

Las Micorrizas Arbusculares en el cultivo del café

Carlos Alberto Rivillas Osorio

Los suelos cafeteros colombianos son, en una alta proporción, derivados de cenizas volcánicas, con contenido de materiales alofánicos, que les otorgan buenas características físicas y químicas para el cultivo. No obstante, en la mayoría de los casos se requiere del suministro de fertilizantes químicos para mantener altos niveles producción. En el desarrollo de una caficultura ecológica deseable, que emplee sistemas de producción sostenibles y menos contaminantes, surge el interés de la producción de café bajo un esquema de manejo biológico que incorpore microorganismos nativos o introducidos para un mejor aprovechamiento de los nutrientes minerales y de las interacciones entre la población de microorganismos del suelo.

Las Micorrizas

Son microorganismos naturales del suelo asociados con la raíz de las plantas. En esta simbiosis, las micorrizas propician una mejor absorción y asimilación de nutrientes (especialmente el fósforo) por parte de la planta. La denominación de bio-fertilizante dada a este grupo de hongos es inapropiada y confusa, ya que en un sentido estricto la micorriza no es un fertilizante sino un promotor del ciclo de los nutrientes.

Harley y Smith (1993), citados por Sánchez (1999) clasifican a las micorrizas en Ectomicorriza, Endomicorriza y un grupo intermedio

denominado Ectendomicorriza. La ectomicorriza produce micelio septado, externo a la raíz, que la rodea con un manto reticulado denominado "red de Harting", la cual ocasiona cambios anatómicos en su crecimiento. La endomicorriza posee hifas no septadas localizadas en el interior de la raíz, donde colonizan los espacios inter e intracelulares y no forman un manto sobre la raíz. Tampoco producen modificaciones morfológicas evidentes en la raíz. La ectendomicorriza se considera como un estado intermedio entre las ectomicorrizas y las endomicorrizas, ya que éstas se caracterizan por cumplir las dos funciones no sólo de penetrar a la raíz sino también de formar un manto alrededor de ella.

La Micorriza Arbuscular (MA), vive en asociación con aproximadamente el 85% de las plantas arbóreas, lo cual significa que la simbiosis con este tipo de microorganismos es la regla antes que la excepción. Según la morfología de sus esporas, los géneros de MA se clasifican taxonómicamente en: formadores de clamidosporas, células especializadas formadas asexualmente como los géneros *Glomus* y *Sclerocystis*, y formadores de azigosporas, es decir, zigosporas partenogenéticas como *Acaulospora*, *Entrophospora*, *Gigaspora* y *Scutellospora*.

La colonización de la raíz por parte de una MA es un proceso que involucra tres etapas básicas: colonización (pre-colonización, penetración y colonización intra-radical), desarrollo del micelio externo (esporulación del hongo) y recolonización. La pre-colonización está asociada con la actividad

de los propágulos, esporas o raíces colonizadas presentes en el suelo, que circundan la raíz. La penetración se caracteriza por la formación de un abultamiento o apresorio en el punto de contacto sobre la superficie de la raíz. Cada espora genera un sólo punto de entrada, mientras que un segmento de raíz colonizado puede eventualmente originar más de uno. La colonización del interior de la raíz ocurre por el crecimiento de hifas aseptadas del hongo que se extienden por entre las células corticales y generan estructuras denominadas arbuscúlos y vesículas (Figura 4).

Los arbuscúlos son estructuras del tipo de los haustorios que se originan a partir de la ramificación de una hifa al interior de una célula vegetal sin entrar en contacto con el protoplasma. Éstos son de corta vida y su presencia indica actividad metabólica asociada al transporte de sustancias a través de la membrana. Después de la aparición de los arbuscúlos el micelio empieza a acumular reservas de carbono en forma de

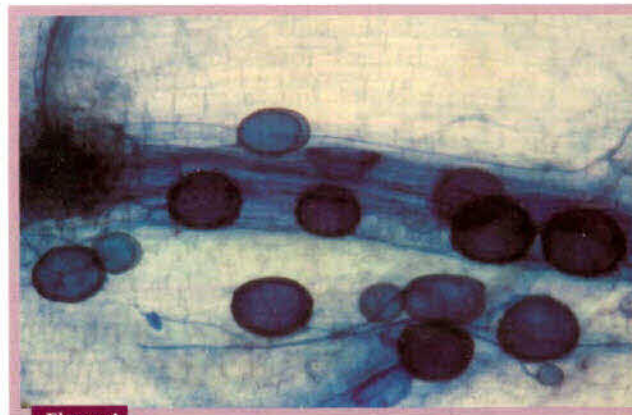


Figura 4

Raíz de café con vesículas producidas por *Glomus manihotis*. 10X.

lípidos, lo cual se manifiesta mediante la aparición de ensanchamientos terminales de la hifa conocidos como vesículas. Los hongos de los géneros *Gigaspora* y *Scutellospora* no producen vesículas, razón por la cual éstas no pueden considerarse estructuras comunes a todos los hongos formadores de micorriza arbuscular, pero producen unas estructuras externas conocidas como células auxiliares extra-radicales, análogas a las vesículas intra-radicales.

El avance de la colonización cortical es acompañado por el desarrollo de micelio externo, el cual actúa como un puente que conecta el suelo con el interior de la raíz. Las hifas externas se proyectan en el suelo algunos centímetros más allá de la superficie de la raíz e incluso, pueden establecer vínculos con raíces vecinas. La relación micelio externo/micelio interno tiene importancia por cuanto es un indicador de actividad de la micorriza. Algunas semanas después de iniciar la colonización el hongo está en condiciones de esporular, lo cual está regulado por las condiciones ambientales del suelo.

Los hongos formadores de MA se consideran un recurso biológico multipropósito pues, además de su efecto sobre la productividad vegetal, producen beneficios ambientales al mejorar las condiciones físico-químicas y biológicas del suelo (Bethlenfalvay, 1992). Entre los beneficios que recibe la planta por esta simbiosis se incluyen, mayor explotación de la rizosfera, incremento en la absorción de varios nutrientes del suelo especialmente del fósforo, tolerancia a las condiciones de

salinidad de algunos suelos, mayor absorción de agua, mayor adaptación a los sitios contaminados por metales pesados, mejoramiento de la agregación del suelo a través de su micelio externo, mayor tasa de sobrevivencia de las plantas a las condiciones de transplante y menor ataque de patógenos radicales.

El fósforo es el nutrimento más importante involucrado en la respuesta en crecimiento de las plantas micorrizadas. Las MA tornan a sus hospedantes más eficientes en su uso, lo cual implica disminución en las pérdidas del nutrimento aplicado y mayor disponibilidad cuando se utilizan fuentes de fósforo de baja solubilidad, debido posiblemente a la acidificación de la rizosfera (Sieverding, 1991 y Sánchez, 1999). Estas asociaciones específicas planta-simbionte están influenciadas por factores ambientales, edáficos o biológicos, al igual que debido al manejo agronómico de los cultivos.

Las MA en la Zona Cafetera Colombiana

En Colombia, se han obtenido importantes logros en el cultivo del café y en otros cultivos con las MA, los cuales corresponden muchas veces a efectos en condiciones de invernadero o semi-controladas, debido a las dificultades de producir información en cualesquier condición de campo donde el beneficio de la simbiosis puede ser diferente y difícil de explicar.

Las investigaciones sobre micorrizas arbusculares en café demuestran el alto

grado de micotrofia de esta planta y su asociación con estos hongos (Sieverding y Toro, 1987; Cruz *et al.*, 1989; Rivillas, 1995; Rivillas y Dodd, 1996; Sánchez, 1999; Bolaños *et al.*, 2000). Esta asociación beneficia a la planta de café no sólo en su crecimiento y desarrollo, nutrición y mayor sobrevivencia a condiciones de estrés, sino que pueden también controlar patógenos radicales individualmente o interactuando con otros microorganismos. Parra *et al.*, 1990 y Rivillas, 1995, indican que en café (*Coffea arabica*) el efecto de las MA sobre el crecimiento de las plantas se hace notorio a partir de los tres meses después de la inoculación.

Especies nativas

Las MA se encuentran en forma nativa en los suelos cafeteros colombianos. En Cenicafé, Chinchiná, se aislaron e identificaron las especies *Entrophospora colombiana*, *Acaulospora scrobiculata*, *Acaulospora tuberculata*, *Acaulospora mellea*, *Acaulospora denticulata*, *Acaulospora myriocarpa*, *Acaulospora pellucida*, *Sclerocystis* spp. (Rivillas, 2000a). En 28 ecosistemas cafeteros, con suelos correspondientes a Inceptisoles (20%) y Andisoles (80%), se aislaron de café e identificaron 6 géneros y 20 especies de MA, siendo las más frecuentes *Acaulospora mellea* y *Glomus occultum*. Les siguieron las especies *A. scrobiculata*, *A. appendicula*, *G. macrocarpum* y *G. intraradices*, y en menor proporción, se aislaron *G. manihotis*, *G. fistulosum* y especies de los géneros *Scutellospora* y *Gigaspora*.

Los niveles de colonización de raíces de café de esas especies nativas variaron entre el 25%

y el 92%, y la densidad promedio de esporas/g de suelo fue superior a 50 esporas. Estos resultados demuestran que entre menos disturbado esté un suelo más alta será la población de MA (Bolaños *et al.*, 2000).

El éxito en el incremento de especies de MA depende de los sustratos y hospedantes utilizados. Especies de MA aisladas de suelos ácidos producen una mayor cantidad de esporas en el sustrato suelo + arena (2:1) esterilizado, mientras que especies de MA no aisladas de suelos tropicales podrían incrementarse mejor en sustratos inertes. En cuanto a hospedantes, las leguminosas *Pueraria phaseoloides*, *Desmodium ovalifolium* y *Arachis pintoi*, y la gramínea *Brachiaria decumbens* confirmaron sus bondades para ser utilizadas en programas de multiplicación. Es de importancia la alta susceptibilidad a la colonización por MA y a la simbiosis con las bacterias *Rhizobium* spp. y *Bradyrhizobium* spp. de la leguminosa *A. pintoi*, característica ésta que estimularía la fijación biológica de nitrógeno y la nutrición por fósforo, los dos principales macroelementos en el desarrollo de las plantas (Rivillas, 1996; Villarreal, 1997).

Asociación MA — Café

Germinador

Experimentalmente, la inoculación de las MA en esta etapa se realiza depositando el inóculo a 3 cm por debajo del nivel de las semillas con el fin que al germinar éstas, sus raíces entren en contacto con los propágulos del hongo. La aplicación de formulaciones comerciales en esta fase del

cultivo requiere que el inóculo esté libre de nematodos y de estructuras de hongos patógenos. Debido al crecimiento lento de la “chapola” y a que al parecer, las necesidades del endófito para favorecer la simbiosis no se satisfacen durante el período de germinador, la semilla de café puede ser colonizada por una MA en la medida que avanza el proceso de germinación, y el beneficio para la planta sólo puede observarse y valorarse en las etapas de almácigo y campo (Rivillas, 2001). Resultados similares se alcanzaron con la inoculación en la fase de endurecimiento, de plantas de café y de plátano obtenidas *in vitro* con *E. colombiana* y *G. fistulosum* (Rivillas y Herrera, 1997). Las plantas micorrizadas en este período muestran mayor crecimiento durante la etapa de almácigo y adecuada adaptación a las condiciones naturales de campo, después de 12 meses del trasplante.

Almácigo

Se han aislado microorganismos como bacterias, hongos y diferentes especies de MA de diferentes suelos cafeteros que actúan como estimuladores del crecimiento vegetal, fijan nitrógeno y solubilizan el fósforo. La colonización natural por especies nativas de los géneros *Gigaspora*, *Sclerocystis*, *Glomus* y *Acaulospora*, alcanzó niveles del 47% en plantas de almácigo sembradas en suelo + pulpa (relación 3:1) (Rivillas, 1999a).

La adición de compuestos orgánicos como pulpa de café descompuesta, lombricompost, gallinaza y cenichaza al suelo para almácigos, además de influir en las

condiciones físicas y en el contenido de macro y microelementos, aporta diferentes microorganismos benéficos, incluidas las MA. Con la adición de pulpa, por ejemplo, se incrementa notoriamente el contenido de potasio en el suelo, mientras que una alta proporción de cenichaza aumenta el pH del suelo y el contenido de fósforo; la mayor cantidad de esporas de MA se observó en el lombricompost (180 esporas/g de suelo) y la menor en cenichaza (5 esporas/g de suelo) (Angarita, 2000).

A pesar de la presencia de MA en el suelo y en los compuestos orgánicos utilizados en el almácigo, la adición de MA al momento de la siembra es una práctica que potencializa el efecto benéfico de estos microorganismos. Se ha demostrado que empleando un inóculo completo (esporas del hongo y fragmentos de raíz colonizados) se producen respuestas similares en el crecimiento de las plantas de café y en los niveles de colonización, al comparar dosis de 12,5; 25 y 50g/chapola (Rivillas, 1995).

Estudios posteriores han demostrado que esta dosis puede todavía reducirse si se utiliza un inóculo de buena calidad.

Experimentalmente, el sistema de inoculación de plantas de café con un variado número de esporas de *Glomus manihotis* (desde 500 hasta 4.000) (Figura 5), fue eficiente para lograr niveles de colonización, en promedio, del 38% e incrementar sustancialmente el crecimiento y desarrollo de las plantas en relación con las plantas en ausencia de MA. Este sistema de inoculación con esporas, aunque no

