

CARACTERIZACIÓN DE LAS ENDOMICORRIZAS Y SIETE GRUPOS DE MICROORGANISMOS EN AGROSISTEMAS DEL PIEDEMONTE AMAZÓNICO, COLOMBIA

Characterization of the Endomycorrhizal and Seven Groups of Microorganisms in Agro Systems of the Amazon Piedmont

LUIS ANTONIO FRANCO CASTRO¹, M.Sc.; MARY RUTH GARCÍA
CONDE², Ph. D.

¹ Docente Universidad de la Amazonia, Avenida Circunvalar, Barrio El
Porvenir. Florencia, Caquetá, Colombia. biolucho2005@yahoo.es

² Departamento de Biología Universidad Nacional de Colombia, Sede
Bogotá, Colombia. Tel 316 52 37. mrgarciaco@unal.edu.co

Presentado el 5 de abril de 2011, aceptado el 7 de febrero de 2012, correcciones el 25 de junio de 2012.

RESUMEN

Este trabajo caracterizó la estructura funcional, la diversidad de la comunidad de endomicorizas y el tamaño poblacional de siete grupos funcionales de microorganismos en suelos bajo cuatro diferentes usos de este o agrosistemas (bosque, cultivo de caña, pastura, y cultivo de café), los cuales fueron ubicados en una unidad productiva de la zona rural de Florencia, Caquetá. A partir de muestras de suelo superficial (0-20 cm) se determinaron las características fisicoquímicas del suelo, el tamaño de las poblaciones de siete grupos funcionales de microorganismos, la estructura de la comunidad de endomicorizas (densidad de esporas, densidad de micelio total) y su diversidad (índices de riqueza, dominancia y equidad). Se encontró que el cambio en la cobertura natural, por el uso del suelo, tiene consecuencias en el tamaño poblacional de ciertos grupos bacterianos, así como en la estructura funcional y la diversidad de las endomicorizas. También fue posible determinar que la estructura poblacional de la microbiota del suelo es particular a cada cobertura vegetal y que el tamaño poblacional está relacionado con el contenido de nutrientes del suelo, el cual proviene en gran parte de la mineralización de la materia orgánica.

Palabras clave: endomicorizas, microorganismos, agrosistemas.

ABSTRACT

This study characterized the functional structure, the diversity of the community of endomycorrhizae and population size of seven functional groups of microorganisms in soils under four different uses of land or agro systems (forest, cane, pasture, and cultivation of coffee), the which were located in a production unit in the rural area of Florencia-Caquetá. From samples of surface soil (0-20 cm) were determined agro ecosystems soil physical and chemical properties, the size of populations seven functional groups of microorganisms, the structure of the community to endomycorrhizae (spore



density, density mycelium total) and diversity (richness, dominance, equity indices). It was found that the change in natural cover on the land use implications in population size of certain bacterial groups in the structure and functional diversity of endomycorrhizae. Was also be determined the population structure of soil microbiota is particular to each vegetation type and population size is strongly related to levels of soil nutrients, which come from the mineralization of organic matter.

Key words: Endomycorrhizal, microorganisms, agrosystems.

INTRODUCCIÓN

El piedemonte caqueteño constituye el límite de la planicie amazónica y geográficamente comprende las zonas de la cordillera oriental pertenecientes al departamento del Caquetá. El piedemonte es considerado como una de las unidades geomorfológicas más importantes de la amazonia colombiana (IGAC, 1993). Los suelos del piedemonte por su geomorfología presentan poca profundidad efectiva y son considerados como de baja fertilidad para cultivos (Posada *et al.*, 2007; IGAC, 1993). La mayor parte de las investigaciones realizadas en el piedemonte caqueteño han abordado el cambio de los componentes físicos y químicos de los suelos; debido a la relativa facilidad de su cuantificación. Sin embargo los cambios en el componente biótico de los suelos ha sido menos considerado, por la mayor dificultad y complejidad de su análisis (Kirk, *et al.*, 2004; Kennedy y Papendick, 1995). Microorganismos como hongos no micorrícicos, bacterias heterótrofas, actinomicetos, bacterias fijadoras de N₂ aeróbicas y anaeróbicas, bacterias solubilizadoras de fosfatos, bacterias celulolíticas y endomicorrizas se encuentran en la interfase suelo-planta y son importantes en el desarrollo del ciclo de nutrientes y para la disponibilidad de estos en el suelo. El contenido de nutrientes en el suelo, principalmente los poco solubles como es el caso del fósforo, están asociados a la tasa de descomposición y mineralización de la materia orgánica por los microorganismos (Dhillon y Gardsjord, 2004; Kirk, *et al.*, 2004). El uso del suelo y sus efectos sobre las características fisicoquímicas del suelo pueden ser determinantes en el establecimiento y la colonización de nuevos hospederos para los microorganismos (Chenu y Stotzky, 2002; Siqueira y Moreira, 1997; Bhatia *et al.*, 1996). Hoy se reconoce que el tiempo y el cambio en las propiedades fisicoquímicas del suelo producen modificaciones en la estructura y la función de la comunidad microbiana (Bramley y White, 1989; Beare *et al.*, 1992; Mikhnovskaya *et al.*, 1993; O'Donnell *et al.*, 2001). En el piedemonte amazónico poco se ha caracterizado e investigado acerca de los posibles efectos del cambio en la cobertura vegetal y las propiedades químicas del suelo en relación con la abundancia y diversidad de los microorganismos (Posada *et al.*, 2007; Martínez y Zinck, 2004). Este trabajo caracterizó la estructura funcional y la diversidad de la comunidad de endomicorrizas en relación con algunas características fisicoquímicas y microbiológicas del suelo bajo diferentes coberturas vegetales.

MATERIALES Y METODOS

Durante los meses de agosto y septiembre del 2008 se realizó un muestreo de suelo superficial (0-20 cm) en cuatro clases de coberturas vegetales: bosque secundario maduro



con 20 años en recuperación, pastura (*Brachiaria decumbens* Spafz L) con diez años de establecida y con actividad ganadera de ceba, cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L) con dos años de establecido y cultivo de café (*Coffea arabica* L) no tecnificado con siete años de establecido y en producción. Los agrosistemas se ubican en un paisaje de montaña media (lomerío) en la finca Monte Ore (latitud Norte 01,042'51,9" y latitud Oeste 075,043'30,8") a una altitud entre 1.439 - 1.540 msnm.

FASE DE CAMPO

En cada agrosistema se delimitó un área de 200 m², donde se ubicaron cinco sitios de muestreo con cerca de 20 m de separación entre sí. Para el muestreo del suelo superficial (0-20 cm) se utilizó un tubo de acero (5 cm de diámetro por 25 cm de largo); de cada agrosistema se tomaron cinco muestras y tres réplicas de cada muestra.

FASE DE LABORATORIO

Una muestra homogenizada de 1.500 g por cada cobertura fue enviada al Laboratorio de Suelos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi - Bogotá, Colombia, para los análisis fisicoquímicos de: textura (granulometría por Bouyoucos), acidez intercambiable (AI) con KCl, porcentaje de carbono orgánico (*Walkley-Black*), fósforo disponible (Bray II), capacidad de intercambio catiónico, bases intercambiables (calcio, magnesio, potasio, y sodio), porcentaje de saturación de bases (acetato de amonio 1 Normal, y neutro), porcentaje de Nitrógeno (N) total (Kjeldahl) y pH (potenciometría de muestra fresca). Una segunda muestra homogenizada (1500 g) por cada cobertura se envió al laboratorio de suelos-agua-microbiología del Instituto Geográfico Agustín Codazzi - Bogotá, Colombia para la cuantificación de las poblaciones UFC.g⁻¹ suelo; mediante la cuantificación de células viables en series de diluciones decimales con siembra en superficie por duplicado. Los medios de cultivo y las condiciones de crecimiento utilizados fueron: hongos no micorrízicos (PDA + antibiótico-incubación a temperatura ambiente por 8 a 12 días), bacterias heterótrofas (PCA-incubación de 8 a 12 días a temperatura ambiente), actinomicetos (SCNA-incubación de 10-14 días a 26-28 °C), bacterias fijadoras de N₂ atmosférico-aeróbicas-anaeróbicas (NFB-incubación de 3-7 días a 28-30 °C), bacterias solubilizadoras de fosfatos (SRS-incubación de 5 a 8 días a 37 °C), bacterias celulolíticas (CM-incubación de 5 a 8 días a temperatura ambiente). En el laboratorio de la Universidad de la Amazonia se determinó el porcentaje de humedad del suelo (a capacidad de campo, el punto de marchitez permanente y el porcentaje de agua disponible) a partir de la humedad gravimétrica de la muestra, la textura y los contenidos de materia orgánica.

ASLAMIENTO, CUANTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE ENDOMICORRIZAS

En 10 g de suelo (por cobertura, por muestra y por réplica) se aislaron las esporas mediante el método de tamizado húmedo, seguido por una centrifugación en un gradiente sacarosa al 50 % (w/v) (Gedermann y Nicolson, 1963). Las esporas se cuantificaron sobre papel de filtro, mediante el método de transeptos en una rejilla cuadrículada ubicada en el ocular de un estereoscopio (4x-12x). Los morfotipos se separaron por diferencias en los parámetros morfológicos propios de la taxonomía de las esporas Schenck y Pérez, 1990 y Oehl *et al.*, 2004 y posterior comparación con los catálogos del INVAM, BEG y SINCHI. A partir de las abundancias relativas de los morfotipos se estimó la distribución

poblacional (mejor ajuste chi cuadrado), y se calcularon computacionalmente (Past®. V6) los índices de: riqueza de Fisher (S'), dominancia de Simpson (λ), equidad de Shannon-Wiener (H'). La endo micorrización del suelo se estimó a partir de 5 g de suelo; en las cinco muestras por cobertura vegetal y con tres repeticiones. El micelio extra radical se extrajo utilizando la técnica propuesta. La cantidad de micelio total se estimó mediante la ecuación 1 (revisado por Schweiger, 1999).

$$H = 11/14 * N * \text{Unidad de gradiente (mm)}. \quad \text{Ecuación 1.}$$

Donde: H = total de la longitud de la hifa sobre el área del papel de filtro expresada en mm. N = total del número de intersecciones. Unidad de gradiente: Es la medida de la longitud del gradiente de 10 x 10 sobre el área filtrada en mm, utilizando un objetivo micro-métrico cuadrado.

$$HL = (H/CA) * FA. \quad \text{Ecuación 2.}$$

Donde FA = área filtrada sobre el filtro, expresada en mm². CA = ((10 * Unidad de gradiente)/2) * 25. CA = área filtrada contada, expresada en mm². HL = total de la longitud de la hifa sobre el filtro, expresada en mm.

$$DTL = ((HL/3 \text{ cm}^3) * 250 \text{ cm}^3) / 5 \text{ g}. \quad \text{Ecuación 3.}$$

Donde: DTL= total de la longitud de la hifa en el muestreo de suelo, expresada en mm/g¹ suelo seco.

PROCESAMIENTO ESTADÍSTICO DE LOS DATOS

Los resultados obtenidos para cada variable se analizaron mediante estadígrafos como: promedio, componentes principales de variación y coeficientes de variación. Con el fin de establecer una probable etapa sucesional de la comunidad de endomicorrizas por uso del suelo, se ajustaron las frecuencias de las abundancias de las especies a modelos de distribución, mediante la herramienta computacional Past®.V6. Además se determinó la relación entre las variables químicas, el tamaño de la población microbiana y las variables endomicorrícicas: Población total (densidad de esporas), endomicorrización (densidad de micelio total) y diversidad (índices de riqueza-dominancia-equidad) mediante las correlaciones de *Spearman* y la confirmación entre parámetros por coeficientes de correlación; igualmente se utilizaron pruebas de comparación múltiple HSD de Tukey ($\alpha=0,5$). Para establecer las diferencias en las variables endomicorrícicas evaluadas entre los usos del suelo se realizaron análisis de varianza mediante la utilización del procedimiento ANDEVA del paquete estadístico SPSS®.V.15.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

COMPOSICIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL SUELO

En el suelo superficial (0-20 cm) los parámetros químicos que mostraron una variación significativa (ACP: R: > 0,65; p> 95 %) son: el porcentaje de nitrógeno total, los contenidos de materia orgánica y las bases totales (Tabla 1). La variación en estos parámetros junto

con otros como la capacidad de intercambio catiónico (meq/100 gss) y el porcentaje de saturación de bases son parámetros cuya variación suele estar relacionada con el cambio en las coberturas vegetales así como con el uso y manejo de los agrosistemas (Bramley y White, 1989; Beckett y Webster, 1971). Los contenidos de materia orgánica en el bosque (1 %) son más bajos que los determinados en los agrosistemas (Tabla 1) dicho comportamiento es debido probablemente a que las tasas de descomposición de la materia orgánica suele ser más alta en los cultivos que en los bosques tropicales (Morgan *et al.*, 2005). El alto índice de correlación ($R=0,98$; $P\leq 0,05$ %) entre el contenido de nitrógeno, el porcentaje de materia orgánica y el bajo nivel de fósforo disponible (< 10 ppm) concuerdan con este patrón. Los contenidos de bases totales (1 a 5 meq/100 gss) en el suelo de estos agrosistemas sugieren que los procesos de disponibilidad de nutrientes probablemente están regulados por la acidez del suelo debido a su efecto sobre los procesos de difusión y floculación del complejo adsorbente (Bramley y White, 1989), por el material parental y por la génesis propia de los oxisoles y ultisoles característicos de la zona de trabajo.

	Bosque	Pastura	Caña	Café	Dvest	Coefficiente ACP
Textura	FA	FA	FA	FA		-
Densidad aparente (g/cm ³)	1,3	1,4	1,5	1,3	± 0,09	0,59
Humedad como capacidad de campo (%)	13	12	13	13	± 0,78	0,35
Nitrógeno total (%)	0,05	0,1	0,2	0,2	± 0,08	0,88*
% Materia orgánica (%C.O*1,74)	1	4	8	3	± 2,95	0,96*
Relación C/N	17	17	21	17	± 1,97	0,38
pH	5,6	5,2	4,8	5,5	± 0,37	0,49
Aluminio Intercambiable (meq/100gss)	0,5	1,3	2,2	0,4	± 0,83	0,71
Fósforo (Bray II) ppm	5	9	4	7	± 2,38	0,32
Bases totales (meq/100gss)	1	1	1	5	± 2,24	0,89*
Saturación de bases (%)	20	8	5	32	± 12,56	0,67
Cationes intercambiables (meq/100gss)	6	11	18	18	± 5,70	0,77*
Calcio (meq/100gss)	0,7	0,4	0,4	3,3	± 1,38	0,80*
Magnesio (meq/100gss)	0,2	0,1	0,2	1,9	± 0,85	0,93*
Sodio (meq/100gss)	0,07	0,06	0,06	0,1	± 0,01	0,80*

Tabla 1. Media, \pm desviación estándar, y coeficiente de aporte de los parámetros a la variación de la variable fisicoquímica en el suelo superficial (0-20 cm) de los agrosistemas (bosque, pastura, caña y café) en la finca Monte Ore (Florencia, Caquetá, Colombia). El coeficiente de aporte a la variación fue determinado mediante el análisis de componentes principales. * $p > 95$ %.

Los parámetros fisicoquímicos determinados en el suelo de la finca Monte Ore sugieren que estos no son limitantes para el desarrollo de las plantas y de la biota del suelo, los cuales son similares a las determinados por el proyecto IGAC, 1993, en suelos de la zona nororiental del piedemonte caqueteño (IGAC, 1993). El contenido de nutrientes en los suelos de la zona de estudio se explican mayormente por la actividad de mineralización que realizan los organismos del suelo sobre la materia orgánica; proceso que está influenciado por el clima, la calidad de la materia orgánica aportada y por la cobertura vegetal, que por la acidez de los suelos (Martínez y Zinck, 2004).



LA COMUNIDAD MICROBIANA

La estructura de la comunidad de microorganismos en el suelo se asocia al grado de tolerancia de estos organismos a las condiciones fisicoquímicas y biológicas del hábitat (Madigan *et al.*, 1999; Entry *et al.*, 2002). El flujo y tasa de liberación de nutrientes en los suelos tropicales dependen en parte de la comunidad de microorganismos, por esta razón el detrimento poblacional en estos organismos usualmente se refleja en una reducción de la calidad edáfica y de la productividad del agrosistema (Martínez y Zinck, 2004, Entry *et al.*, 2002). Los tamaños de las comunidades de bacterias heterótrofas y de las fijadoras de N₂ aeróbicas (Tabla 2) mostraron alto coeficiente de variación (ACP: R: > 0,65; p> 95 %). Las características fisicoquímicas del suelo como: textura, humedad, capacidad de campo (%), acidez, porcentaje de saturación de Al, contenidos de P y porcentaje de saturación de bases no mostraron variaciones significativas (ACP: R: < 0,70; p> 95 %). Es posible inferir que la estructura de la comunidad de bacterias heterótrofas y fijadoras de N₂ aeróbicas están más asociados al tipo de cobertura vegetal, a las interacciones en la rizósfera y a los procesos asociados con la descomposición de la materia orgánica en cada agrosistema que a las propiedades fisicoquímicas del suelo. En el suelo estudiado la cobertura vegetal, el uso y el manejo de los agrosistemas brindan condiciones favorables para determinados grupos de microorganismos mientras que otros, se ven desfavorecidos (Entry *et al.*, 2002). Durante el muestreo se encontraron tamaños semejantes en la comunidad de hongos no micorrícicos, actinomicetos, bacterias solubilizadoras de fosfatos, bacterias celulolíticas y bacterias fijadoras de N₂ atmosférico anaeróbicas en los agrosistemas con un periodo de intervención menor a 10 años, debido a que la comunidad de microorganismos son el resultado de una adaptación a la estructura vegetativa y a los procesos que tienen lugar en el agrosistema (Posada *et al.*, 2006). Se ha demostrado que la presencia de micorrizas cambia el número de bacterias aeróbicas en la rizósfera y afecta su tasa de crecimiento debido a que algunos grupos son estimulados, mientras que otros son suprimidos (Marschner *et al.*, 2001). Las micorrizas alteran la composición de la comunidad bacteriana en la rizósfera debido a cambios en la exudación radical y en el metabolismo de carbohidratos de la planta y a que el hongo exuda sustancias que tienen un efecto selectivo sobre la comunidad microbiana de la rizósfera (Marschner *et al.*, 2001, Vazquez *et al.*, 2000, Kennedy y Papendick, 1995). Marschner y Baumann, 2003 consideran que en parte, el cambio en la comunidad bacteriana en la rizósfera es mediado por la planta como resultado de cambios fisiológicos inducidos en esta por el hongo micorrícico. Las características químicas del suelo estudiado y el tamaño de las comunidades de bacterias y hongos se correlacionan con la diversidad vegetal en el agrosistema. Por todo lo anterior es posible considerar que un cambio en la cobertura vegetal lleva a un cambio en la comunidad de los microorganismos como resultado de la interacción planta-rizósfera-edafo. En el agrosistema de café (Tabla 2), factores de manejo del suelo como densidad del cultivo, enclavado y fertilización nitrogenada incrementan la disponibilidad de nitrógeno lábil, lo que a su vez favorece el tamaño de la comunidad de las bacterias celulolíticas y el incremento en las bacterias heterótrofas con respecto a los otros agrosistemas. Bending *et al.*, 2000, consideran que el nitrógeno y la materia orgánica controlan los patrones de mineralización en muchos suelos y que el efecto de las prácticas de manejo sobre la materia orgánica del suelo está mediada por la comunidad de microorganismos la cual, es sensible a los efectos del manejo porque afecta las propiedades biológicas y la calidad de este.



	Bosque	Pastura	Caña	Café	Dvest	Coefficiente ACP
Hongos no endomicorrícicos (UFC/gss)	1,75E+06	1,83E+04	1,20E+04	1,29E+04	8,68E+05	0,01
Bacterias heterótrofas (UFC/gss)	1,20E+07	1,57E+07	3,67E+07	1,10E+08	4,56E+07	0,66*
Bacterias celulíticas (UFC/gss)	1,92E+06	1,53E+06	2,10E+0	7,67E+06	2,92E+06	0,04
Actinomicetos (UFC/gss)	1,00E+06	1,00E+05	1,00E+05	5,32E+05	4,29E+05	0,00
Bacterias fijadoras de N2 aeróbicas (UFC/gss)	1,19E+07	3,93E+07	7,86E+07	1,32E+08	5,21E+07	0,75*
Bacterias fijadoras de N2 anaeróbicas (UFC/gss)	1,60E+05	1,60E+05	6,16E+05	2,53E+05	2,17E+05	0,00
Bacterias solubilizadoras de fosfatos (UFC/gss)	5,00E+04	1,20E+06	3,60E+05	1,20E+06	5,88E+05	0,00

Tabla 2. Media, \pm desviación estándar, coeficiente de variación del tamaño poblacional estimado para siete grupos funcionales de microorganismos en el suelo superficial (0-20 cm) por cobertura (bosque, pastura, caña y café) en la finca Monte Ore. (Florencia, Caquetá, Colombia). El coeficiente de aporte a la variación fue determinado mediante el análisis de componentes principales. * $p > 95\%$.

La alta correlación entre el tamaño de cuatro grupos funcionales con el CIC (meq/100gss) del suelo (Tabla 3) nos indica que el tamaño de la comunidad de microorganismos está influenciada por las diferencias en la tasas de liberación de nutrientes en el suelo, por la calidad nutricional de las plantas y por el manejo del sistema (limpieza, aplicación de agroquímicos o quemadas). Al respecto Bending *et al.*, 2000, afirman que mientras las características químicas de un suelo contribuyen a su calidad, son los componentes bioquímicos y biológicos los que son más susceptibles de cambiar y los más expuestos a la degradación por el impacto antrópico. La acidez del suelo no se relaciona de forma directa con el tamaño de las poblaciones de microorganismos, excepto con los actinomicetos, debido a que los organismos presentes en la zona de estudio están adaptados a esta acidez, la cual no limita su actividad y corresponde con valores de C/N entre 17 - 21 en el suelo de los agrosistemas.

LA COMUNIDAD DE ENDOMICORRIZAS

La actividad biológica de las endomicorizas muestra en el análisis HSD (Tukey $P \leq 0,05$) que la densidad de esporas y de micelio total es significativamente diferente entre los agrosistemas. La mayor densidad de esporas y de micelio total se encontró en el suelo el cultivo de café (Tabla 4). Sin embargo es importante tener en cuenta que los resultados presentados no son absolutos; debido a que la presencia de esporas son una aproximación relativa a la actividad biológica y la riqueza de la comunidad endomicorrícica (Jeffries *et al.*, 2003), porque no todos los hongos endomicorrícicos esporulan bajo las mismas condiciones edáficas o épocas (Siqueira y Moreira, 1997; Pankrust *et al.*, 1997). El contenido de fósforo en los agrosistemas estudiados es bajo y varía entre 4-9 ppm, lo cual se considera que facilita el desarrollo de la simbiosis micorrizógena; debido a que los hongos formadores de micorizas son más exitosos en suelos con limitaciones en fós-



356 Artículo - Caracterización de las endomicorrizas y siete grupos de microorganismos en agrosistemas del piedemonte amazónico, Colombia. Franco, García.

	Hongos no endomicro- rízicos	Bacterias heterótrofas	Actinomicetos	Bacterias fijadoras de N ₂ aeróbicas	Bacterias fijadoras de N ₂ anaeróbicas	Bacterias solubilizadoras de fosfatos	Bacterias celulolíticas
Nitrógeno total (%)	0,9**	0,8	-0,6	0,8	0,9**	0,4	0,6
Materia orgánica (C.O*1,74) (%)	0,9**	0,8	-0,6	0,8	0,9**	0,4	0,6
Relación C/N	-0,9**	0,7	-0,4	0,7	0,9**	0,2	0,7
Fósforo Bray II	0,2	0,4	0,2	0,4	-0,3	0,8	0,2
pH	0,8	-0,4	0,9**	-0,4	-0,6	-0,2	0,0
Al Intercambiable (meq/100gss)	0,4	-0,2	-0,7	-0,2	0,3	-0,4	-0,4
CIC (meq/100gss)	-0,9**	0,9**	-0,5	0,9**	0,9**	0,6	0,7
Bases totales (meq/100gss)	0,0	0,4	0,7	0,4	0,2	0,2	0,8
% Saturación de bases	0,4	0,2	0,7	0,2	-0,3	0,4	0,4

Tabla 3. Coeficientes de correlación Spearman entre las variables químicas y el tamaño de las poblaciones de siete grupos funcionales de microorganismos presentes en el suelo superficial (0-20 cm) de las coberturas de bosque, caña, pastura y café. Finca Monte Ore (Florencia, Caquetá, Colombia). Significancia ** P<0,05; * P<0,01.

foro, que en suelos ricos en nutrientes, donde la simbiosis es menos efectiva y se establece con mayor dificultad (Morgan *et al.*, 2005; Ohel *et al.*, 2003; Bramley y White, 1989). En varios estudios (Collier, 2007; Oehl *et al.*, 2003; Oehl *et al.*, 2004) se han observado que las endomicorrizas se asocian de manera importante con las comunidades vegetales bajo condiciones edáficas difíciles, por lo que se sugiere que su presencia tiene un marcado efecto en la adaptación vegetal a través de la nutrición y al incrementar la tolerancia al estrés ambiental.

	Bosque	Pastura	Caña	Café	ANDEVA
n.º esporas en 10 gss	33±8	59±11	118±10	202±37	0,00*
Micelio total (mm ³ g ⁻¹ ss)	14471±599	8073±463	9676±463	21121±684	0,001*

Tabla 4. Media ± desviación estándar de las variables de actividad biológica de las endomicorrizas evaluadas por cobertura (bosque, caña, pastura, café). Finca Monte Ore (Florencia-Caquetá, Colombia). Las diferencias entre coberturas fueron determinadas por análisis de varianza de una vía mediante el procedimiento HSD. Tukey. *Diferencias significativas a P≤ 0,05.

LA DIVERSIDAD DE LA COMUNIDAD DE ENDOMICORRIZAS

Esta comunidad depende principalmente de la capacidad de adaptación del hongo a un nuevo hospedero y de la competencia interespecifica (Martínez *et al.*, 2004). En este estudio se encontró que existen diferencias en relación con los taxa dominantes de endomicorrizas entre las coberturas vegetales (análisis HSD Tukey P≤ 0,05) (Tabla 5). El número de morfotipos en el suelo bajo cobertura boscosa, caña y la pastura fue similar (9 en promedio); mientras que en el suelo bajo café se encontraron 18 morfotipos. La ma-



yor diversidad en el suelo de café, puede corresponder a que la planta de café es una planta micotrófica dependiente durante todo su ciclo de vida (Siqueira y Moreira, 1997). Un alto número de especies de endomicorizas son comunes en los agrosistemas, lo cual permite inferir que la mayoría de especies de endomicorizas presentan una distribución amplia en el suelo, que no está limitada por la cobertura vegetal. Diez y siete de los morfotipos pertenecen al género *Glomus*, lo cual confirma la predominancia de este género en los suelos agrícolas (Oehl *et al.*, 2003; Mazzoncini, *et al.*, 2010). Unos pocos morfotipos son exclusivos para cada agrosistema: en el café *Glomus* sp4 y *Glomus* sp7, *Acaulospora* sp1, *Acaulospora* sp2 y *Acaulospora* sp3; en la pastura: *Glomus* sp1 y *Acaulospora mellea*; en caña: *Glomus ambisporum* y *Glomus* sp3. Esta distribución puede ser el resultado de que algunas especies de endomicorizas fueron introducidas durante el periodo de establecimiento de los cultivos. El género *Glomus* se encontró con una distribución más amplia y diversa frente a los demás géneros presentes en la zona de estudio. La distribución de las frecuencias de abundancia poblacional de las especies de endomicorizas se ajustó significativamente a un modelo geométrico en los suelos con cobertura boscosa, caña y pastura, lo que puede estar asociado a una mayor competencia entre las poblaciones y permite suponer la existencia de relaciones adaptativas entre las especies de endomicorizas en un hábitat particular y propio de cada agrosistema (Ibáñez y De Alba, 2000). En el suelo bajo café el mejor modelo de ajuste fue el de vara quebrada, que se asocia a una distribución más equitativa y a una competencia interespecífica entre los individuos de la población de endomicorizas (Ibáñez y De Alba, 2000). La diversidad estimada a partir de las abundancias de las poblaciones de endomicorizas es definida para cada cobertura (Tukey $P \leq 0,05$; Tabla 5). La mayor riqueza-Fischer y equidad-Shannon se encontró en el suelo del cultivo de café (7-2,5) como resultado de que la planta de café es altamente micotrófica y poco selectiva (Oehl *et al.*, 2003).

	Bosque	Pastura	Caña	Café	ANDEVA
Riqueza en especies (en 10gss)	10±3,1	10±2,8	9±2,8	18±5,1	0,00*
Modelo de distribución	Geométrico	Geométrico	Geométrico	Vara quebrada	
Riqueza-Fischer	4,2±1,8; a	3,6±1,9; b	4,9±1,9; a	7,0±1,7; c	0,01*
Dominancia-Simpson	0,8±0,3; a	0,9±0,1; a	0,8±0,4; a	0,9±0,5; a	0,18
Equidad-Shannon	2,0±0,3; a	2,0±0,2; a	1,9±0,4; a	2,5±0,5; b	0,03*
<i>Glomus</i> (%)	47±4,1	49±5,4	19±5,2	28±6,1	0,00*
<i>Acaulospora</i> (%)	13±3,9	8±1,5	59±7,4	28±3,5	0,39
<i>Appendicispora</i> (%)	38±1,9	40±5,4	18±2,4	47±4,8	0,20
<i>Entrophospora</i> (%)	3±2,7	3±3,7	4±3,9	1±1,2	0,37

Tabla 5. Media \pm desviación estándar de las variables de estructura y diversidad de la comunidad de endomicorizas evaluadas por cobertura (bosque, caña, pastura, café). finca Monte Ore (Florencia, Caquetá, Colombia). Las diferencias entre coberturas fueron determinadas por análisis de varianza de una vía mediante el procedimiento HSD. Tukey. *Diferencias significativas a $p \leq 0,05$.

La diversidad de hongos micorrizógenos juega un papel importante en la estructura y la productividad de las comunidades vegetales con las que se asocia, tanto en ecosistemas naturales como agrícolas; debido a que las endomicorizas juegan un papel clave



en la producción de algunos compuestos que son benéficos para las plantas con las que se asocian (Atlas y Bartha, 2002; Shi *et al.*, 2007). Desde una perspectiva práctica los hongos micorrizógenos son más que biofertilizantes. Aunque el principal beneficio es de carácter nutricional, una planta puede obtener ventajas adicionales de los hongos micorrícicos, como tolerancia a estrés hídrico, tolerancia a salinidad y protección a enfermedades, entre otros (Kernaghan, 2005).

El componente de la comunidad de endomicorrizas que presentó mayor número de correlaciones significativas con los parámetros químicos es la diversidad (Tabla 6). La diversidad de la comunidad de hongos endomicorrícicos en el suelo tiene consecuencias ecológicas significativas para los suelos bajo cultivo; debido fundamentalmente a que las especies individuales, así como los consorcios micorrícicos se diferencian por el potencial para promover el crecimiento vegetal y en la manera como se adaptan a los factores bióticos y abióticos adversos (Gianinazzi *et al.*, 2004). Los resultados de las investigaciones relacionadas con las micorrizas, la biodiversidad y el funcionamiento del ecosistema sugieren que hay una influencia recíproca entre la comunidad vegetal y la de hongos micorrícicos, la cual juega un papel fundamental en la determinación de la estructura y la biodiversidad de las comunidades de plantas y de hongos (Kernaghan, 2005). Sin embargo se reconoce que la diversidad de hongos determina los beneficios que recibe la planta mediante las endomicorrizas. Experimentos han mostrado que el incremento en la productividad en plántulas de árboles es mayor con el aumento de la diversidad de hongos endomicorrícicos (Kernaghan, 2005).

La composición química de suelo y su relación con la estructura y diversidad de la comunidad de endomicorrizas indican que la actividad biológica y la diversidad de la comunidad de endomicorrizas no se ven afectados por el bajo contenido de bases y la acidez del suelo. Una posible explicación de la relación entre hábitat, estructura vegetal y diversidad de hongos endomicorrícicos, es que esta es el resultado de una variación fisiológica (diversidad funcional) entre las diferentes especies de hongos micorrícicos y sus hospederos en cada agrosistema (Bagyaraj *et al.*, 2000).

A manera de conclusión podemos indicar que durante la caracterización de los cuatro agrosistemas evaluados se encontraron diferencias respecto al tamaño de las poblaciones de las bacterias heterótrofas, bacterias fijadoras de N₂ aeróbicas y endomicorrizas; sin embargo, el cultivo de café presentó mayor abundancia de estos microorganismos. Varios factores bióticos y abióticos interactúan para configurar la estructura de la comunidad de hongos micorrícicos. El más obvio de estos es la estructura de la cobertura vegetal; mediante la especificidad o preferencia que exhiba la planta a la simbiosis micorrizal.

Los resultados nos indican que el tamaño de las poblaciones de microorganismos, la actividad biológica y la diversidad de las endomicorrizas responden a este tipo de cambios y por lo tanto podrían servir como indicadores potenciales para evaluar disturbios en estos ecosistemas. Se encontró una relación alta entre el tamaño de los grupos funcionales de microorganismos, la estructura y la diversidad de la comunidad de endomicorrizas, que permite inferir la importancia de las asociaciones micorrícicas en la adaptación de las plantas bajo cultivo. Probablemente la disponibilidad de nutrientes para las plantas en los cultivos depende de las interacciones micorriza-planta, las cuales a su vez influyen el desarrollo de otros microorganismos y contribuye a la adaptación y producción de las plantas bajo las condiciones ambientales que presentan los suelos del piedemonte amazónico.



	% Nitrógeno total	% M.O (C.O*1,74)	C/N	Fósforo Bray II ppm	pH	Al.I meq/100g	CIC meq/100g	Ca meq/100g	Mg meq/100g	K meq/100g	Na meq/100g	Bases totales meq/100g	% saturación vde bases
Esporas en 10g ⁻¹ ss	0,8	0,7	0,8	0,4	-0,4	-0,2	0,9**	0,4	0,8	-0,4	0,3	0,40	0,2
Micelio (mm.g ⁻¹ ss)	0,0	0,2	0,0	0,4	0,6	-0,8	0,2	0,9**	0,8	0,6	0,9**	0,9**	0,8
Riqueza	0,9**	0,9*	0,9**	0,0	-0,4	0,0	0,9**	0,4	0,9**	-0,4	0,2	0,45	0,0
Dominancia	-0,2	-0,3	-0,2	0,9**	0,4	-0,8	0,1	0,4	0,20	0,4	0,6	0,40	0,8
Equidad	0,3	0,5	0,3	0,3	0,3	-0,6	0,5	0,9**	0,9**	0,3	0,8	0,9**	0,6

Tabla 6. Coeficientes de correlación *Spearman* entre las variables de actividad biológica y la diversidad de la comunidad de endomicorrizas con las variables químicas. Suelo superficial (0-20 cm) en la finca Monte Ore (Florencia, Caquetá, Colombia). Significancia ** p<0,05; * p<0,01.



AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la división de investigación de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá por la financiación del presente trabajo, a la Universidad de la Amazonia por la ayuda financiera y por facilitar el uso de laboratorios, al Comité de Cafeteros de Caquetá y en especial al Sr. Pablo Beltrán por facilitarnos el acceso a su finca y el apoyo al presente trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

ATLAS RM, BERTHA R. Ecología microbiana y microbiología ambiental. 4 ed. Madrid. Editorial Pearson Educación; 2002.

BAGYARAJ DJ, KRISHNARAJ PU, Y KHANUJA SPS. Mineral phosphate solubilization agronomic implications, mechanism and molecular genetics. PINSA. 2000;66:69-82.

BEARE MH, PARMELEE RW, HENDRIX PF, CHENG W. Microbial and faunal interactions and effects on litter nitrogen and decomposition in agro ecosystems. Ecol Monogr. 1992;62:569-591.

BECKETT PHT, WEBSTER R. Soil variability. Aciar Proc. 1971;34:1-15.

BEG. 2009. Species Descriptions from Reference Cultures: Disponible desde internet en: <http://www.kent.ac.uk/bio/beg>.

BENDING GD, PUTLAND C, RAYNS F. Changes in microbial community metabolism and labile organic matter fractions as early indicators of the impact of management on soil biological quality. Biol Fertil Soils. 2000;31:78-84.

BHATIA NP, SUNDARI K, ADHOLEYA A. Diversity and selective dominance of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. En: Mukerji K G, editors. Concepts in Mycorrhizal Research. Kluwer Academic Publishers; 1996. p. 133-178.

BRAMLEY RGV, WHITE RE. The effect of pH, liming, moisture and temperature on the activity of nitrifiers in a soil under pasture. Aust J Crop Sci. 1989;27:711-724.

CHENU C, STOTZKY G. Interactions between microorganisms y soil particles. En: Huang PM *et al.*, editors. Interactions between soil particles y microorganisms. Chichester-England. John Wiley and sons; 2002. p. 4-40.

COLLIER SC. Review of potential factors influencing reduced Mycorrhizal dependency among plants of northern Chihuahua Desert (Mexico). Instituto Nacional de Ecología -SEMARNAT-UAM-Iztapalapa. FES-Zaragoza-UNAM. México D.F.; 2007. p. 73-82.

DHILLON SS, GARDSJORD TL. Arbuscular Mycorrhizal influence plant diversity and productivity nutrients in boreal grassy. Can J Soil Sci. 2004;82:104-114.

ENTRY JA, RYGIWICZ PT, WATRU, LS, DONNELLY PK. Influence of adverse soil conditions on the formation and function of *Arbuscular mycorrhizas*. Adv Environ Res. 2002;7:123-138.

GEDERMAN JW, NICOLSON TH. Spores of Mycorrhizal Endogone extracted from soil by wet sieving y decanting. Br Mycol Soc Trans. 1963;46:235-244.

GIANINAZZI PEARSON V, AZCÓN AGUILAR C, BÉCARD G, BONFANTE P, FERROLN, FRANKEN P, *et al.* Advances in fungal biotechnology for industry, medicine and agriculture. New York - Boston: Kluwer Academic/Plenum Publishers; 2004. p. 405-424.



- IBÁÑEZ J, DE ALBA J. Pedodiversity and scaling laws. *Geoderma*. 2000; V 98. p. 5-9.
- IGAC. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Aspectos ambientales para el ordenamiento territorial del occidente del departamento de Caquetá. V 2. IGAC - INPA. Bogota: Editorial Tropembos. Colombia; 1993.
- INVAM. 2009. Species Descriptions from Reference Cultures: Disponible desde internet en <http://invam.caf.wvu.edu/fungi/taxonomy/speciesID.htm>
- JEFFRIES P, GIANINAZZI S, PEROTTO S, TURNAU K, BAREA JM. The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility. *Biol Fert Soils*. 2003;37:1-16.
- KENNEDY AC, PAPENDICK RI. Microbial characteristics of soil quality. *J Soil Water Conserv*. 1995;50:243-248.
- KERNAGHAN G. Mycorrhizal diversity: Cause and effect?. *Pedobiologia*. 2005;49:511-520.
- KIRK JL, BEAUDETTE LA, HART M, MOUTOGLIS P, KLIRONOMOS JN, LEE H, *et al*. Methods of studying soil microbial diversity. *J Microbiol Methods*. 2004;58:169-188.
- MADIGAN M, MARTINKO J, PARKER J. *Biología de los microorganismos*. 8.º edición. Madrid: Editorial Prentice Hall; 1999.
- MARSCHNER P, BAUMANN K. Changes in bacterial community structure induced by mycorrhizal colonisation in split-root maize. *Plant Soil*. 2003;251:279-289.
- MARSCHNER P, YANG CH, LIEBEREI R, CROWLEY DE. Soil and plant specific effects on bacterial community composition in the rhizosphere. *Soil Biol Biochem*. 2001;33:1437-1445.
- MARTÍNEZ A, OBERTELLO M, PARDO A, OCAMPO J, GODEAS A. Interactions between *Trichoderma pseudokoningii* Strains and the Arbuscular Mycorrhizal Fungi *Glomus mosaeae* and *Gigasporarosea*. *Mycorrhizal*. 2004;14(2):79-84.
- MARTINEZ L, ZINCK A. Temporal variation of soil compaction y deterioration of soil quality in pasture areas of Colombian Amazonia. *Soil Until*. 2004;75:3-17.
- MAZZONCINI M, CANALI S, GIOVANNETTI M, CASTAGNOLI M, TITTARELLI F, ANTICHI D, *et al*. Comparison of organic and conventional stockless arable systems: A multidisciplinary approach to soil quality evaluation. *Appl Soil Ecol*. 2010;4:124-132.
- MIKHNOVSKAYA AD, KIRICHENKO TP, PANCHENKO VP. Microbiological processes of transformation of organic matter with different cultivation practices of typical chernozem. *Eurasian Soil Sci*. 1993;25:100-109.
- MORGAN J, BENDING GD, WHITE PJ. Biological costs y benefits to plant-microbe interactions in the rhizosphere. *J Exp Bot*. 2005;56:1729-1739.
- O'DONNELL AG, SEAMAN M, MACRAE A, WAITE I, DAVIES JT. Plants and fertilisers as drivers of change in microbial community structure and function in soils. *Plant Soil*. 2001;32:135-145.
- OEHL F, SIEVERDING E, INEICHEN K, MÄDER P, BOLLER T, WIEMKEN A. Impact of land use intensity on the species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in agroecosystems of Central Europe. *Appl Environ Microbiol*. 2003;69:2816-2824.
- OEHL F, SIEVERDING E, INEICHEN K, MÄDER P, BOLLEER T, WIEMKEN S. Impact of long-term conventional y organic farming on the diversity of Arbuscular Mycorrhizal fungi. *Oecologia*. 2004;138:574-583.
- PANKHURST C, DOUBE BM, GUPTA WSR. *Biological indicators of soil health*. CAB International. United Kingdom: Wallingford; 1997. p. 157-177.

POSADA ALMANZA RH, FRANCO CASTRO LA, CUELLAR CALDERON AP, SANCHEZ CHACON W, SANCHEZ FIGUEROA AP. Inóculo de hongos de micorriza arbuscular en pasturas de *Brachiaria decumbens* (Poaceae) en zonas de loma y vega. Acta biol Colomb. 2007;12:113-120.

POSADA ALMANZA RH, FRANCO CASTRO LA, MEDINA GIRÓN E. El tiempo de establecimiento de pasturas y su relación con la micorriza arbuscular en paisajes de loma y vega. Acta biol Colomb. 2006;11:55-63.

SCHENCK N, PÉREZ C. Manual for the identification of VA Mycorrhizal fungi. 2 editions. Florida, USA: Synergistic Publications; 1990.

SCHWEIGER JI. Direct measurement of arbuscular mycorrhizal phosphorus uptake in to field - grown winter wheat. Agron J. 1999;91:998-1002.

SHI Z, ZHANG LY, LI X, FENG G, TIAN CY, CHRISTIE P. Diversity of Arbuscular Mycorrhizal fungi associated with desert ephemerals in plants communities of junggar basin, northwest. China. App Soil Ecol. 2007;35:10-20.

SINCHI. 2009. Descripción de especies: Disponible desde internet en: <http://www.sinchi.org.co/micorrizas>.

SIQUEIRA JO, MOREIRA FMS. Microbial populations and activities in highly weathered acidic soils. En: Brazilian Soil Science Society. Editors. Highlights of the Brazilian Research. Campinas - Viçosa, Brasil; 1997. p. 139-156.

TENNANT D. A test of a modified line intersect method of estimating root length. J Ecol. 1975;63:95-1001.

VAZQUEZ MM, CESAR S, AZCON R, BAREA JM. Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and other microbial inoculants (*Azospirillum*, *Pseudomonas*, *Trichoderma*) and their effects on microbial population and enzyme activities in the rhizosphere of maize plants. Appl Soil Ecol. 2000;15:261-272.