

# DOSSIER

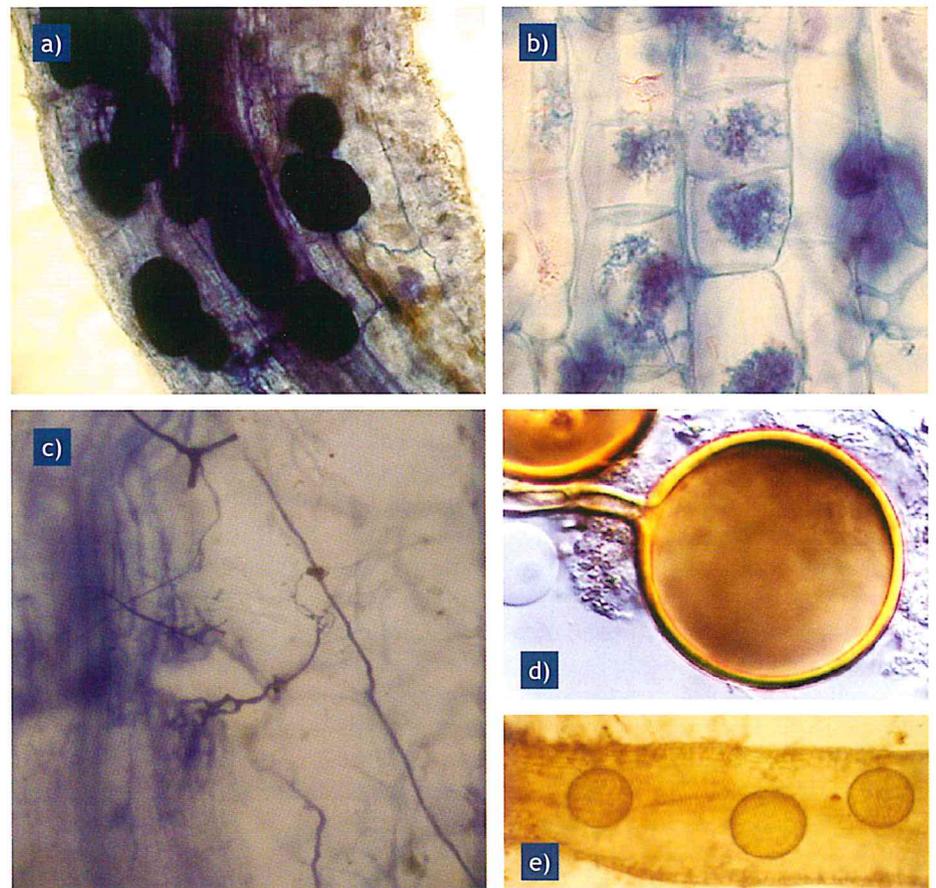
Los hongos micorrízicos arbusculares como biotecnología en la propagación y manejo de plantas en viveros 19

Respuesta a la inoculación de *Glomus intraradix*, materia orgánica y dosis de fertilización fosfatada en el crecimiento de mezquite (*Prosopis* sp.) 24

Hongos micorrízicos arbusculares como componente de control biológico de la pudrición causada por *Fusarium* sp. en gladiola 29

## Los hongos micorrízicos arbusculares como biotecnología en la propagación y manejo de plantas en viveros

Dr. Alejandro Alarcón - Microbiología, Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados, alexala@colpos.mx



**Figura 1.** Estructuras típicas intra y extra radicales de los hongos micorrízicos arbusculares: a) vesículas; b) células corticales con arbusculos; c) micelio extraradical; d) esporas formadas en el suelo; y e) esporas formadas en el interior de raíces.



**Figura 2.** Principales actividades agrícolas y ecológicas en las que se pueden aplicar los hongos micorrízicos arbusculares.

Los HMA son microorganismos que potencialmente pueden contribuir en el control biológico de agentes microbianos

### ¿QUÉ SON LOS HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES?

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) son microorganismos cosmopolitas que forman simbiosis con más del 80% de las plantas terrestres conocidas hoy en día. Actualmente estos hongos simbióticos están clasificados dentro de la División Glomeromycota, particularmente en el Orden Glomerales, el cual comprende aproximadamente 200 especies descritas.

El nombre de los HMA, proviene de las estructuras fúngicas que todas las especies de HMA forman en las células corticales de la raíz (Fig. 1). Los arbusculos representan los sitios de intercambio de nutrientes entre ambos simbioses. En este caso, el hongo provee a la planta de nutrientes inorgánicos (fósforo, nitrógeno, potasio, etc.), mientras que en reciprocidad, la planta provee al hongo con fuentes simples de carbono (fructosa y glucosa) que le permiten satisfacer sus requerimientos metabólicos. Además de los arbusculos, algunas especies de HMA forman otras estructuras dentro de las raíces como son las vesículas, cuya función es almacenar reservas que pueden ser utilizadas durante periodos de estrés. En cuanto a las esporas, algunos HMA las producen intraradicalmente, mientras que la mayoría de ellos producen esporas de manera extracelular. Estas esporas son las principales estructuras de propagación y resistencia de los HMA durante condiciones adversas.

### IMPORTANCIA DE LOS HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES

Ecológicamente, los HMA han tenido especial relevancia ya que sus ancestros fósiles datan de hace más de 460 millones de años (Periodo Devoniano), por lo que se presume permitieron la adaptación y evolución de las primeras plantas terrestres. Además de su importancia en la evolución de las plantas en ecosistemas terrestres, estos hongos han sido caracterizados por sus efectos benéficos en aspectos relacionados con el mejoramiento de la nutrición, el crecimiento y la adaptación de plantas, particularmente en ambientes adversos (salinidad, sodicidad, sequía, perturbación por erosión, etc.).

Los efectos benéficos de la simbiosis entre los HMA y los sistemas radicales de las plantas repercuten también en un mejor desarrollo fisiológico, gracias al cual las plantas tienen mayor capacidad de crecimiento aún en diversos sistemas de manejo agronómico de las plantas (Fig. 2). Así, dependiendo de las especies vegetales, los hongos pueden promover el crecimiento, que puede ser comparable o mayor al efecto obtenido por la aplicación de fertilizantes. La inoculación de HMA en plantas, de manera general, resulta en mayor crecimiento comparado al de las plantas sin inoculación con estos hongos.

Por otra parte, los HMA han sido considerados elementos de la rizósfera que intervienen en la regulación de las poblaciones microbianas, ya que los efectos negativos de bacterias, hongos y nematodos fitopatógenos son minimizados cuando está establecida la simbiosis en el sistema radical de las plantas. Es decir, los HMA son microorganismos que potencialmente pueden contribuir en el control biológico de agentes microbianos causantes de enfermedades en las plantas. En este caso, las hipótesis relacionadas con su efecto controlador de microorganismos fitopatógenos se basan en: la estimulación de microorganismos rizosféricos antagonistas, el mejoramiento de la nutrición, la inducción de la síntesis de compuestos y metabolitos secundarios inductores de resistencia, y la ocupación de espacios que limitan la infestación de los patógenos en el sistema radical.

Otros beneficios de la simbiosis micorrízica arbuscular se relacionan con las propiedades biológicas del suelo, al estimular poblaciones de microorganismos que intervienen en el reciclaje de nutrientes. Además, los HMA participan significativamente en la agregación de partículas del suelo a través de la secreción de una glicoproteína llamada glomalina, haciendo que los agregados sean menos susceptibles a agentes de erosión. Así, los HMA tienen un papel preponderante en la sostenibilidad

**Figura 3.** Efectos de hongos micorrízicos arbusculares en el crecimiento de especies frutales leñosas: a) altura en *Prunus serotina* L.; b) área foliar en *Coffea arabica* L.; c) a la izquierda, plantas de cítricos micorrizadas, injertadas con la variedad Valencia, mientras que a la derecha se observa el crecimiento de las plantas no inoculadas; y d) efecto de consorcios micorrízicos en la altura de *Carica papaya* L. cv. Maradol roja.



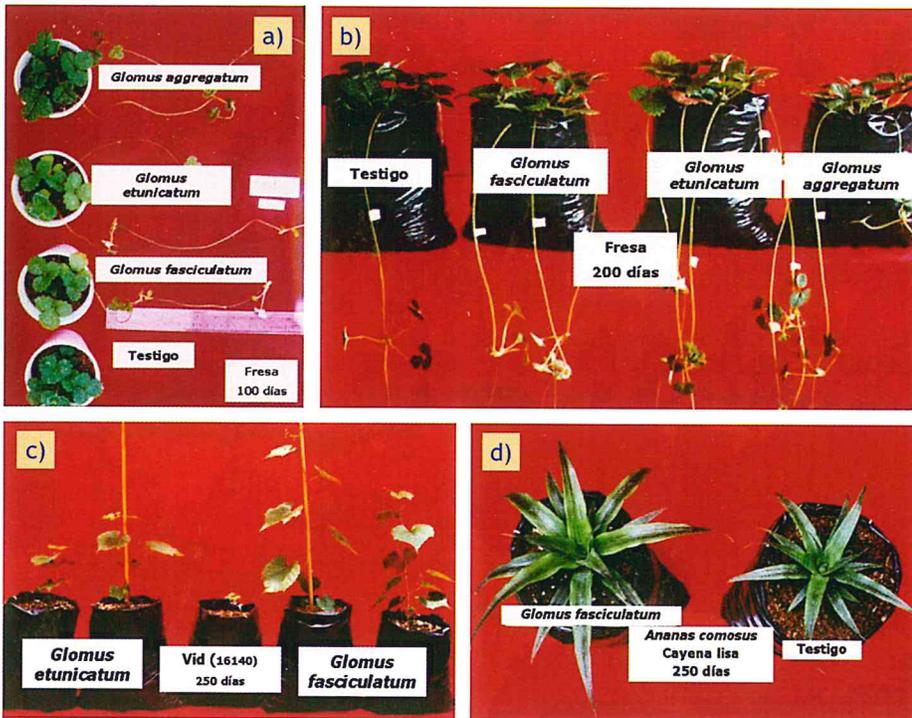
**Cuadro 1.** Combinaciones planta-HMA con alta respuesta a la inoculación, con base al crecimiento y nutrición, y con potencial de uso en la restauración de suelos perturbados en las zonas tropicales y subtropicales de México (experimentos conducidos en el Área de Microbiología, CP-Montecillo).

Especies vegetales	Hongos micorrízicos arbusculares inoculados	Condición experimental
<b>LEGUMINOSAS</b>		
<i>Erythrina americana</i>	Consortio <i>Glomus</i> spp. (Zac-19*)	Adición de materia orgánica y aplicación de roca fosfórica (RF)
<i>Acacia saligna</i>	Consortio <i>Glomus</i> spp. (Zac-8**)	Tres dosis de fertilización con P y doble simbiosis: <i>Rhizobium</i> -HMA en suelos ácidos
<i>Acacia cyanophylla</i>	Consortio <i>Glomus</i> spp. (Zac-8**)	Fertilización con P y doble simbiosis con <i>Rhizobium</i> -HMA en suelos ácidos
<i>Acacia farnesiana</i>	Dos consorcios: <i>Glomus</i> spp.**	Tres diferentes tipos de suelo
<i>Pithecellobium dulce</i>	<i>Gomus fasciculatum</i> y diferentes consorcios de <i>Glomus</i> spp.**	Fertilización con P
<i>Caesalpinia cacalaco</i>	<i>G. fasciculatum</i> y diferentes consorcios de <i>Glomus</i> spp.	Suelos con baja fertilidad
<i>Leucaena leucocephala</i>	<i>Gomus intraradices</i> , consorcios de <i>Gigaspora</i> spp., y <i>Glomus</i> spp. (incluye <i>Glomus</i> Zac-19)	Aplicación de RF, doble inoculación: menor defoliación durante el transplante y mayor dependencia micorrizica en suelos ácidos y con fertilizantes
<i>Eysenhardtia polystachya</i> , <i>Mimosa biuncifera</i> y <i>Dodonaea viscosa</i>	Consortio <i>Glomus</i> spp. (Zac-3**)	Incremento de supervivencia en tepetate (suelo derivado de cenizas volcánicas)
<i>Acacia schaffneri</i>	<i>Glomus aggregatum</i> y diferentes consorcios de <i>Glomus</i> spp.**	Tepetate y aplicación de material orgánica
<b>NO LEGUMINOSAS</b>		
<i>Casuarina equisetifolia</i>	<i>Glomus aggregatum</i> , <i>Glomus intraradices</i> , y consorcios de <i>Glomus</i> spp. (Zac-2**)	En mezcla de suelo agrícola y forestal
<i>Cupressus lindleyi</i>	<i>Glomus fasciculatum</i> y el consorcio <i>Glomus</i> spp. (Zac-19*)	Fertilización con 15 kg N y 10kg P ha <sup>-1</sup> por año
<i>Cedrela odorata</i> , <i>Tabebuia donell-smithii</i> .	Consortio <i>Glomus</i> spp. (MTZ-1**) aislado de la región tropical en Veracruz	Incremento diferencial del crecimiento y biomasa vegetal, la cual fue mayor para <i>Tabebuia donell-smithii</i>

\* Consortio integrado por tres especies: *Glomus claroideum*, *Gl. diaphanum* y, *Gl. albidum*.

\*\*Especies fúngicas no identificadas.

\*\*\*Especies de HMA: *Glomus geosporum*, *Gl. mosseae*, dos especies no identificadas de *Glomus*, y dos no identificadas de los géneros *Acaulospora* y *Gigaspora*, respectivamente.



**Figura 4.** Efectos de los hongos micorrízicos arbusculares en la promoción del crecimiento de especies frutales propagadas *in vitro*: a,b) producción de estolones en plantas madre de fresa; c) altura de un portainjerto de *Vitis vinifera* L.; y d) área foliar de *Ananas comosus* L.

de agrosistemas y ecosistemas. Por otra parte, los HMA son considerados elementos importantes durante la fitorremediación de suelos contaminados con compuestos orgánicos (hidrocarburos del petróleo, plaguicidas, etc.) e inorgánicos (metales pesados y elementos potencialmente tóxicos), al estimular la adaptación, establecimiento y actividad fisiológica de las plantas utilizadas en esos sistemas.

### LOS HONGOS MICORRÍZICOS COMO BIOTECNOLOGÍA PARA USO EN PLANTAS DE IMPORTANCIA AGRÍCOLA Y FORESTAL

Las principales aplicaciones de los HMA en las que sus efectos han sido exitosos se enfocan a la inoculación de plantas durante la propagación y manejo en viveros. Aquellas especies de plantas que requieren de una etapa de aclimatación o crecimiento en vivero durante su propagación son susceptibles de ser inoculadas con HMA con éxito, para promover su crecimiento y desarrollo. Para asegurar el establecimiento y la expresión

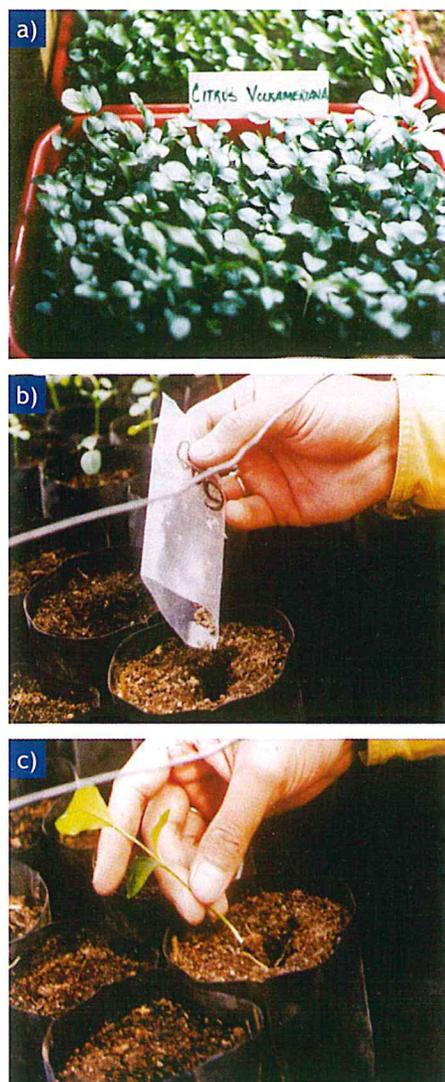
de los beneficios de los HMA (Fig. 3), se requiere esterilizar o desinfectar previamente los sustratos de crecimiento, y después proceder a inocular las plantas. De esta forma, se ha visto que especies frutales como cítricos, guañabana, papaya, chirimoya, zapote blanco, durazno, manzano, aguacate, y especies forestales como casuarina, cedro blanco, eucalipto, así como leguminosas arbóreas (Cuadro 1) presentan mayor crecimiento al ser inoculadas con especies o consorcios de HMA.

En el caso de plantas obtenidas por cultivo *in vitro*, la inoculación de HMA promueve la aclimatación post-*in vitro*, así como su crecimiento y desarrollo (Fig. 4). Algunos ejemplos de esto se refieren al incremento de la supervivencia y formación de estolones en plantas madre de fresa, incrementos en altura en plantas de vid, o aumentos en el área foliar en piña.

Con base en lo anteriormente expuesto, se presenta a continuación la forma técnica de inocular plantas con HMA en el vivero mediante la aplicación de inoculante en sustratos de crecimiento en una proporción de 1 en 10 v/v, respectivamente. En este caso, el inoculante es mezclado en forma homogénea en el sustrato; se tiene el riesgo de que los propágulos de los HMA queden muy diluidos en el sustrato.

- Aplicación de dosis de inóculo directamente al sistema radical de las plántulas durante el transplante (Fig. 5). De esta manera, se puede inocular plantas con raíces colonizadas ( $0.5 \text{ g planta}^{-1}$ ) o con suelo inóculo dependiendo de la calidad y cantidad de propágulos del inoculante ( $1-10 \text{ g planta}^{-1}$ ). También se puede realizar la aplicación con tabletas, "pellets" o perlas, con base en las recomendaciones comerciales del producto.

- Aplicación de los propágulos de HMA de formulaciones solubles mediante sistemas de riego por aspersión. Mediante este sistema se pueden inocular grandes cantidades de plantas producidas en viveros comerciales. Sin embargo, se debe tener mucho cuidado en evitar la obstrucción de los filtros de los sistemas de irrigación a causa del efecto de la acumulación de propágulos de HMA. Además, este sistema no asegura que las esporas y demás propágulos



**Figura 5.** Proceso de inoculación de HMA en plantas al momento del transplante: a) plántulas de cítricos en semillero; b) aplicación del inoculante; y c) transplante en el hueco donde se aplicó el inoculante.

de los HMA alcancen el sistema radical de las plantas, ya que generalmente la irrigación se hace sobre la parte aérea de las plantas. Por otra parte, los propágulos de HMA están más expuestos a la deshidratación por efecto de la irradiación solar, al quedar sobre los órganos vegetales y menos en el suelo.

Para la inoculación con inoculantes de HMA en plantas, se deben seguir ciertos criterios con el fin de garantizar que el producto a aplicar resulte en beneficios para sus hospedantes. Dentro de estos criterios están:

- La evaluación de la calidad del inoculante con base en la cantidad y viabilidad de los propágulos de los HMA.
- En caso de utilizar sólo raíces de plantas trampa, éstas deben estar colonizadas por lo menos en un 50 %.
- Se debe proceder a evaluar la posible presencia de microorganismos fitopatógenos. Para esto, se pueden utilizar plantas indicadoras que son susceptibles a la infección de hongos o bacterias patógenas. De otra forma, la presencia de estos microorganismos indeseables puede evaluarse mediante la utilización de métodos microbiológicos.
- Evaluar si existen efectos negativos ocasionados por los acarreadores, soportes, o sustratos utilizados durante la producción del inóculo. Como ejemplo, el contenido de sales de los productos comerciales (medido por la conductividad eléctrica) puede ser muy alta, lo que puede producir toxicidad en las plantas inoculadas.

#### BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

Alarcón A. y R. Ferrera-Cerrato. 1999. Manejo de la micorriza arbuscular en sistemas de propagación de plantas frutícolas. *Terra* 17(3):171-191

Alarcón, A. y R. Ferrera-Cerrato (Editores). 2000. *Ecología, fisiología y biotecnología de la micorriza arbuscular*. MundiPrensa. México

Alarcón, A., M.C. González-Chávez, R. Ferrera-Cerrato y A. Villegas-Monter. 2001. Efectividad de *Glomus fasciculatum* y *Glomus etunicatum* en el crecimiento de *Vitis vinifera* L. micropropagadas. *Terra* 19(1):29-35

Alarcón, A., M.C. González-Chávez, R. Ferrera-Cerrato y A. Villegas-Monter. 2000. Efecto de hongos micorrízicos arbusculares en la dinámica de aparición de estolones y nutrición de plantas de fresa cv. Fern obtenidas por cultivo *in vitro*. *Terra* 18(3) 211-218

Ferrera-Cerrato, R. y A. Alarcón. 2001. La microbiología del suelo en la agricultura sostenible. *Rev. Ciencia ErgoSum* 8(22):175-183

Ferrera-Cerrato, R., A. Alarcón y M.E. Lara Hernández (Editores). 2004. *Manual: Tecnología de hongos micorrízicos en la producción de especies forestales en vivero*. PRONARE-SEMARNAT. México. 98 p

Smith, S.E. and D.J. Read. 1997. *Mycorrhizal symbiosis (Second Edition)*. Academic Press. San Diego. USA