

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

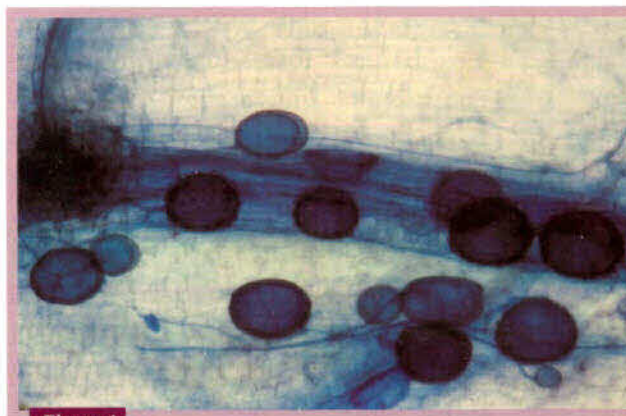


Figura 4
Raíz de café con vesículas producidas por *Glomus manihotis*. 10X.

lípido, 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 (Bethlenfalvai, 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

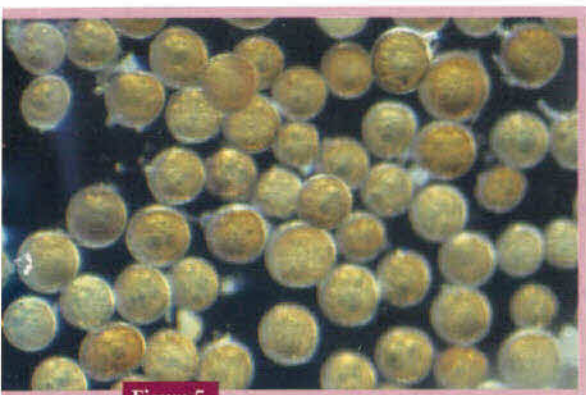


Figura 5
Esporas de *Glomus manihotis*. 10X.

mostró diferencias estadísticas con las plantas inoculadas con un inóculo completo, puede producir dificultades para el establecimiento del hongo si las condiciones para la germinación de las esporas no son favorables (Rivillas, 1999b).

Plantas de almácigo inoculadas con MA, comparadas con almácigos comerciales (gallinaza + productos químicos) mostraron la presencia de esporas de los géneros *Gigaspora*, *Sclerocystis*, *Glomus* y *Acaulospora* tanto en las plantas inoculadas como en las pertenecientes al almácigo comercial. La producción de esporas fue más alta en las plantas que tuvieron la inoculación con las MA introducidas. La colonización radical con las especies nativas fue alta (46%) y no mostró diferencias con las especies introducidas, lo cual confirma que las plantas de café desde el almácigo son colonizadas por especies nativas de MA. El mayor crecimiento de las plantas se observó cuando se adicionó una mezcla de MA (inóculo comercial). Se apreció que la mezcla de gallinaza y las aplicaciones de productos químicos tanto fertilizantes foliares

como fungicidas se realizan muchas veces sin justificación, con lo cual no se producen los efectos esperados en las plantas y que sólo con la adición de especies efectivas de MA es posible producir almácigos de café sanos y vigorosos.

En almácigos, la colonización radical por especies nativas de MA se inicia aproximadamente un mes después del transplante y continúa su incremento en la medida que las condiciones del sustrato estimulen el desarrollo de los simbiontes.

Beneficios del uso de las MA en Café

La inoculación de las especies nativas *G. manihotis*, *G. fistulosum* y *E. colombiana* durante la fase de almácigo produce niveles de crecimiento en las plantas comparables con los obtenidos con la adición de compuestos orgánicos (lombricompuesto, pulpa de café, cenichaza, gallinaza, etc).

El efecto de la inoculación de *Acaulospora tuberculata*, *Glomus manihotis*, *Glomus mosseae* y *Scutellospora heterogama* sobre el crecimiento y desarrollo de plantas de café de las variedades Caturra y Colombia mostró a *G. manihotis* como la especie que ocasiona los mayores incrementos en el crecimiento de las plantas y en el sistema radical (Figura 6), seguida por *S. heterogama*. *A. tuberculata* no produjo incremento y *G. mosseae* no colonizó las raíces de las plantas evaluadas. No hubo diferencias en el crecimiento y la colonización de raíces por *G. manihotis* entre las variedades evaluadas, con o sin adición



Figura 6
Planta de café asociada con *Glomus manihotis* (izquierda) y sin asociar (derecha).

de fósforo. La inoculación de *G. manihotis* mostró diferencias significativas en el contenido de fósforo en la parte aérea de las plantas entre aquellas tratadas y los testigos absolutos (Rivillas, 1995).

El uso de MA en el manejo de enfermedades radicales ha sido suficientemente estudiado en varios cultivos. En café, en condiciones de almácigo, se demostró su beneficio cuando se establecen en las raíces antes que éstas fueran atacadas por el nematodo del nudo radical *Meloidogyne* spp. Plantas de café asociadas con la especie *Glomus* spp. desde el inicio de la etapa de almácigo y llevadas a campo a suelos con altas poblaciones del nematodo han mostrado posteriormente un sistema radical más abundante, sano y un desarrollo vegetativo más vigoroso que las plantas no asociadas con la micorriza arbuscular.

Plantas inoculadas con las MA *Entrophospora colombiana*, *Glomus manihotis* y la bacteria *Burkholderia capacia*, e inoculadas con el patógeno *R. bunodes*, cinco meses después del tratamiento con los biocontroladores, no mostraron síntomas ni signos de ataque de llaga negra del café (*Rosellinia bunodes*). Además, se encontró mayor crecimiento de las plantas y mayor colonización de las raíces donde se inoculó *G. manihotis* sólo y en asociación con *E. colombiana*; *B. capacia* presentó alta persistencia en las raíces de las plantas de café. Igualmente, la actividad metabólica de la hifa de las MA fue mayor en relación con la actividad de la hifa nativa (Figura 7). Los resultados sugieren la posibilidad de su uso en el manejo de otros problemas radicales en café (Castro, 2001).

Inóculos comerciales

En el estudio de la biota nativa de los suelos, es más importante considerar el estímulo y funcionalidad que pueden tener los microorganismos nativos antes que indiscriminadamente incorporar otros cuyo



Figura 7
Espora germinada de *Glomus manihotis* mostrando actividad metabólica de la hifa. 40X.

nivel de adaptación y competencia con los nativos puede ser bajo. Es indiscutible que la adición de microorganismos benéficos para las plantas constituye una opción importante, pero no en todos los casos producirán los mismos efectos. Además, con la adición generalizada de productos químicos se afectan y a veces se eliminan microorganismos que pueden potencialmente favorecer a las plantas en su crecimiento, desarrollo y en las relaciones con otras plantas u otros organismos.

El uso de inóculos comerciales de MA continúa siendo motivo de investigación por Cenicafé, pero no serán recomendados a los caficultores hasta tanto se realicen los estudios necesarios especialmente en condiciones de campo, que indiquen la conveniencia de su uso y la calidad de su procedencia. La producción comercial de MA en café tendrá que estar regida por la mezcla de especies con efecto de sinergismo y con una adecuada presencia de propágulos de colonización, formuladas en sustratos adecuados, con especies adaptadas a nuestros suelos y sobre todo, formulando un inóculo libre de hongos patógenos y de nematodos fitoparásitos. Actualmente se producen en Colombia diferentes tipos de inóculos comerciales los cuales han mostrado ser promisorios en el cultivo de café.

MA en Musáceas

Por tratarse de cultivos de tradición en la zona cafetera Colombiana y por su importancia en la asociación con el cultivo de café, se han realizado algunas

investigaciones de la asociación de las MA en los cultivos de plátano y banano. En estos cultivos se ha observado, al igual que en el cultivo del café, una gran susceptibilidad a la colonización de sus raíces por especies de MA.

Los resultados de muestreos realizados en estos cultivos en la zona cafetera central mostraron un promedio de colonización por especies nativas del 41%, con una alta producción de propágulos al interior de sus raíces. Estas observaciones alientan los trabajos futuros sobre la importancia de las MA en la nutrición y control de patógenos radicales en estos cultivos (Rivillas, 2000b). En un estudio realizado en plantas *in vitro* de plátano Dominico-Hartón y banano Gran Enano, se inocularon estas especies con *Glomus fasciculatum*, *Glomus fistulosum* y *Glomus manihotis*, y con las mezclas de estas especies. La colonización radical estuvo entre 44 % y 85% en banano, y de 30 % a 84% en plátano. Las plantas inoculadas mostraron mayor crecimiento y contenidos de fósforo más altos. El potasio y el magnesio en banano, y el magnesio, el hierro y el boro en plátano no presentaron diferencias estadísticas entre tratamientos. *G. fistulosum* fue la especie más efectiva en cuanto al crecimiento del banano, seguida por la mezcla de *G. fistulosum* con *G. manihotis* y la mezcla de las tres especies de MA. En plátano, la mezcla de *G. fasciculatum* con *G. manihotis* fue más efectiva que *G. fistulosum* (Cano, 2001).

Plantas micropropagadas de plátano Dominico Hartón y banano Gran Enano inoculadas al momento de la siembra con

30 g/planta de inóculo completo de *Glomus manihotis* y *G. fistulosum*, y a los dos meses con trozos de raíces infectadas por géneros *Meloidogyne* spp., *Pratylenchus* spp. y *Helicotylenchus* spp., mostraron estímulo del crecimiento y desarrollo en presencia o ausencia de nematodos. En ambos cultivos *G. fistulosum* y en la mezcla de las dos especies hubo diferencias estadísticas respecto a las plantas testigo.

Las poblaciones de nematodos mostraron una tendencia descendente en plátano con la mezcla de las dos especies de MA. Igual resultado se observó en la cantidad de nódulos producidos por el género *Meloidogyne* spp.; mientras que los niveles de necrosis en las raíces por las especies migratorias se mantuvieron altos. En banano también hubo disminución en la población de *Meloidogyne* spp. y *Helicotylenchus* spp. en todas las plantas asociadas con las MA pero se incrementó la densidad de *Pratylenchus* spp. De los resultados obtenidos se concluye que las MA disminuyen la severidad de los daños por nematodos en plátano y banano (Jaramillo, 2001).

Las MA en condiciones de campo

Se ha demostrado que el manejo orgánico en las fases iniciales de cultivo del café produce cambios en el suelo que favorecen la densidad de las esporas y la diversidad de las MA.

El café orgánico viene asociado a la agricultura sostenible y la utilización de simbiosis benéficas como la simbiosis

micorrícica o de otro tipo pueden contribuir en la nutrición, protección y desarrollo de las plantas de café. A pesar de los esfuerzos que realizan países de mayor tradición que Colombia en el uso de microorganismos utilizándolos como un insumo biológico en los sistemas de producción, posiblemente en el corto plazo el manejo más aconsejable en el cultivo de café con miras hacia una caficultura orgánica sea aquel que adiciona prácticas de sostenibilidad a los esquemas convencionales de cultivo.

En este sentido, bien vale la pena identificar prácticas agronómicas que beneficien las poblaciones naturales de microorganismos en el suelo, así como tener presentes aquellas que producen efectos negativos.

Para el futuro se requiere una producción de café con uso racional de los fertilizantes químicos, un manejo más moderado del suelo, una diversificación del café con otros cultivos y unas interacciones entre microorganismos, sobre la base de un conocimiento de sus requerimientos ecológicos.

En este panorama de una caficultura sostenible, la micorriza arbuscular se constituye en un factor de importancia, ya que no sólo puede influir positivamente en la productividad vegetal, sino que produce beneficios ambientales, especialmente cuando se asocian estos hongos con otros microorganismos del suelo (bacterias diazotróficas de vida libre, actinomicetos o fijadores del género *Frankia*) en interacciones similares a las encontradas en agroecosistemas no disturbados.

Referencias

- ANGARITA D., M. DEL P. Aislamiento, identificación y evaluación de endomicorrizas nativas y otros microorganismos en diferentes sustratos para almácigos de café. Bogotá, Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ciencias Básicas, 2000. 209 p. (Tesis: Microbiología Agrícola y Veterinaria).
- BETHLENFALVAY G.J. Mycorrhizae in the Agricultural plant-soil system. *Symbiosis* 14:413-425. 1992.
- BOLAÑOS, M.M.; RIVILLAS O., C.A.; SUÁREZ V., S. Identificación de micorrizas arbusculares en suelos de la zona cafetera Colombiana. *Cenicafé* 51 (4): 245-262. 2000.
- CANO T., M.A. Efecto de *Glomus fasciculatum*, *Glomus fistulosum* y *Glomus manihotis* en el crecimiento, desarrollo y nutrición de plantas de plátano y banano. Bogotá, Corporación Universitaria de Ciencias Aplicadas y Ambientales-UDCA. Facultad de Ciencias Agropecuarias, 2001. 216 p. (Tesis: Ingeniero Agrónomo).
- CASTRO T., A.M. Efecto de *Entrophospora colombiana*, *Glomus manihotis* y *Burkholderia capacia* en el control de *Rosellinia bunodes* Berk. y Br. agente causante de la llaga negra del café. Manizales, Universidad de Caldas. Facultad de Ciencias Agropecuarias, 2001. 220 p. (Tesis: Maestría en Fitopatología).
- CRUZ S., J.C; SÁNCHEZ DE P., M.; SIEVERDING, E. Estudio de la simbiosis micorriza vesículo arbuscular (M.V.A) en el cultivo del café *Coffea arabica* L. var. Caturra. *Fitopatología Colombiana* 13 (2): 56-60. 1989.
- JARAMILLO Z., M.M. Efecto de *Glomus manihotis* y *Glomus fistulosum* en el manejo de nematodos fitopatógenos en plantas micropropagadas de plátano y banano. Medellín, Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Departamento de Agronomía. 2001. 91 p. (Tesis: Ingeniería Agronómica).
- PARRA L., M.; SÁNCHEZ DE P., M.; SIEVERDING, E. Efecto de micorriza vesículo-arbuscular en café *Coffea arabica* L. var. Colombia en almácigo. *Acta Agronómica* 40 (1-2): 88-99. 1990.
- RIVILLAS O., C.A. The effects of arbuscular mycorrhizal fungi on two different coffee varieties from Colombia and their biochemical detection in roots. Kent, University of Kent. Research School of Biosciences, 1995. 88 p. (Tesis: Magister of Science).
- RIVILLAS O., C.A.; DODD, J.C. The role and biochemical detection of arbuscular mycorrhizal fungi in different coffee varieties from Colombia. In: *Mycorrhizas in integrated systems from genes to plant development*. Bruselas, European Commission, 1996. p. 47-50.
- RIVILLAS O., C.A. Micorrizas arbusculares asociadas al cultivo de café. In: CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ - CENICAFÉ. CHINCHINÁ. COLOMBIA. Informe Anual de Labores de la Disciplina de Fitopatología 1995-1996. Chinchiná, Cenicafé, 1996.
- RIVILLAS O., C.A.; HERRERA P., J.C. Efecto de *Entrophospora colombiana*, *Glomus fistulosum* y *Scutellospora heterogama* en plantas de café "in vitro" en diferentes sustratos. In: Congreso de la Asociación Colombiana de Fitopatología y Ciencias Afines, 18. Palmira, Julio 30 - Agosto 2, 1997. Memorias. Palmira, ASCOLFI-CIAT, 1997. p. 32-33.
- RIVILLAS O., C.A. Micorrizas arbusculares asociadas al cultivo de café. In: CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ - CENICAFÉ. CHINCHINÁ. COLOMBIA. Informe Anual de Labores de la Disciplina de Fitopatología 1998-1999. Chinchiná, Cenicafé, 1999(a).

- RIVILLAS O., C.A. Efecto de la dosis y tipo de inóculo de *Glomus manihotis* en plántulas de café variedad Colombia. In: Congreso de la Asociación Colombiana de Fitopatología y Ciencias Afines, 20. Manizales, Julio 30 - Agosto 2, 1999. Memorias. Manizales, ASCOLFI, 1999 (b). p. 37.
- RIVILLAS O., C.A. Aislamiento y funcionalidad de las Endomicorrizas en la zona cafetera Colombiana. In: Seminario Internacional Micorrizas, 2. La Nueva Tecnología Biológica para una Caficultura Sostenible. Gira Agroindustrial Colombiana de Micorrizas. Popayán, Universidad del Cauca-Universidad Federal de Lavras, 2000 (a). 5 p.
- RIVILLAS O., C.A. Third Annual Report. In: Alleviating abiotic and biotic constraints by combining arbuscular mycorrhizal fungi with banana and plantain micropropagation systems. Louvain, International Cooperation with Developing Countries (INCO-DEV) - European Community - Université Catholique de Louvain, 2000 (b). 89 p.
- RIVILLAS O., C.A. Efecto de la interacción temprana *Glomus manihotis* /Café/Varietal Colombia. In: Congreso de la Asociación Colombiana de Fitopatología y Ciencias Afines, 22. Medellín, Julio 11-13, 2001. Memorias. Medellín, ASCOLFI-Universidad Nacional de Colombia, 2001. p. 17-18.
- SÁNCHEZ DE P., M. Endomicorrizas en agroecosistemas colombianos. Palmira, Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Ciencias Básicas, 1999. 227 p.
- SIEVERDING, E.; TORO, S. Growth of coffee and tea plants nurseries inoculated with different VAM fungal species. In: Mycorrhizae in the next decade. Practical application and research priorities. Gainesville, University of Florida, 1987. p. 58
- SIEVERDING, E. Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems. Eschborn, GTZ. 1991. 371 p. (Schriftenreihe der GTZ No 224).
- VILLARREAL P., D. Efecto de *Glomus etunicatum* y *Bradyrhizobium* sp. en almácigos de café (*Coffea arabica* L., var Colombia) solos y en asociación con *Arachis pintoi* Krap. Y Greg. Manizales, Universidad Católica de Manizales, 1997. 146 p. (Tesis: Maestría en Microbiología).