellospora pellucida* (Nicol. et Schenck) Walker et Sanders

Esporas lisas. Pared estructural formada por tres estratos (L1, L2 y L3). L1: semirrígido, delgado, hialino. L2: semirrígido, blanquecino, más o menos grueso. L3: semirrígido, delgado, hialino. Presenta dos paredes internas (IW1 e IW2). IW1: con dos estratos semirrígidos, hialinos, delgados. IW2: formada por dos estratos semirrígidos, delgados, hialinos.

#### **Comentarios**

Los estratos de la pared estructural se encuentran firmemente adheridos entre sí. L2 cambia a color púrpura intenso con Melzer. El estrato más interno de IW2 también reacciona con Melzer y se tiñe de color púrpura a púrpura intenso.

#### **Distribución**

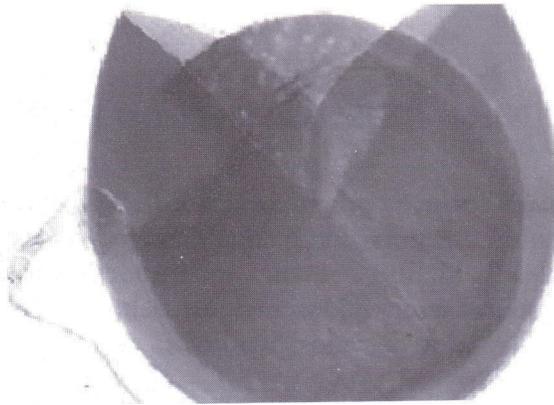
Dunas (Koske y Walker, 1986).

California, Massachusetts, Nueva Jersey, Rhode Island, Carolina del Sur, Virginia, E.U.A. (Schenck y Pérez, 1990).

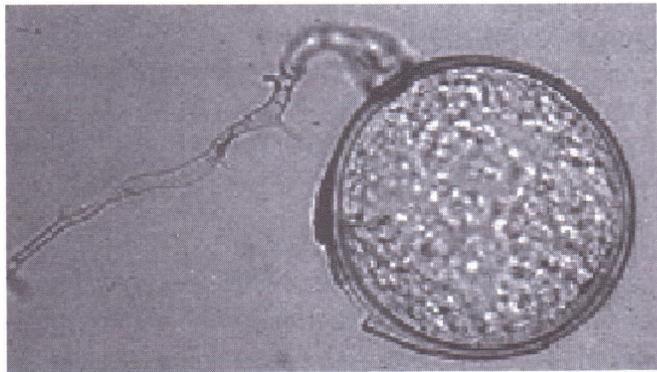
*En México:* Tlaxcala (Estrada-Torres *et al.*, 1992; Chamizo *et al.*, 1998), Veracruz (Varela y Trejo, 2001).

#### **Especies con las que se asocia:**

*Glycine max* (Schenck y Pérez, 1990). *Zea mays*, *Phaseolus vulgaris*, *Cucurbita sculentum* (Estrada-Torres *et al.*, 1992; Chamizo *et al.*, 1998; Varela y Trejo, 2001).



Reacción con Melzer en un estrato  
de la pared estructural y otro de IW2.  
Contraste interferencial Nomarski 20×



Espora mostrando la hifa de sostén.  
Campo claro 10×

### III.2. Discusión y conclusiones

En el Pedregal de San Ángel se han llevado a cabo estudios para evaluar los tipos de micorrizas que se presentan en la vegetación y su efecto en el desempeño vegetal. Dichos estudios han reflejado la importancia primordial que tienen en este sistema las micorrizas arbusculares a nivel de invernadero (Vega-Frutis en preparación). Este sitio es afectado por diversos disturbios, tales como el fuego y la contaminación ambiental, en el caso de los fuegos, la colonización micorrízica de raíces, así como las poblaciones de HMA no se han visto afectadas (Guadarrama *et al.* en revisión).

Después del fuego, la mayoría de las plantas que resistieron el disturbio, sí presentan asociaciones con HMA, lo cual puede deberse a las características de regeneración de las plantas; si es por rebrotes, es posible mantener la supervivencia de los HMA después del fuego ya que el bulbo, rizoma y/o el tallo sobreviven al fuego y los HMA que están colonizando la raíz en ese momento no se pierden (Guadarrama *et al.* en revisión); por otro lado, las especies que se propagan por semillas y que se establecen después de un incendio sólo tienen una forma de ser colonizadas y es a través del inóculo que permaneció en el suelo, que bajo tales condiciones tiene bajas densidades, tanto de esporas como de micelio externo (Bellgard *et al.*, 1994), por lo tanto, tales plantas serán colonizadas lentamente. En consecuencia, se podría considerar que estas especies vegetales presentan una desventaja competitiva ante las que supervivieron.

Se ha observado que las hifas de HMA pueden permanecer vivas cuando las raíces están muertas por un largo periodo de tiempo y comenzar un nuevo crecimiento en épocas favorables (Tommerup y Abbott, 1981), por ello se puede pensar que las raíces micorrizadas secas pueden funcionar como propágulos.

En lo referente a las estructuras de los HMA capaces de colonizar nuevos hospederos, se ha mencionado a las vesículas, por su importancia para mantener el potencial de inóculo (Raison, 1979) y a las esporas que, sin embargo, después de un incendio reducen su abundancia, como se ha reportado para sistemas tropicales caducifolios sujetos a roza, tumba y quema (Aguilar, 2000).

Con respecto a las especies de HMA encontradas en la Reserva, resalta el hecho de que aún con el pequeño tamaño del área se encontraron

16 especies, lo que constituye aproximadamente el 9% de las especies descritas a nivel mundial y el 38% de las que se han reportado para México (Varela y Trejo, 2001). De las especies encontradas, sólo *Acaulospora scrobiculata* había sido reportada en sistemas naturales en el país, el resto de las especies se reportan para diferentes agrosistemas (Varela y Trejo 2001), por lo que constituyen nuevos registros para vegetación natural.

Cabe destacar que este es el primer estudio de HMA realizado en el área del Distrito Federal.

---

## IV. GLOSARIO

**Alveolar.** Ornamentación en forma de depresiones profundas, que a veces puede dar la apariencia de un panal.**Espina.** Prominencia larga, endurecida y puntiaguda.

**Amorfo.** Forma sin simetría definida.

**Agalla.** En el caso de los hongos micorrizógenos arbusculares es una deformación producida en las paredes de la espora por acción de microorganismos.

**Agregado.** Relativo a la conformación en grupos de las partículas del suelo.

**Ápice.** Extremo lejano de la base o de un punto de unión.

**Apiculado (a).** Se refiere a una proyección de la pared de la espora, con contenido celular.

**Asociación facultativa.** Interacción donde la presencia del hongo simbiote no es determinante para la supervivencia, crecimiento y reproducción de la planta hospedera.

**Asociación obligada.** Interacción donde es indispensable la presencia de ambos participantes para su supervivencia, crecimiento y reproducción conjuntas.

**Bulbo.** Dilatación de la hifa más o menos globosa en la base de la espora.

**Cenocítico.** Masa protoplasmática multinucleada carente de septos.

**Dependencia micorrízica.** El grado al cual la planta requiere de la presencia de hongos micorrizógenos para alcanzar su máximo crecimiento aún en presencia de nutrimentos.

- Detritos.** Resultado de la descomposición de materia orgánica.
- Dextrinoide.** Reacción producida en algunos hongos por efecto de la adición de sustancias que contienen yodo, las que producen un cambio de coloración a tonos rosas, magentas o púrpuras por las presencia de dextrinas.
- Efectividad.** La habilidad de los hongos micorrizógenos para estimular el crecimiento de la planta hospedera.
- Espina.** Prominencia larga, endurecida y puntiaguda.
- Espora.** Pequeña unidad de propagación, unicelular, multinuclear y asexual.
- Esporífero.** Estructura que genera esporas o es capaz de producirlas.
- Esporocarpo.** Unión de esporas envueltas de una membrana común.
- Esporulación.** Es el método más frecuente de reproducción de los hongos, que consiste en la producción de esporas sexuales o asexuales de muy diversos tipos, según los grupos.
- Estratos.** Capas de una pared.
- Evanescente.** Pared que es efímera y se pierde.
- Excrecencia.** Ornamentación de la pared producida por el crecimiento de la capa más externa de la pared hacia afuera.
- Exudado.** Cualquier sustancia líquida más o menos densa que sale fuera de las células de la raíz.
- Fusiforme.** Con forma de uso.
- Granular.** Ornamentación caracterizada por pequeñas protuberancias más o menos redondeadas.
- Hialino (a).** Transparente e incoloro.
- Hifa.** Célula filamentososa que representa la unidad estructural de la mayoría de los hongos, puede ser cenocítica o septada.
- Hongo.** Organismo heterótrofo con estructura somática (talo) generalmente filamentososa, sencilla o ramificada, continua (cenocítica) o septada, con pared celular definida.

- Hospedero.** Organismo que alberga en su interior o en su superficie a otro organismo.
- Infectividad.** Capacidad de los hongos micorrizógenos de colonizar la raíz de una planta.
- Infundibuliforme.** En forma de embudo.
- Inóculo.** Porción del hongo simbionte que es propagado, incluye: esporas, hifas, micelio y/o raíces colonizadas.
- Laberintiforme.** Ornamentación formada por protuberancias con apariencia de sinuosas e intrincadas..
- Laxo.** Poco compacto.
- Lumen.** Espacio existente entre las membranas de una célula.
- Manto fúngico.** Se produce en una raíz ectomicorrizada, es una acumulación densa, regular y compacta de hifas sobre la superficie radical que sirve como cubierta a ésta y en la cual se acumulan sustancias de reserva para el hongo.
- Micelio.** Agregado de hifas.
- Micorriza.** Asociación simbiótica mutualista entre las hifas de un hongo y las raíces y/o rizoma de una planta.
- Mucilaginoso.** Consistencia viscosa.
- Mutualista.** Relación biótica en la cual ambos participantes obtienen beneficios recíprocos, generalmente implica dependencia completa de ambos participantes entre si.
- Oclusión.** Obstrucción de una hifa.
- Orbe de germinación.** Estructura a partir del cual germina la espora.
- Ovoide.** Con forma de huevo, la parte más ancha se encuentra cerca de la base.
- Papilado.** Superficie con pequeños tubérculos unicelulares con forma cónica.
- Pared estructural.** En hongos micorrizógenos arbusculares se presenta en esporas, es la más externa y se caracteriza por presentar estratos muy rígidos, gruesos y generalmente coloreados y ornamentados.

- Pedicelo.** Pequeño tallo o sustentáculo de esporas y esporangios, equivale a un pedúnculo.
- Peridio.** Cubierta externa o pared de un aparato esporífero.
- Plasmalema.** Superficie externa de la membrana.
- Poro.** Orificio que se forma en las membranas y paredes celulares.
- Propágulo.** Cualquier estructura o parte de un organismo capaz de dar lugar a la formación de un individuo nuevo.
- Quitina.** Compuesto nitrogenado que se encuentra en las paredes de algunos hongos.
- Quitosano.** Compuesto nitrogenado de estructura química similar a la de la quitina.
- Red de Hartig.** Estructura propia de la ectomicorriza, caracterizada por la penetración de hifas entre las células del cortex radical.
- Retículo.** Ornamentación semejante a una red de poco relieve.
- Romo.** Superficie plana o cortada, sin esquinas o ángulos.
- Sáculo.** Estructura de almacenamiento que da origen a esporas en los géneros *Acaulospora* y *Entrophospora*.
- Septo.** Pared transversal en una hifa, formada por crecimiento centrípeto de la pared celular.
- Sésil.** Estructura carente de pie o soporte.
- Simbionte.** Nombre dado a cada uno de los miembros de una simbiosis.
- Simbiosis.** Vida en común de dos o más organismos.
- Xerófito.** Tipo de vegetación integrado por plantas capaces de soportar condiciones de aridez y altas temperaturas y cuyos hábitos son suculentícolas o inermes.

---

## LITERATURA CITADA

- Aguilar M. 2000. *Impacto de la roza-tumba y quema sobre la composición y actividad de los hongos micorrízicos arbusculares en una selva baja caducifolia*. Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias, UNAM, México, D.F.
- Aguilar R., R. Flores-Bello, L. Jiménez-Hernández y E. Soriano-Richards. 2000. Crecimiento y producción de frijol en condiciones de trópico seco después de la colonización micorrízica arbuscular. **En:** Alarcón A. y R. Ferrato-Cerrato (eds.). *Ecología, fisiología y biotecnología de la Micorriza Arbuscular*. Mundi Prensa, México D.F, pp. 149-155.
- Álvarez S. S. A. 2002. *Efecto de la perturbación en la interacción micorrízica vesículo-arbuscular en un ecosistema tropical estacional*. Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias, UNAM, México, D.F.
- Álvarez S. F. J., J. Carabias, J. Meave, P. Moreno-Casasola, D. F. Nava, F. Z. Rodríguez, C. G. Tovar y A. Valiente-Banuet. 1982. *Proyecto para la creación de una reserva en el Pedregal de San Ángel*. Facultad de Ciencias, UNAM, México, D.F.
- Álvarez-Solís J., Y. Pérez-Luna, J. Vera-Urbina y R. Ferrera-Cerrato. 2000. Respuesta de maíz, botil, íbes y chilacayote a la inoculación con hongos micorrízicos arbusculares bajo condiciones de invernadero. **En:** Alarcón A. y R. Ferrato-Cerrato (eds.). *Ecología, fisiología y biotecnología de la Micorriza Arbuscular*. Mundi Prensa, México D.F, pp. 228-238.
- Allen M.F. 1991. *The ecology of mycorrhizae*. University Press, Cambridge.
- Ames R. N. y R. W. Schneider. 1979. *Entrophospora*, a new genus in the Endogonaceae. *Mycotaxon* 8:347-352.
- Attou F., A. Bruand y Y. Le Biossonnais. 1998. Effect of clay content and silt-clay fabric on stability of artificial aggregates. *European J. Soil Sci.* 49:569-577.
- Azcón R., J. M. Ruíz-Lozano y M. Gómez. 1994. Effect of potassium on *Glomus* sp. symbiosis tolerance to peg induced water stress, evaluated

- as leaf-gas exchange and related parameters. *4<sup>th</sup> European Symposium on Mycorrhizas*. Abstracts. Granada, p. 186.
- Badran O., K. Abouelkhair y S. Kandeel. 1994. Effect of salinity, boron and sodium of irrigation water on the growth of three timber seedlings grown in soil containing vesicular-arbuscular mycorrhizae spores. *4<sup>th</sup> European Symposium on Mycorrhizas*. Abstracts. Granada, p. 28.
- Bago B., C. Azcón-Aguilar y Y. Piché. 1998a. Architecture and development dynamics of the external mycelium of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* grown under monoxenic conditions. *Mycologia* 90:52-62.
- Bago B., C. Azcón-Aguilar, A. Goulet y Y. Piché. 1998b. Branched absorbing structures (BAS): a feature of the extraradical mycelium of symbiotic arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytol.* 139:375-388.
- Bago B. 1999. Putative sites for nutrient uptake in arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant Soil* 00:1-12.
- Barea J.M., R. Azcón y D.S. Hayman. 1975. Possible synergistic interactions between *Endogone* and phosphate solubilizing bacteria in low-phosphate soils. **En:** Sanders, F. E., B. Mosse y P. B. Tinker (eds.). *Endomycorrhizas*. Academic Press, Londres, pp. 407-417.
- Barredo-Pool F., L. Varela, M. Arce-Montoya y R. Orellana. 1998. Estudio de la asociación micorrízica en dos cactáceas nativas del estado de Yucatán, México. **En:** Zulueta R., M. A. Escalante y D. Trejo (eds.). *Avances de la Investigación Micorrízica en México*. Universidad Veracruzana, Xalapa, pp. 69-76.
- Bellgard S.E., R.J. Whelan y R.M. Muston. 1994. The impact of wildfire on vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi and their potential to influence the re-establishment of post-fire plant communities. *Mycorrhiza* 4:139-146.
- Bonfante P., R. Ballestrini y K. Mendgen. 1994. Storage and secretion process in the spore *Gigaspora margarita* Becker & Hall as revealed by high-pressure freezing and freeze-substitution. *New Phytol.* 128:93-101.
- Buwalda J. G., D. P. Stribley y P. B. Tinker. 1983. Increased uptake of bromide and chloride by plants infected with vesicular-arbuscular mycorrhizas. *New Phytol.* 93:217-225.

- Cano-Santana Z. 1994. *Flujo de energía a través de Sphenarium purpurascens (Orthoptera: Acrididae) y productividad primaria neta aérea en una comunidad xerófila*. Tesis de Doctorado, Centro de Ecología, UNAM, México D.F.
- Cano-Santana Z. y J. Meave. 1996. Sucesión primaria en derrames volcánicos: el caso del Xitle. *Ciencias* 41:58-68.
- Carrillo L., L. Varela y R. Orellana. 2000. Variación estacional en la densidad de esporas de hongos micorrizógenos arbusculares y en el porcentaje de colonización micorrízica de tres palmeras de Yucatán. En: Alarcón A. y R. Ferrato-Cerrato (eds.). *Ecología, fisiología y biotecnología de la Micorriza Arbuscular*. Mundi Prensa, México D.F., pp. 39-45.
- Castillo A. S., P. Guadarrama, Y. Martínez-Orea, P. Mendoza-Hernández, O. Núñez-Castillo, M. A. Romero-Romero y I. Sánchez-Gallén (2002). *Diásporas del Pedregal de San Ángel*. Las prensas de ciencias. Facultad de Ciencias, UNAM.
- Chamizo C. A., R. Ferrera-Cerrato y L. Varela. 1998. Identificación de especies de un consorcio del género *Glomus*. *Rev. Mex. Micol.* 14:37-40.
- Clark R. B., S. K. Zeto y R. W. Zobel. 1999. Arbuscular mycorrhizal fungal isolates effectiveness on growth and root colonization of *Panicum virgatum* in acidic soil. *Soil. Biol. Biochem.* 31:1757-1763.
- Conde C. E. 2001. *Influencia de hongos micorrizógenos arbusculares y leguminosas en la formación de agregados hídricamente estables en tepetate*. Tesis de Licenciatura, Departamento de Agrobiología, Universidad Autónoma de Tlaxcala, Tlaxcala.
- Daft M. J. y E. Hackscaylo. 1976. Arbuscular mycorrhizas in the anthracite and bituminous coal wastes of Pennsylvania. *J. Appl. Ecol.* 13:523-531.
- Davies Jr., F. T., J. R. Potter y R.G. Linderman. 1992. Mycorrhiza and repeated drought exposure affect drought resistance and extraradical hyphae development of pepper plants independent of plant size and nutrient content. *J. Plant Physiol.* 139: 289-294.
- Davies Jr. F., et al. 2000. Applications of mycorrhizal fungi in plant propagation systems. En: Alarcón A. y R. Ferrato-Cerrato (eds.). *Ecología, fisiología y biotecnología de la Micorriza Arbuscular*. Mundi Prensa, México D.F., pp. 123-140.

- Dexter A. R. 1988. Advances in characterization of soil structure. *Soil Till. Res.* 11:199-238.
- Estrada-Torres A., L. Varela, L. Hernández Cuevas y M. E. Gavito. 1992. Algunos hongos micorrízicos arbusculares del estado de Tlaxcala, México. *Rev. Mex. Mic.* 8:85-110.
- Faber B. A., R. J. Zasoski, D. N. Munns y K. Shackel. 1991. A method for measuring hyphal nutrient and water uptake in mycorrhizal plants. *Can. J. Bot.* 69:87-94.
- Friese C. F. y M. F. Allen. 1991. The spread of VA mycorrhizal fungal hyphae in the soil: inoculum types and external hyphal architecture. *Mycologia* 83:409-418.
- Flores-Bello R., S. Aguilar, R. García y A. Zamora. 2000. Respuesta de crecimiento en plántulas de leucaena a la micorriza arbuscular en condiciones de invernadero. En: Alarcón A. y R. Ferrato-Cerrato (eds.). *Ecología, fisiología y biotecnología de la Micorriza Arbuscular*. Mundi Prensa, México D.F., pp. 156-161.
- Forster S. M. y T. H. Nicolson. 1981a. Microbial aggregation of sand in a maritime dune succession. *Soil Biol. Biochem.* 13: 205-208.
- Forster S. M. y T. H. Nicolson. 1981b. Aggregation of sand from a maritime embryo sand dune by microorganisms and higher plants. *Soil Biol. Biochem.* 13: 199-203.
- Gaceta UNAM. 1997. *Acuerdo por el que se reestructura e incrementa la zona de la Reserva Ecológica y se aclaran las Áreas Verdes de manejo especial de la Ciudad Universitaria*. México D.F., pp. 15-17.
- García C. R. 1997. *Variación del potencial micorrízico de especies pioneras de playas en el Golfo de México*. Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias, UNAM, México D.F.
- García E. 1964. *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana)*. México D.F.
- Gerdemann J. W. y J. M. Trappe. 1974. The Endogonaceae in the Pacific Northwest. *Mycol. Mem.* 5:1-76.
- Gerdemann J. W. y T. H. Nicolson. 1963. Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 46:234-244.

- Graham J. H. 1998. Comparative effects on phosphite ( $\text{HPO}^-$ ) and phosphate ( $\text{PO}^{-2}$ ) on root exudation and arbuscular mycorrhizal functioning. **En:** Ahonen-Jonnarth, U., E. Danell, P. Fransson, O. Kårén, B. Lindahl, I. Rangel y R. Finlay (eds.). *Second International Conference on Mycorrhiza*. Uppsala, p.73.
- Griffin D. H. 1981. *Fungal physiology*. John Wiley & Sons, Nueva York.
- Guadarrama P. y J. Álvarez-Sánchez. 1999. Abundance of arbuscular mycorrhizal fungi spores in different environments in a tropical rain forest, Veracruz, México. *Mycorrhiza* 8:267-270.
- Harley J. L. y S. E. Smith. 1983. *Mycorrhizal symbiosis*. Academic Press, Londres.
- Hernández-Acosta E., R. Ferrera-Cerrato, L. Fernández-Linares y R. Rodríguez-Vázquez. 2000. Ocurrencia de la micorriza arbuscular y bacterias fijadoras de N atmosférico en un suelo contaminado con hidrocarburos. **En:** Alarcón A. y R. Ferrera-Cerrato (eds.). *Ecología, fisiología y biotecnología de la Micorriza Arbuscular*. Mundi Prensa, México D.F., pp. 213-220.
- Hernández-Meza V., M. González-Chávez, R. Ferrera-Cerrato y A. Villegas-Monter. 1998. Efecto de la inoculación endomicorrízica en el transplante de portainjertos de cítricos micropropagados. **En:** Zulueta R., M. A. Escalante y D. Trejo (eds.). *Avances de la Investigación Micorrízica en México*. Universidad Veracruzana, Xalapa, pp. 231-240.
- Honrubia M., P. Torres, G. Díaz y A. Cano. 1992. *Manual para micorrizar plantas en viveros forestales*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, ICONA, Murcia.
- Jeffries P. y J. M. Barea. 2001. Arbuscular micorriza – a key component of sustainable plant-soil ecosystems. **En:** Hock B. (ed.). *The Mycota IX. Fungal Associations*. Springer-Verlag, Berlin, pp. 95-113.
- Koske R. E. 1985. *Glomus aggregatum* emended: A distinct taxon in the *Glomus fasciculatum* complex. *Mycologia* 77:619-630.
- Koske R. E. y W. R. Polson. 1984. Are VA mycorrhizae required for sand dune stanilization? *Bio. Sc.* 34:420-424.

- Koske R. E. y C. Walker. 1986. *Especies 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.*
- Koske R. E., J. N. Gemma y P. D. Olexia. 1986. *Glomus microaggregatum, a new species in the Endogonaceae. Mycotaxon 26:125-132.*
- Luna-Zendejas H. S. 1997. *Variación estacional de los hongos micorrizógenos presentes en suelos de maíz/haba, maíz/alverjón y maíz/frijol del Volcán La Malintzi, Tlaxcala.* Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias, UNAM, México D.F.
- Martínez-Mateos A. E. 2001. *Regeneración natural después de un disturbio por fuego en dos microambientes contrastantes de la Reserva Ecológica "El Pedregal de San Ángel".* Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM, México D.F.
- Miller R. M. y J. D. Jastrow. 1992. The role of Mycorrhizal fungi in soil conservation. En: Bethlenfalvay G. J. y R. G. Linderman (eds.). *Mycorrhizae in Sustainable Agriculture.* pp. 29-44.
- Morton J. B. y G. L. Benny. 1990. Revised classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Zygomycetes): A new Order, Glomales, two new Suborders, Glomineae and Gigasporineae, and two new Families, Acaulosporaceae and Gigasporaceae, with an emendation of Glomaceae. *Mycotaxon 37:471-491.*
- Nava G. J. A. 1998. *Condición micorrízica de algunas cactáceas del estado de Tlaxcala.* Tesis de Licenciatura, Departamento de Agrobiología, Universidad Autónoma de Tlaxcala, Tlaxcala.
- Nava G. Y. 2000. *Efecto de la asociación hongos micorrízicos arbusculares-leguminosas en las características de un suelo tepetatoso.* Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias, UNAM, México, D.F.
- Newman E. I. 1988. Mycorrhizal links between plants: their functioning and ecological significance. *Adv. Ecol. Res.* 18:243-270.
- Persad-Chinnery S. B., L. E. Chinnery y R. B. G. Dales. 1992. Enhancement of *in vitro* spore germination of *Gigaspora rosea* by a cellulase preparation. *Mycol. Res.* 94:626-628.

- Pirozynski, L. A., y D. W. Malloch. 1975. The Origin of land plants: a matter of mycotrophism. *BioSystems* 6:153-164.
- Raison R. J. 1979. Modification of the soil environment by vegetation fires, with particular reference to nitrogen transformations: a review. *Plant Soil* 51:73-108.
- Ramírez-Gerardo M., J. Álvarez-Sánchez, P. Guadarrama, e I. Sánchez-Gallén. 1997. Estudio de hongos micorrizógenos arbusculares bajo árboles remanentes en un pastizal tropical. *Bol. Soc. Bot. Méx.* 61:15-20.
- Ramos-Zapata J., J. Alexander y C. Leifert. 1998. Efecto de hongos micorrízicos vesículo-arbusculares en el desarrollo del patógeno *Fusarium culmorum* en plantas de maíz. En: Zulueta R., M. A. Escalante y D. Trejo (eds.). *Avances de la Investigación Micorrízica en México*. Universidad Veracruzana, Xalapa, pp. 273-283.
- Redecker D., R. Kodner y L. Graham. 2000a. Glomalean fungi from the Ordovician. *Science* 289:1920-1921.
- Redecker D., J. B. Morton y T. D. Bruns. 2000b. Molecular phylogeny of the arbuscular mycorrhizal fungi *Glomus sinuosum* and *Sclerocystis coremioides*. *Mycologia* 92:282-285.
- Rhodes L. H. y J. W. Gerdemann. 1978. Translocation of calcium and phosphate by external hyphae of vesicular-arbuscular mycorrhizae. *Soil Sc.* 126:125-126.
- Rzedowski J. 1954. Vegetación del Pedregal de San Ángel. *Anales de la Esc. Nac. Cs. Biol.* 8:59-129.
- Schenck N. y Y. Pérez. 1990. *Manual for the identification of VA mycorrhizal fungi*. INVAM, Gainesville.
- Schenck N., J. L. Spain, E. Sieverding y R. H. Howeler. 1984. Several new and unreported vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi (Endogonaceae) from Colombia. *Mycologia* 76:685-699.
- Schüßler A., D. Schwarzott y C. Walker. 2001. A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. *Mycol. Res.* 105:1413-1421.
- Selosse M. A. y F. Le Tacon. 1998. The land flora: A phototroph-fungus partnership? *Trends Ecol. Evol.* 13:15-20.

- Sieverding E. y S. Toro. 1987. *Acaulospora denticulata* sp. nov. and *Acaulospora rehmsii* sp. nov. (Endogonaceae) with ornamented spore walls. *Ang. Bot.* **61**:217-223.
- Sieverding E. 1991. *Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems*. GTZ, Eschborn.
- Simard S.W., D. Perry, M. Jones, D. Myrold, D. Durall y R. Molina. 1997. Net carbon transfer between ectomycorrhizal tree species in the field. *Nature* **363**:67-69.
- Simon L., J. Bousquet, R. Lévesque y M. Lalonde. 1993. Origin and diversification of endomycorrhizal fungi and coincidence with vascular land plants. *Nature* **363**:67-69.
- Slezack S., E. Dumas-Gaudot y S. Gianinazzi. 1998. Involvement of plant defense response in bioprotection of pre-mycorrhizal pea roots against *Aphanomyces euteiches*. En: Ahonen-Jonnarth, U., E. Danell, P. Fransson, O. Kårén, B. Lindahl, I. Rangel y R. Finlay (eds.). *Second International Conference on Mycorrhiza*, Uppsala, pp. 159-160.
- Smith S. E. y D. J. Read. 1997. *Mycorrhizal symbiosis*. 2<sup>a</sup> ed. Academic Press.
- Swaminathan K. y B. C. Varma. 1979. Responses of three crop species to vesicular arbuscular mycorrhizal infection on zinc deficient indian soils. *New Phytol.* **82**:481-487.
- Tinker P. B. 1978. Effects of vesicular-arbuscular mycorrhizas on plant nutrition and plant growth. *Physiol. Veg.* **16**:743-751.
- Tommerup I.C. y L.K. Abbott. 1981. Prolonged survival and viability of VA mycorrhizal hyphae after root death. *Bol. Biochem.* **13**: 431-433.
- Trappe J. M. 1977. Three new Endogonaceae: *Glomus constrictus*, *Sclerocystis clavisporea* and *Acaulospora scrobiculata*. *Mycotaxon* **6**:359-366.
- Valiente-Banuet A. y E. G. de Luna. 1990. Una lista florística para la Reserva del Pedregal de San Ángel, México, D.F. *Acta Bot. Mex.* **9**:13-30.
- van der Heijden M. G. A., T. Boller, A. Wiemken, y I. R. Sanders. 1998a. Different arbuscular mycorrhizal fungal species are potential determinants of plant community structure. *Ecology* **79**:2082-2091.

- van der Heijden M. G. A., J. N. Klironomos, M. Ursic, P. Moutoglis, R. Streitwolf-Engel, T. Boller, A. Wiemken, y I. R. Sanders. 1998b. Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. *Nature* **396**:69-72.
- Varela F. L., y D. Trejo. 2001. Los hongos micorrizógenos arbusculares como componentes de la biodiversidad del suelo en México. *Acta Zool. Mex.* (n.s.) Número especial 1:39-51.
- Velasco-Velasco J., J. Almaraz-Suárez y R. Ferrera-Cerrato. 1998. Inoculación con endomicorriza arbuscular y adición de vermicomposta en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). En: Zulueta R., M. A. Escalante y D. Trejo (eds.). *Avances de la Investigación Micorrízica en México*. Universidad Veracruzana, Xalapa, pp. 161-168.
- Walker C. y J. M. Trappe. 1981. *Acaulospora spinosa* sp. nov. with a key to the species of *Acaulospora*. *Mycotaxon* **12**:515-521.
- Whittingham J. y D. J. Read. 1982. Vesicular arbuscular mycorrhiza in natural vegetation systems. III. Nutrient transfer between plants with mycorrhizal interconnections. *New Phytol.* **90**:277-284.
- Wright S. F. y A. Upadhyaya. 1998. A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant Soil* **198**:97-107.
- Zobel M., M. Moora y E. Haukioja. 1997. Plant coexistence in the interactive environment: arbuscular mycorrhiza should not be out of mind. *Oikos* **78**:202-208.

## Colecta de suelo

El suelo debe ser recolectado haciendo a un lado la mayor cantidad de hojarasca que sea posible, se coloca en una bolsa y se rotula. Para obtener esporas de buena calidad debe ser procesado inmediatamente, en caso de que sea almacenado, se recomienda secar al ambiente y posteriormente almacenar por periodos cortos de tiempo (no más de 30 días). Para realizar la extracción de esporas se recomiendan 300 g de suelo por sitio de interés.

Una muestra de suelo de 50 g por sitio debe ser secada en horno por 48 horas a 80°C, para extrapolar el número de esporas separadas por muestra a 100 g de suelo seco y con ello poder realizar comparaciones con otros estudios.

## Método de separación de esporas de hongos micorrizógenos arbusculares

El método utilizado para separar esporas, más conveniente por la gran cantidad de materia orgánica presente en la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, es de decantación y posteriormente gradientes de sacarosa de Gerdeman y Nicholson (1963), la cual ha sido modificada según los requerimientos del sitio de estudio. Se recomienda conocer el peso del suelo inicial en húmedo y algunas muestras secarlas en horno por 48 h a 80°C.

1. El suelo se coloca en un vaso de precipitado de un litro y se agrega agua, se revuelve tratando de disolver la mayor cantidad de agregados y se deja reposar por 10 minutos.
2. Se filtra por una serie de tamices que van de 1 mm, 500  $\mu\text{m}$ , 20  $\mu\text{m}$ , evitando el suelo sedimentado, se lava con agua corriente.
3. Se preparan en tubos de centrifuga de 50 mL, 15 mL de sacarosa al 20%, posteriormente se agregan 15 mL de sacarosa al 60% con la ayuda de una pipeta, ya que debemos formar un gradiente de densidad que se logra introduciendo la pipeta por debajo de la sacarosa al 20% que previamente se colocó en los tubos, a contraluz es posible observar la formación de una solución más densa en los primeros 15 ml del tubo.
4. Colocar el suelo obtenido de cada tamiz en los tubos de centrifuga con el gradiente de densidad de sacarosa, se recomienda hacer esto con cuidado para no romper el gradiente, se etiquetan los tubos.
5. Se colocan los tubos en la centrifuga y se centrifugan a 3000 rpm por 5 minutos.
6. El sobrenadante se coloca en tamices (que pueden ser de menor diámetro para poder manipularse con más facilidad) de 20  $\mu\text{m}$ , 500  $\mu\text{m}$  y 1  $\mu\text{m}$ , respectivamente, y se lavan con agua corriente.

7. Se coloca el tamizado obtenido en cajas de petri marcadas y se separan las esporas utilizando pinzas de relojero, pipetas pasteur y agujas de disección. Se recomienda hacer una aguja más fina utilizando agujas de chaquira y adelgazar la punta de una pipeta pasteur colocándola al fuego y estirándola con la ayuda de unas pinzas.
8. Se recomienda hacer grupos de esporas de acuerdo a características morfológicas evidentes como color, forma, tamaño, que pueden colocarse en vidrios de relojero y se debe hacer una descripción bajo microscopía estereoscópica de las características de las esporas "en vivo" tomando en cuenta la forma y color.

## **Elaboración de preparaciones fijas**

En un portaobjetos se colocan dos gotas de PVLG, a una se le agrega una gota de reactivo de Melzer. Las esporas, separadas por morfoespecies se colocan en dicho portaobjeto, tratando de colocar el mismo número de esporas, se recomienda montar entre 15 y 20. Se secan al ambiente por 24 h, posteriormente se realizan las observaciones pertinentes (Schenck y Pérez, 1990).

## Fórmulas para la preparación de reactivos

### PVLG

- 1.66 g alcohol polivinílico (20-25 viscosidad en solución acuosa al 4%)
- 10 ml de agua
- 10 ml de ácido láctico
- 1 ml de glicerina

Agregar en un frasco de vidrio con 10 mL de agua el alcohol polivinílico y poner a baño María por 6 horas a 80°C. Después de ese tiempo o cuando se haya disuelto al alcohol, agregar el ácido láctico y la glicerina, revolver. Dejar reposar 24 h antes de usarse. En lugar de baño María puede usar autoclave a 15 lb de presión por 15 minutos.

### Lactoglicerol

- 25 ml de ácido láctico
- 25 ml de agua
- 50 ml de glicerina

En un recipiente se coloca el ácido láctico, la glicerina y el agua y se revuelven.

### Reactivo de Melzer

- 100 g de hidrato de cloral
- 100 ml de agua destilada
- 1.5 g de yodo
- 5 g de yoduro de potasio

En un recipiente se revuelven todos los ingredientes. Posteriormente se hace una dilución 1:1 con PVLG.

Este libro se terminó de imprimir el  
16 de mayo de 2003 en los talleres  
de Impresos Albatros, José T. Cuéllar 100.  
Col. Obrera. México, D.F.  
Se tiraron 500 ejemplares.

En su composición se utilizó  
tipo Garamond de 10, 12, 14 y 20 puntos.

La edición estuvo al cuidado de  
Mercedes Perelló