

# COMPOSICIÓN DE HONGOS FORMADORES DE MICORRIZA ARBUSCULAR Y SU EFECTO SOBRE LA ESTRUCTURA DE LOS SUELOS EN LA ZONA RURAL DE DAGUA, VALLE DEL CAUCA

**Juan David Lozano Sánchez**

Universidad del Valle, Apartado Aéreo 25360, Cali, Colombia.  
Correo electrónico: [juan.lozano.sanchez@correounivalle.edu.co](mailto:juan.lozano.sanchez@correounivalle.edu.co)

**Inge Armbrecht**

Universidad del Valle, Apartado Aéreo 25360, Cali, Colombia  
Correo electrónico: [inge.armbrecht@correounivalle.edu.co](mailto:inge.armbrecht@correounivalle.edu.co)

**James Montoya Lerma**

Universidad del Valle, Apartado Aéreo 25360, Cali, Colombia.  
Correo electrónico: [james.montoya@correounivalle.edu.co](mailto:james.montoya@correounivalle.edu.co)

## RESUMEN

En el suelo, los hongos formadores de micorrizas arbusculares ayudan a reducir los daños causados por erosión y mantener la estructura por medio de la producción de micelio y sustancias adherentes. En este estudio se evaluó la estabilidad estructural del suelo y se estimó la diversidad y densidad de esporas de micorrizas presentes en tres sistemas de suelo (erosionado, bosque y cultivo de café) en una zona rural de Dagua, Valle del Cauca. Las fincas evaluadas se clasificaron en sistemas con manejos intensivos o agroecológicos. Se observaron 25 morfoespecies de micorrizas agrupadas en 13 géneros de los cuales *Glomus* y *Entrophospora* fueron los más representativos. Los valores de los índices de los diámetros geométrico medio (DGM) y ponderado medio (DPM) y diversidad de esporas de micorrizas fueron significativamente más altos en las fincas clasificadas con manejos agroecológicos que en las de manejo intensivo. Los análisis de estabilidad de agregados revelaron que los suelos erosionados tienen significativamente menor estabilidad que los de bosque y cultivo. Hubo una relación estadísticamente significativa en la diversidad ( $r = 0,579$ ) y densidad de esporas ( $r = 0,66$ ) con respecto al DGM, y del DPM con el índice de diversidad  $H'$  ( $r = 0,54$ ). Las diferencias en las prácticas, el uso y manejo del suelo afectaron la diversidad de micorrizas encontradas en las fincas y su efecto como agente de agregación de partículas generando cambios notorios en la estabilidad y estructura del suelo de las zonas evaluadas.

*Palabras clave:* agricultura convencional, agroecología, diversidad, erosión, estabilidad de agregados, micorrizas arbusculares.

## ABSTRACT

In the soil, arbuscular mycorrhizal fungi help to reduce the damage caused by erosion and maintain soil structure through the production of mycelium and adhering substances. This study evaluated the structural stability; estimated the diversity and density of mycorrhizal spores present in three systems of soil (eroded, forest and coffee plantations) in the rural area of Dagua, Valle del Cauca. The systems evaluated were classified as farms with intensive or agroecological management. There were 25 morphospecies of mycorrhiza grouped in 13 genera which *Glomus* and *Entrophospora* were the most representative. The mean index values of meanweight (DPM) and geometric (DGM) diameters and diversity of mycorrhizal spores were statistically higher in farms with agroecological management than farms with intensive management. The aggregate stability analysis revealed that eroded soils have significantly lower stability than forest and crop soils. A statistically significant correlation was found between diversity ( $r = 0,579$ ) and spore density ( $r = 0,66$ ) regarding DGM, and DPM with Shannon diversity ( $r = 0,54$ ). Differences in practices, use and soil management affect mycorrhizal diversity found on farms and its effect such as particle aggregation agent generating remarkable changes in the stability and soil structure of evaluated areas.

*Key words:* aggregate stability, agroecology, arbuscular mycorrhizal, conventional agriculture, diversity, erosion.

## INTRODUCCIÓN

La intensificación de la agricultura convencional en los trópicos y un sinnúmero de actividades antropogénicas que causan la aceleración de los procesos erosivos debido a la deforestación, disminuyen significativamente la calidad de los suelos destinados para la agricultura debido a cambios adversos en sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Esto conlleva a efectos negativos a nivel social, ambiental, económico y aún sobre la salud humana que se reflejan en la acelerada acción de procesos erosivos debido a la deforestación y deterioro de grandes zonas (Reddy 1995, Midmore *et al.* 1996, Arshad & Martin 2002).

Con el objeto de evitar los efectos negativos causados por la agricultura intensiva, se investiga en soluciones integrales con manejos agroecológicos que reduzcan el empleo de insumos químicos y fomenten el uso racional de los recursos naturales (Reddy 1995). Algunas de estas investigaciones, enfocadas al estudio de microorganismos y su papel en la matriz edáfica (Stenberg 1999, Jaizme & Rodríguez 2008), buscan la disminución de costos de producción y la generación de efectos positivos sobre el ambiente (Martínez 2002). Entre las comunidades de microorganismos que habitan el suelo, los hongos formadores de micorrizas arbusculares (MA) se destacan como claves en garantizar la sostenibilidad del sistema suelo-planta. La simbiosis entre el hongo micorrícico y la planta puede ser utilizada como fertilizante, para solventar la carencia de nutrientes en las plantas (Azcón & Barea 1996) y participar en procesos de agregación y retención del suelo por medio de mecanismos físicos (producción de micelio) y químicos (producción de sustancias adherentes) con el fin de aliviar los efectos causados por la erosión (Morales 1996).

En el municipio de Dagua, Valle del Cauca, la intensificación agrícola sobre los cultivos de café y plátano para alcanzar rendimientos cada vez mayores han desencadenado una fuerte degradación en la calidad de los suelos. Los procesos intensivos de arado y fertilización con insumos químicos, provocan reducción en la fertilidad del suelo, disminución de las comunidades de micorrizas y un efecto negativo en las funciones ecológicas que cumplen estos organismos en la matriz edáfica, en especial la retención de agregados y prevención de la erosión (Beare *et al.* 1997).

El objetivo de este estudio fue identificar las morfoespecies de hongos micorrícicos y evaluar los índices de estabilidad estructural en suelos erosionados, parches de bosque y cultivos de café y plátano de una zona rural de Dagua, Valle del Cauca y analizar si existe relación entre el mantenimiento de

la estructura del suelo y las comunidades micorrícicas observadas en cada tipo de zona.

## MÉTODOS

El municipio de Dagua se encuentra ubicado a 828 msnm al occidente del departamento del Valle del Cauca, entre los Farallones de Cali, con temperatura promedio entre 23 y 25°C (Alcaldía de Dagua 2001). Posee formaciones vegetales en la parte alta pertenecientes al bosque húmedo subtropical (Espinal 1968). En el área rural del municipio, se seleccionaron cinco fincas, cada una de las cuales contaba con cultivos mixtos de café y plátano, suelos erosionados y parches de bosque secundario. De esta manera, se buscó comparar los tres tipos de sistemas de suelos, con cada una de estas cinco fincas como repeticiones (o réplicas) con el fin de caracterizar y comparar la diversidad de micorrizas y la estabilidad de agregados en cada tipo de suelo. Se establecieron cinco parcelas en cada uno de los tres sistemas examinados: cultivo de café y plátano (zona cultivo), suelo con alto grado de erosión (zona erosión) y fragmento de bosque sin intervención agrícola (zona bosque). Se obtuvo un total de 10 muestras (dos por parcela) por cada sistema de acuerdo al método implementado por Sieverding (1983). Se clasificaron las fincas determinando su estado agroecológico con base en el método de Altieri y Nicholls (2002) que evalúa la calidad del suelo y la salud del cultivo por medio de una serie de indicadores de sostenibilidad con valores de uno a diez (siendo uno el valor menos deseable, cinco el medio y diez el deseado) de acuerdo a las características que presente el suelo o el cultivo y los atributos a evaluar en cada indicador (Tabla 1). Luego de asignar los valores a cada indicador, se suman y dividen para obtener el promedio para la calidad del suelo y salud del cultivo. Estos dos valores se volvieron a promediar para realizar la gráfica de comparación de promedios combinados del índice de calidad de suelo y salud de cultivo. Las fincas con valores iguales a cinco se encuentran en el umbral de sostenibilidad, mientras que aquellas con promedios inferiores a cinco están por debajo de éste (denominadas en adelante como fincas con manejos intensivos) y las de promedios superiores a cinco se denominaron como fincas con manejos agroecológicos.

**Tabla 1.** Indicadores utilizados para evaluar los estimadores de calidad de suelo y salud de cultivo.

---

**CALIDAD DE SUELO**

---

**1. Estructura**

Suelos inestables o ligeramente estables (1)  
 Suelos moderadamente estables (5)  
 Suelos estables o muy estables (10)

---

**2. Color, olor y materia orgánica**

Suelo pálido, con mal olor o químico, y no se observa la presencia de materia orgánica o humus (1)  
 Suelo pardo claro o rojizo, con poco olor y con algún grado de materia orgánica o humus (5)  
 Suelo de negro o pardo oscuro, con olor a tierra fresca, se nota presencia abundante de materia orgánica y humus (10)

---

**3. Porosidad del suelo**

Suelo con porosidad baja inadecuada para cultivo (1)  
 Suelo con porosidad media (5)  
 Suelo con porosidad alta adecuada para cultivo (10)

---

**4. Cobertura de suelo**

Suelo desnudo (1)  
 Menos de 50 % del suelo cubierto por residuos, hojarasca o cubierta viva (5)  
 Más del 50 % del suelo con cobertura viva o muerta (10)

---

**5. Erosión**

Erosión severa, se nota arrastre de suelo y presencia de cárcavas y canalillos (1)  
 Erosión evidente, pero poca (5)  
 No hay mayores señales de erosión (10)

---

**6. Actividad biológica**

Sin signos de actividad biológica, no se observan lombrices o invertebrados (insectos, arañas, etc.) (1)  
 Se observan algunas lombrices y artrópodos (5)  
 Mucha actividad biológica, abundantes lombrices y artrópodos (10)

---



---

**SALUD DEL CULTIVO**

---

**7. Apariencia**

Cultivo clorótico o descolorido, con signos severos de deficiencia de nutrimentos (1)  
 Cultivo verde claro, con algunas decoloraciones (5)  
 Follaje verde intenso, sin signos de deficiencia (10)

---

**8. Control arvenses**

Controladas con químicos. Suelo con escasas arvenses (1)  
 Control moderado con químicos. Arvenses cubriendo ligeramente el suelo (5)  
 Cultivos sin control de arvenses. Arvenses con amplia cobertura del suelo (10)

---

**9. Fertilización de cultivo**

Cultivo solo con alta fertilización química (1)  
 Cultivo con fertilización química alta y fertilización orgánica moderada (5)

Cultivo con fertilización química moderada y fertilización orgánica alta (10)

---

**10. Diversidad vegetal**

Monocultivo sin sombra (1)  
 Con solo una especie de sombra (5)  
 Con más de dos especies de sombra, e incluso otros cultivos o malezas dominantes (10)

---

**11. Diversidad natural circundante**

Rodeado por otros cultivos, campos baldíos o carretera (1)  
 Rodeado al menos en un lado por vegetación natural (5)  
 Rodeado al menos en un 50 % de sus bordes por vegetación natural (10)

---

**12. Sistema de manejo**

Monocultivo convencional, manejado con agroquímicos (1)  
 En transición a orgánico, con sustitución de insumos (5)  
 Orgánico diversificado, con poco uso de insumos orgánicos o biológicos (10)

Para extraer las esporas se siguió el procedimiento de Sánchez de Práguer *et al.* (2010). Se tomaron 20 g de suelo para la extracción de esporas y 20 g más para determinar humedad del suelo. Las muestras se pasaron por tamices con tamaño de poro de 2 mm, 450 µm, 120 µm y 40 µm y se centrifugaron en una solución de sacarosa al 70% a 3600 rpm por cuatro minutos. Las esporas extraídas se montaron en portaobjetos y se preservaron con solución PVGL (Koske & Tessier 1983). El conteo de las esporas se expresó en esporas/100 g suelo seco utilizando la ecuación propuesta por Sieverding (1983):

$$\text{No. esporas} = \left( \frac{\text{esporas contadas}}{\text{peso muestra}} \right) * \frac{\text{pi}}{\text{pf}} * 100$$

Donde:

pi: peso inicial de la muestra usada para determinar humedad

pf: peso final de la muestra para determinar humedad

Las esporas se determinaron hasta morfoespecie con base en las claves taxonómicas de Sánchez de Práguer *et al.* (2010), Oehl *et al.* (2011) y Redecker *et al.* (2013). La estabilidad de agregados se evaluó con el método de Yoder (1936) descrito por Jaramillo (2001), en el cual se toma una muestra de 100 g para calcular la humedad gravimétrica y otra de 100 g que se monta en un equipo de Yoder por 15 minutos utilizando tamices de tamaño de poro de 2, 0,85, 0,5 y 0,25 mm. Luego las muestras se secan por 24 horas en un horno a 105°C. Pasado el tiempo de secado, cada muestra obtenida de cada tamiz se pesa

nuevamente para calcular el diámetro geométrico medio (DGM), diámetro ponderado medio (DPM) y estado de agregación. Éstos son los dos principales índices usados para caracterizar la distribución de tamaños de los agregados estables al agua. Por un lado el DPM expresa la relación entre el diámetro medio de una clase de tamaño dada y la fracción de peso de esta clase de tamaño respecto al peso total de la muestra. Por otra parte el DGM caracteriza la distribución de tamaño de los agregados como una distribución log-normal ya que brinda la oportunidad de describir la distribución de tamaños de agregados de muchos suelos con dos parámetros, el diámetro geométrico y la desviación log-estándar (Gardner 1956). El cálculo del DPM y DGM se obtuvo de las ecuaciones:

$$DPM = \sum_{i=1}^n \bar{x}_i \frac{w_i}{100}$$

$$DGM = \exp \left( \frac{\sum_{i=1}^n w_i \ln \bar{x}_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \right)$$

Donde:

$\bar{x}_i$ : Diámetro promedio de la fracción de tamaño correspondiente.

$w_i$ : Porcentaje de peso de la respectiva fracción de agregados de un determinado rango de tamaño dividido por 100.

Se determinó la estabilidad estructural del suelo con base en la clasificación propuesta por Guzmán y Morales (2006) donde el DPM se califica teniendo en cuenta el diámetro promedio de los agregados en mm: <0,5 suelos inestables, 0,5–1,5 ligeramente estables, 1,5–3,0 moderadamente estables, 3,0–5,0 estables y >5,0 muy estables. El estado de agregación del suelo se calculó teniendo en cuenta el porcentaje de agregados mayores a 0,05 mm y se jerarquizó en cinco clases: >90% clase uno-muy alta, 90-80% clase dos-alta, 80-35% clase tres-media, 35-25% clase cuatro-baja y <25 mm clase cinco-muy baja. Con

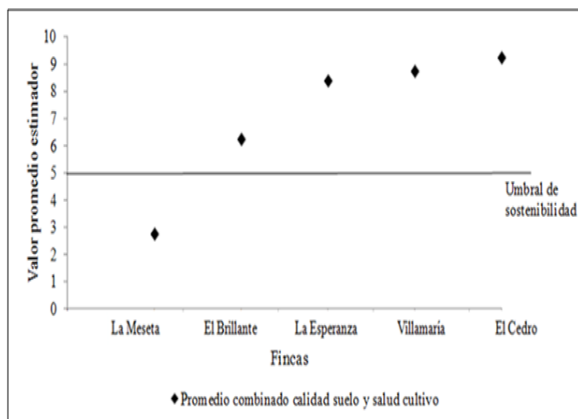
base en los datos se calculó la diversidad de esporas teniendo en cuenta los índices de Shannon ( $H'$ ) y Simpson ( $\alpha$ ). Mediante un análisis de PERMANOVA realizado con el programa PC-ORD<sup>®</sup> v5.0, se evaluaron las diferencias en la estructura de las comunidades micorrícicas presentes en los tres tipos de suelos. Se realizó la comparación gráfica de las variables evaluadas y un análisis de varianza para evaluar las diferencias en los valores de los índices de estabilidad de agregados, abundancia, riqueza y densidad de esporas de hongos formadores de micorizas en las zonas de bosque cultivado y erosión y entre fincas con diferentes manejos agrícolas usando el software Statistica<sup>®</sup> v7.0. Se evaluó la normalidad de los datos con el Test de Shapiro-Wilk y con el test de Levene la homogeneidad de varianzas. Se determinó por medio de un análisis de correlación de Spearman si la densidad de esporas y la riqueza de morfoespecies de micorizas arbusculares estaban relacionadas con el tipo de suelo de acuerdo a su estabilidad estructural.

## RESULTADOS

El método de estimación de calidad del suelo y salud del cultivo permitió definir como fincas de manejo agroecológico a El Brillante, La Esperanza, Villamaría y El Cedro, pues estas fueron las fincas con los promedios más altos en los indicadores, sobrepasando el umbral de sostenibilidad. El Cedro fue la única finca con promedios mayores a nueve (9,3 y 9,2) en calidad de suelo y salud del cultivo, respectivamente, mientras que El Brillante estuvo solamente un punto por encima del umbral de sostenibilidad (6 y 6,5), respectivamente (Tabla 2). En contraste, la finca La Meseta presentó los promedios más bajos en los dos indicadores, estando por debajo del umbral de sostenibilidad (3,2 para calidad de suelo y 2,3 para salud del cultivo) lo que sugiere un manejo agrícola intensivo (Fig. 1).

**Tabla 2.** Valores asignados a los indicadores de calidad de suelo y salud de cultivo en cafetales de la zona rural de Dagua, Valle del Cauca.

	La Meseta	El Cedro	Villamaría	La Esperanza	El Brillante
<b>Calidad del suelo</b>					
Estructura	5	8	9	9	7
Color, olor y materia orgánica	3	10	9	7	6
Porosidad del suelo	3	9	8	9	6
Cobertura de suelo	3	10	8	9	5
Erosión	3	10	9	8	6
Actividad biológica	2	9	10	9	6
<b>Promedio</b>	<b>3,2</b>	<b>9,3</b>	<b>8,8</b>	<b>8,3</b>	<b>6</b>
<b>Salud del cultivo</b>					
Apariencia	5	9	9	9	7
Control arvenses	3	10	8	8	6
Fertilización de cultivo	1	9	8	8	5
Diversidad vegetal	2	9	9	8	7
Diversidad natural circundante	2	9	10	10	7
Sistema de manejo	1	9	8	8	7
<b>Promedio</b>	<b>2,3</b>	<b>9,2</b>	<b>8,7</b>	<b>8,5</b>	<b>6,5</b>



**Figura 1.** Comparación de promedios combinados de los índices de calidad de suelo y salud del cultivo de las fincas evaluadas en la zona rural de Dagua, Valle del Cauca.

Se identificaron 25 morfoespecies de esporas de MA pertenecientes a 13 géneros, de los cuales *Glomus* y *Entrophospora* presentaron las mayores abundancias con 62 y 19 individuos en zonas de cultivo, respectivamente (Tabla 3). Se observaron un total de 23 morfoespecies de MA en las zonas de cultivo, 12

en bosque y solo seis en suelo erosionado (Tabla 4). Según el índice de Shannon la diversidad más alta de

MA entre las zonas se observó en suelos de cultivo (2,19), seguido de suelo de bosque (1,97) y la menor se observó en suelo erosionado (1,79). Con respecto a los índices de Simpson, éstos fueron muy similares entre sí con valores de 0,19 para zonas de cultivo y bosque y 0,16 para zonas erosionadas, manifestando bajos niveles de dominancia entre morfoespecies. También se presentaron diferencias entre los índices de diversidad de las fincas descritas con manejos agroecológicos y las que presentaban manejos agrícolas intensivos, como es el caso de La Meseta, la cual no tuvo registro de esporas de micorrizas arbusculares en su zona de cultivo en comparación con El Cedro, La Esperanza, Villamaría y El Brillante que obtuvieron valores para el índice de Shannon de 2,37, 1,5, 1,32 y 1,04, respectivamente (Tabla 5). Con respecto a las zonas de bosque de cada finca, El Cedro y La Meseta presentaron siete morfoespecies, siendo el número más alto de éstas en comparación con el resto de fincas; cinco morfoespecies en La Esperanza, una en la zona de bosque de Villamaría y ningún registro en la zona de bosque de El Brillante.

**Tabla 3.** Listado de morfoespecies de micorrizas arbusculares observadas por finca, en la zona rural de Dagua, Valle del Cauca.

Morfoespecies	Fincas				
	Brillante	Cedro	Esperanza	Meseta	Villamaría
<i>Acaulospora</i> sp.1	1	7	2		
<i>Acaulospora</i> sp.2			4		
<i>Acaulospora</i> sp.3		3			
<i>Ambispora</i> sp.1		7		1	
<i>Ambispora</i> sp.2		1		1	
<i>Diversispora</i> sp.1		8	2		1
<i>Diversispora</i> sp.2		1			
<i>Entrophospora</i> sp.1		25	2	4	2
<i>Entrophospora</i> sp.2				1	
<i>Funneliformis</i> sp.1	1	1			
<i>Gigaspora</i> sp.1	1	3	1		
<i>Gigaspora</i> sp.2			1		5
<i>Glomus</i> sp.1	2	25	13	1	32
<i>Glomus</i> sp.2		2	1		
<i>Glomus</i> sp.3		2			
<i>Glomus</i> sp.4		1		1	
<i>Glomus</i> sp.5					1
<i>Glomus</i> sp.6					2
<i>Pacispora</i> sp.1		9		1	7
<i>Pacispora</i> sp.2			2		1
<i>Paraglomus</i> sp.1		1			
<i>Racocetra</i> sp.1		1			
<i>Redeckera</i> sp.1		2			
<i>Sacullospora</i> sp.1		1			
<i>Scutellospora</i> sp.1		1			1

**Tabla 4.** Listado de morfoespecies micorrizas arbusculares observadas por zona en las fincas muestreadas de la zona rural de Dagua, Valle del Cauca

Morfoespecies	Zonas		
	Cultivo	Bosque	Erosión
<i>Acaulospora</i> sp.1	9	1	
<i>Acaulospora</i> sp.2	3	1	
<i>Acaulospora</i> sp.3	3		
<i>Ambispora</i> sp.1	5	3	
<i>Ambispora</i> sp.2	1	1	
<i>Diversispora</i> sp.1	6	4	1
<i>Diversispora</i> sp.2	1		
<i>Entrophospora</i> sp.1	19	12	1
<i>Entrophospora</i> sp.2		1	
<i>Funneliformis</i> sp.1	1		1
<i>Gigaspora</i> sp.1	8	1	1
<i>Gigaspora</i> sp.2			1
<i>Glomus</i> sp.1	62	1	1
<i>Glomus</i> sp.2	3		
<i>Glomus</i> sp.3	2		
<i>Glomus</i> sp.4	1	1	
<i>Glomus</i> sp.5	1		
<i>Glomus</i> sp.6	2		
<i>Pacispora</i> sp.1	17	2	
<i>Pacispora</i> sp.2	1		
<i>Paraglomus</i> sp.1	1		
<i>Racocetra</i> sp.1	1		
<i>Redeckera</i> sp.1	1	1	
<i>Sacullospora</i> sp.1	1		
<i>Scutellospora</i> sp.1	2		

**Tabla 5.** Índices de Simpson, Shannon y densidad de esporas de micorrizas arbusculares en 100 g de suelo seco; valores de índices de estabilidad estructural y estados de agregación por finca dividida según su manejo agrícola de la zona rural de Dagua, Valle del Cauca.

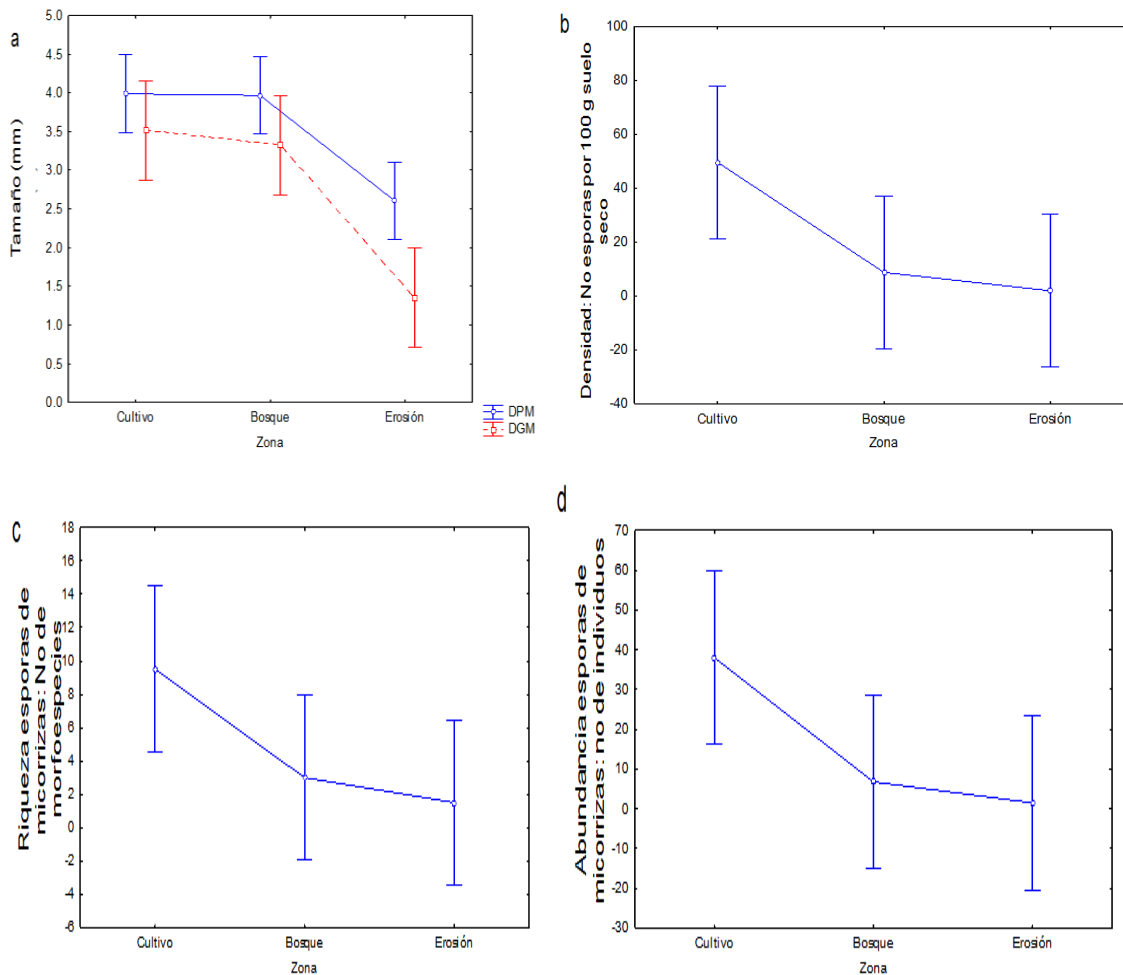
Finca	Zona	Simpson D	Shannon H'	Densidad esporas	DPM	DGM	Estabilidad estructural	Estado de agregación	Clase
<b>Manejo agroecológico</b>									
El Brillante									
	Cultivo	0,375	1,4	6,71	3,936	3,197	Estable	Muy alta	1
	Bosque	0	0	0	4,24	3,634	Estable	Muy alta	1
	Erosión	1	0	1,43	2,58	1,637	Moderadamente estable	Media	3
El Cedro									
	Cultivo	0,1333	2,373	13,4	3,498	3,28	Estable	Muy alta	2
	Bosque	0,2397	1,633	27,8	3,461	2,553	Estable	Muy alta	1
	Erosión	0,3333	1,99	3,57	2,664	1,92	Moderadamente estable	Muy alta	1
La Esperanza									
	Cultivo	0,3197	1,5	31,92	3,961	3,225	Estable	Muy alta	1
	Bosque	0,28	1,332	6,9	3,57	2,858	Estable	Muy alta	1
	Erosión	0,5	0,6931	2,7	2,815	1,116	Moderadamente estable	Muy alta	1
Villamaría									
	Cultivo	0,4176	1,322	56,23	4,656	4,335	Estable	Muy alta	1
	Bosque	1	0	1,8	4,599	4,249	Estable	Muy alta	1
	Erosión	0	0	0	2,433	1,558	Moderadamente estable	Muy alta	1
<b>Manejo agrícola intensivo</b>									
La Meseta									
	Cultivo	0	0	0	2,815	1,936	Moderadamente estable	Muy alta	1
	Bosque	0,22	1,748	11,55	1,713	1,7	Moderadamente estable	Alta	2
	Erosión	0	0	0	2,43	1,554	Moderadamente estable	Media	3



La densidad de esporas de MA fue significativamente mayor en las zonas de cultivo con un promedio de 39,65 esporas por 100 g de suelo, en bosque de 9,3 y en suelo erosionado que presentó la menor densidad con 1,54 esporas por 100 g de suelo. Las zonas de cultivo de las fincas con manejos agroecológicos tuvieron los valores más altos de densidad de esporas, siendo el más alto el de la finca El Cedro (103,4), seguida por Villamaría (56,3), La Esperanza (31,9) y por último El Brillante con la densidad más baja de las fincas con manejo agroecológico con 6,7 esporas por 100 g de suelo. En las zonas de bosque, la mayor densidad se observó en El Cedro con 27,8 esporas por 100 g de suelo y la menor en El Brillante y Villamaría, en las cuales no hubo presencia de esporas de micorrizas arbusculares, mientras que en los suelos erosionados, las densidades de esporas no sobrepasaron de 3,5, siendo este el mayor registro para El Cedro y los menores para La Meseta y

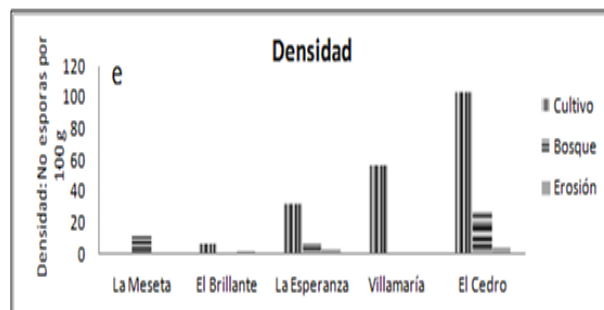
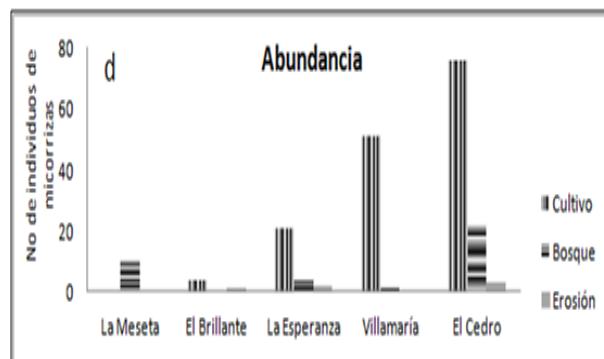
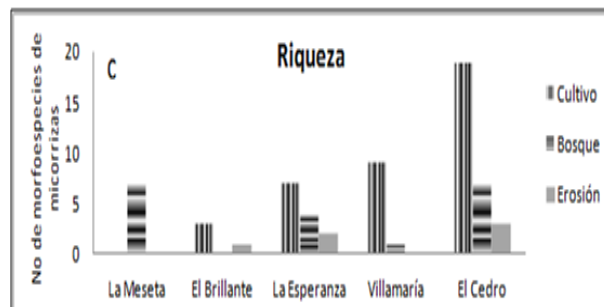
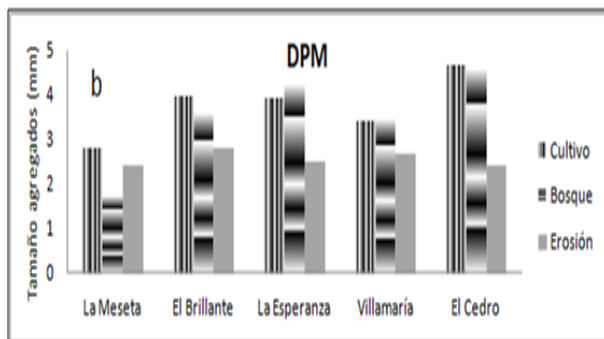
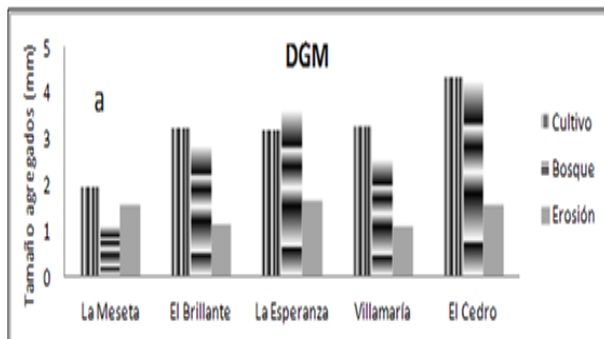
Villamaría en las cuales no se observaron esporas de micorrizas arbusculares (Tabla 5).

Se observaron diferencias significativas en los valores de los índices de estabilidad de agregados DPM ( $P = 0,023$ ), DGM ( $P = 0,0007$ ) y densidad de esporas de micorrizas ( $P = 0,0231$ ) entre las zonas de cultivo, bosque y erosión. Por medio del análisis de post ANOVA de Tukey se observó que los índices de estabilidad de agregados fueron más altos en las zonas de cultivo ( $P = 0,0044$  DPM y  $0,0013$  DGM) y bosque ( $P = 0,0048$  DPM y  $0,0002$  DGM) que en los suelos erosionados (Fig. 2a, 2b). Por otro lado, no hubo diferencias significativas en los valores de abundancia y riqueza de esporas entre las zonas de cultivo, bosque y erosión ( $P = 0,0656$  y  $0,0529$ ), sin embargo se observó que son mucho mayores en las zonas de cultivo y tienen a disminuir en las zonas de bosque y suelo erosionado (Fig. 2c, 2d). En general, los valores de los indicadores tendieron a ser mayores en la zona de cultivo que en los suelos erosionados.



**Figura 2.** Valores de los índices de estabilidad DPM y DGM (a), densidad de esporas (b), riqueza (c) y abundancia (d) entre las zonas de cultivo, bosque erosión de las fincas evaluadas en la zona rural de Dagua, Valle del Cauca.

Por medio de la comparación gráfica de las variables entre las fincas con manejos agrícolas intensivos y agroecológicos se observó que los índices de estabilidad de agregados, la densidad, riqueza y abundancia de esporas de micorrizas aumentaban proporcionalmente al estado agrícola de las fincas. Por consiguiente, la finca La Meseta presentaba los valores más bajos en las variables mientras que El Cedro presentaba los más altos (Fig. 3a, 3b, 3c, 3d, 3e). Las fincas con manejos agroecológicos, tuvieron un patrón de decrecimiento sobre los índices de agregación de suelos, riqueza y densidad de esporas de micorrizas arbusculares en las zonas de cultivo, bosque y erosión, respectivamente ( $P = 0,0356$ ) (Fig. 4). De acuerdo con la calificación de estabilidad estructural de suelos de Guzmán & Morales (2006), el 53,33% de las zonas muestreadas corresponde a suelos estables y el 46,67% restante a moderadamente estables. En estos suelos moderadamente estables se incluyeron todas las zonas erosionadas además de las zonas de bosque y cultivo de la finca la Meseta (Tabla 5).

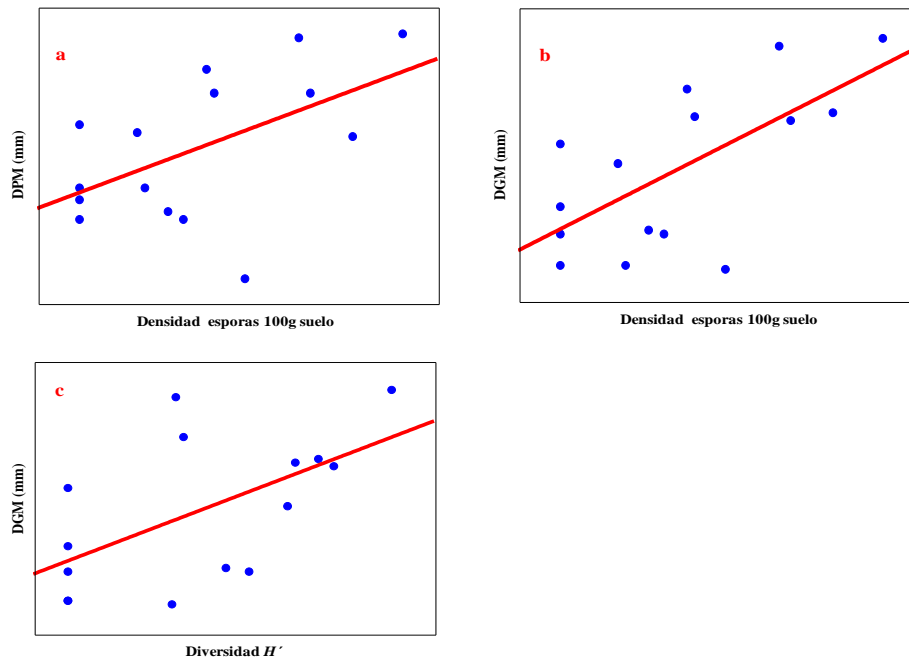


**Figura 3.** Comparación gráfica de índices de estabilidad DPM (a), DGM (b), riqueza (c), abundancia (d) y densidad (e) de esporas de micorrizas de acuerdo a su estado agroecológico en las fincas evaluadas de la zona rural de Dagua, Valle del Cauca.

La variable de estabilidad estructural DGM presentó relación estadísticamente significativa con respecto a la diversidad ( $r = 0,579$ ;  $P = 0,023$ ) y densidad de esporas de micorrizas arbusculares ( $r = 0,66$ ;  $P = 0,007$ ). Por otro lado el DPM también presentó relación significativa con la densidad de esporas de hongos micorrícicos ( $r = 0,54$ ;  $P = 0,038$ ). Con este análisis se observó que las variables de estabilidad de agregados aumentaban proporcionalmente a medida que lo hacían la densidad o la diversidad de esporas de micorrizas arbusculares evaluadas en los suelos de

las fincas (Fig. 5a, 5b, 5c). Por otro lado, el análisis de PERMANOVA no detectó diferencias estadísticamente significativas en la estructura de las

comunidades de especies de esporas de hongos formadores de micorrizas entre los sistemas ( $P=0,315$ ).



**Figura 4.** Graficas de correlaciones significativas entre Densidad de esporas por 100 g de suelo y DPM (a) y DGM (b) e índice de diversidad de Shannon y DGM (c).

## DISCUSIÓN

Generalmente, las fincas que presentan manejos agrícolas intensivos, como en el caso de La Meseta, pueden alterar profundamente las funciones de regulación biológica como la descomposición, transformación y disponibilidad de nutrientes del suelo, al disminuir las comunidades de organismos que cumplen naturalmente dichas funciones y que son reemplazados por el uso de fertilizantes químicos y técnicas mecanizadas de arado. Es notorio que en dicha finca todos los sistemas, incluyendo la vegetación natural de la zona de bosque mostraran claros signos de deterioro del suelo sugiriendo que el efecto de un manejo agresivo permea a los diferentes sistemas dentro de la misma finca. Cuando disminuyen las funciones biológicas en los suelos ocurren consecuencias negativas, como el incremento de la erosión, baja fertilidad del suelo y reducción de la biodiversidad (Matson *et al.* 1997). Por otro lado, este estudio encontró que las fincas que soportan algún tipo de manejo agroecológico, como (El Cedro, El Brillante, La Esperanza y Villamaría) fueron más eficaces en las labores de conservación del suelo, posiblemente debido a que no se altera drásticamente las funciones biológicas que se llevan a cabo en la matriz edáfica (Giller *et al.* 1996).

De los 13 géneros de micorrizas, los más frecuentes fueron *Acaulospora* y *Glomus* con tres y seis morfoespecies, respectivamente, aunque se esperaba que *Glomus* fuese el más representativo dado que tiene el mayor número de especies en los Glomeromycetos y tienden a sobrevivir tanto en ambientes sanos como perturbados (Oehl *et al.* 2004, 2011). Los géneros *Glomus*, *Diversispora*, *Acaulospora*, *Entrophospora*, *Scutellospora* habían sido reportados en trabajos anteriores en cafetales y cultivos de plátano siendo *Glomus* y *Acaulospora* los más abundantes (Sánchez de Práguer 1999, Bolaños *et al.* 2000, Usuga *et al.* 2008, Posada 2011). Cabe resaltar que los hongos del género *Entrophospora* pertenecientes a la familia Entrophosporacea se encuentran actualmente en una posición taxonómica incierta según el consenso actual de clasificación de hongos micorrícicos arbusculares y está a la espera de evidencia que esclarezca su posición en taxonomía actual (Redecker *et al.* 2013).

Al igual que en otras investigaciones (Helgason *et al.* 1998), en este estudio la diversidad de esporas de MA en las fincas con manejo agroecológico fue más alta en las zonas de cultivo que en las de bosque. Debido a que en las zonas de cultivo de las fincas con manejos agroecológicos se llevan a cabo prácticas de poco arado y reducida aplicación de insumos

químicos, entre ellos fungicidas, es posible que se puedan establecer más fácilmente altas densidades y riqueza de esporas de micorrizas arbusculares (Guadamarrá & Álvarez 1999, Andrade *et al.* 2009). Por otro lado, las diferencias ambientales también son factores importantes que determinan la abundancia de esporas de MA en estos sistemas. Se conoce que a mayor temperatura y luminosidad sobre los suelos se incrementa la producción de esporas de MA (Guadamarrá & Álvarez 1999). Dado que en las zonas de cultivo de café se produce poca sombra arbórea con respecto a los bosques, existe un aumento en la temperatura y las condiciones de luz directamente sobre estos suelos que permiten que más esporas se reproduzcan en dichas zonas cultivables (Cardoso *et al.* 2003). Adicional, la rápida degradación de las zonas de bosque generada por la ampliación de la frontera agrícola, sumado a los efectos perjudiciales e indirectos que resultan de la actividad agrícola (Bethlenfalvay 1993) que permea sus agrotóxicos y lixiviados hacia los parches de vegetación natural, podrían estar ocasionando una disminución en la diversidad y abundancia de las esporas de micorrizas en las zonas de bosques. Una explicación alternativa es que el ser humano utiliza los suelos óptimos para cultivar mientras que permite los bosques en suelos marginales, pudiendo explicar los resultados obtenidos (Pimentel *et al.* 1992). Por otra parte, la baja abundancia y diversidad de esporas hallada en suelos erosionados es un resultado razonable y estuvo acorde a lo predicho por la teoría (Munyanziza *et al.* 1997).

Las diferencias en la densidad, diversidad y abundancia de esporas de micorrizas arbusculares entre las fincas con manejos intensivos y agroecológicos, pueden ligarse a un sinnúmero de factores, tales como el disturbio en la red de hifas, el rompimiento de las delgadas paredes celulares de las esporas, los cambios en el contenido de nutrientes y la alteración en la actividad microbiana del suelo, además del estrés causado a los hongos por la pérdida progresiva de materia orgánica, que deja como consecuencia la generación de procesos erosivos en los suelos (Bethlenfalvay 1993, Oehl *et al.* 2003). Las diferencias observadas en los valores de los índices de estabilidad de suelos y de diversidad de micorrizas arbusculares en las zonas de cultivo de las fincas con determinado manejo agrícola, se ven influenciadas por las diferencias en el manejo de los cultivos, los cuales pueden causar alteraciones en las propiedades del suelo en diferentes magnitudes (Osorio 2009). Por lo tanto, en la finca La Meseta, los manejos agrícolas intensivos registrados a través del indicador de manejo y sostenibilidad agroecológica, pueden estar causando alteraciones con una disminución en el tamaño medio de los agregados y, por ende, la

estabilidad de éstos. En dicha finca, el tamaño medio de agregados se registró en 2,8 mm para DPM y 1,9 mm para DGM, cuando el tamaño óptimo de agregados en suelos de cultivo debe estar alrededor de los 3 mm (Jaramillo 2001). En contraste, las fincas que presentaron algún tipo de manejo agroecológico registraron valores en los índices de estabilidad de agregados por encima de los tres milímetros en las zonas de cultivo, lo que destaca una mayor estabilidad y manejos agrícolas que causan un menor impacto negativo sobre el suelo. De acuerdo al indicador de manejo y sostenibilidad agrícola, estas fincas se distinguieron por presentar un uso menos frecuente de fertilizantes químicos, fungicidas y herbicidas, que a su vez fueron sustituidos por abonos orgánicos, amplia cobertura vegetal e indirectamente abundante materia orgánica (Pérez 1992). Como resultado de los manejos agroecológicos de estas fincas, se mantuvo la diversidad de micorrizas en las zonas de cultivo muy por encima de la finca con manejo agrícola intensivo (Fig. 2).

La diferencia significativa de los valores de los índices evaluados (DPM y DGM, diversidad y densidad de esporas) en los suelos de las zonas de cultivo y zonas erosionadas en las fincas que presentaron algún tipo de manejo agroecológico, pueden explicarse principalmente debido a las características de las prácticas agroecológicas que se realizan en las zonas de cultivo; estas características permiten que se establezca abundante cobertura vegetal en comparación con las zonas erosionadas que es muy reducida o completamente escasa, permitiendo que la microbiota contenida en el suelo genere un mayor contenido de materia orgánica y desarrolle una estructura de agregados porosos de forma redondeada, típica de los horizontes A, denominada estructura migajosa, la cual brinda una mayor estabilidad al suelo (Jaramillo 2001). Generalmente los suelos dependen en gran medida del material orgánico para mantener la estabilidad estructural, por lo tanto la pérdida de la capa orgánica del suelo puede generar una reducción en los agregados de 0,25 a 2 mm de diámetro, los cuales se encargan de brindar mayor estabilidad al suelo (Wilson *et al.* 2009). En las zonas erosionadas se observó escasa cobertura vegetal, al igual que pocos agentes aglutinantes temporales como raíces y redes de micelios micorrícicos sobre el suelo que proporcionan materia orgánica y sirven para estabilizar notoriamente los agregados (Tisdall & Oades 1982).

Los suelos de la zona boscosa presentaron similitudes en el estado de agregación y estabilidad de agregados con los suelos de la zona de cultivo. Esta similitud se debe a que, al igual que en los bosques, en las plantaciones cafeteras existen bajas o nulas prácticas

de arado que favorece la permanencia de un alto porcentaje de macroagregados estables, lo cual indica una posición de poco disturbio en estos suelos, en especial en las redes de micelios y raíces (Verbruggen & Kiers 2010).

Las ligeras relaciones significativas encontradas entre las variables de estabilidad de agregados, la densidad y diversidad de esporas de micorrizas sugieren que las comunidades de micorrizas pueden influenciar la agregación del suelo en diferentes escalas (Rilling & Mummey 2006). En primer lugar los productos bioquímicos secretados por las micorrizas han sido descritos como un mecanismo importante en la agregación del suelo, entre ellos la glomalina, proteína fúngica que actúa como agente aglutinante formando cadenas de pequeñas bolsas pegajosas ("sticking string bags") secretadas por las hifas logrando estabilizar los agregados (Rilling & Steinberg 2002). Además de la glomalina, otros compuestos presentes en las micorrizas como los polisacáridos, mucílagos y hidrofobinas y demás compuestos extracelulares podrían tener algún rol funcional en la estabilidad de agregados (Rilling & Steinberg 2002, Lugones *et al.* 2004). Por otro lado, el crecimiento de amplias redes de micelio de diferentes especies de hongos micorrícicos debidas a una alta densidad de esporas, generan acción mecánica directamente sobre la materia orgánica del suelo juntando partículas pequeñas que se enlazan con hifas y residuos vegetales que a su vez forman agregados. Conforme estos agregados aumentan en tamaño, la contribución de las micorrizas incrementa en su importancia (Cardoso *et al.* 2003). Entretanto, la poca cantidad de materia orgánica, como en el caso de las zonas erosionadas, se constituye en un factor desfavorable que impide el mantenimiento de comunidades de hongos formadores de micorrizas y por ende de la estabilidad de agregados que mantendrían en condiciones óptimas la estructura del suelo. Las elevadas abundancias de morfoespecies de *Glomus* y *Entrophospora*, las cuales son independientes del grado de disturbio o tipo de uso del suelo pueden haber sido un factor determinante para no encontrar diferencias significativas en la estructura de las comunidades de especies de esporas de micorrizas (Muleta *et al.* 2008). Por otro lado las diferencias entre las abundancias y riquezas de morfoespecies en las zonas de cultivos, las cuales

alcanzaban 50 a 70 individuos y 10 a 19 morfoespecies, valores muy por encima de los valores de las zonas erosionadas que en algunos casos no lograban tener ninguna morfoespecie o alcanzaban un máximo de 20 individuos y siete morfoespecies. Además, varias zonas erosionadas no tuvieron registros de micorrizas, y las que sí tuvieron en su mayoría fueron morfoespecies de *Glomus*, lo que impidió generar un soporte sólido para el análisis realizado.

En conclusión, los resultados del presente estudio muestran que los manejos agrícolas que se implementan en cada finca pueden jugar un papel determinante para mantener altas densidades y diversidades de esporas de micorrizas que, a su vez, generan una elevada producción de hifas y redes de micelio que ayudan a la retención de los agregados y al mantenimiento de la estructura del suelo. Además, la alta correlación demostrada en este estudio entre estructura de suelo y densidad de esporas micorrícicas indica que las micorrizas tienen un papel fundamental al participar activamente de los procesos de agregación y mantenimiento de materia orgánica que proporcionan la estabilidad necesaria al suelo para prevenir los procesos erosivos.

## AGRADECIMIENTOS

A los propietarios de las fincas en la zona rural de Dagua donde permitieron realizar este estudio; al profesor Raúl Posada de la Universidad Minuto de Dios en Bogotá, por las bases y el conocimiento brindado para la identificación taxonómica de las esporas de micorrizas; a Edier Soto por el asesoramiento en los análisis estadísticos; al Laboratorio de Aguas y Suelos Agrícolas LASA de la Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente EIDENAR y el laboratorio de Biología de la Universidad del Valle por facilitar sus equipos; a la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad del Valle a través del proyecto "Estrategias agroecológicas para la sostenibilidad y adaptación a la variabilidad y el cambio climático en la cuenca alta del río Dagua"; al grupo de Ecología en Agroecosistemas y Hábitats Naturales GEAHNA.

## LITERATURA CITADA

- Alcaldía de Dagua (2001), *Plan básico de ordenamiento territorial PBOT 2001-2009*, Alcaldía de Dagua, municipio de Dagua, Valle del Cauca, disponible en: <http://cdim.esap.edu.co> (Visitado 24 febrero 2013).
- Altieri, M.A. & Nicholls, C.I. (2002), "Un método agroecológico rápido para la evaluación de la sostenibilidad de cafetales", *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*, Vol. 64, pp. 17-24.
- Andrade, S., Mazzafera, P., Schiavinato, M.A. & Silveira, A.P. (2009), "Arbuscular mycorrhizal association in coffee", *Journal of Agricultural Science*, Vol. 147, pp. 105–115.
- Arshad, M.A. & S. Martin, (2002), "Identifying critical limits for soil quality indicators in agroecosystems", *Agriculture Ecosystems & Environment*, Vol. 88, pp.153–160.
- Azcón, C. & J Barea .M. (1996), "Arbuscular mycorrhizal and biological control of soil-borne plant pathogens: an overview of the mechanisms involved", *Mycorrhiza*, Vol. 6, pp. 457 – 464.
- Beare, M.H., Vikram, M., Tiam G., & Srivastava , S.C. (1997), "Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function in the tropics: the role of decomposer biota", *Applied Soil Ecology*, Vol. 6, pp. 87 – 108.
- Bethlenfalvay, G.J. (1993), "The mycorrhizal plant-soil system in sustainable agriculture", in Ferrera, C. & Quintero, R.L (Eds.), *Agroecología, sostenibilidad y educación*, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México, pp. 127-137.
- Bolaños, B.M.M., Rivillas, C.A. & Vásquez, S.S. (2000), "Identificación de micorrizas arbusculares en suelos de la zona cafetera Colombiana", *Cenicafé*, Vol. 51, pp. 245-262.
- Cardoso, I., Boddintong, Janssen, C., Oenema, B.H.O. & Kuyper, T.W. (2003), "Distribution of mycorrhizal fungal spores in soils under agroforestry and monocultural coffee systems in Brazil", *Agroforestry Systems*, Vol. 58, pp. 33-43.
- Espinal, L.S. (1968), *Visión ecológica del departamento del Valle del Cauca*, Ed. Corporación autónoma regional del Cauca (C.V.C) y el ministerio de Agricultura, Cali, Colombia.
- Gardner, W.R. (1956), "Representation of soil aggregate size distribution by a logarithmic-normal distribution", *Soil Science Society of America*, Vol. 20, 151-153.
- Guadamarra, P. & Álvarez, S.F.J. (1999), "Abundance of arbuscular mycorrhizal fungi spores in different environments in a tropical rain forest, Veracruz, México", *Mycorrhiza*, Vol. 8, pp. 267-270.
- Guzmán, I. & Morales, E. (2006), *Métodos analíticos de laboratorio de suelos*, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Sexta edición, Bogotá, Colombia.
- Helgason, T., Daniell, T.J., Fitter, A.H. & Young, J.P. (1998), "Ploughing up the wood-wide web?", *Nature*, Vol. 394, pp. 431.
- Jaizme, V.M.C. & Rodríguez A.S.R. (2008), "Integración de microorganismos benéficos (hongos micorrízicos y bacterias rizosféricas) en agrosistemas de las Islas Canarias", *Agroecología*, Vol. 3, pp. 33-39.
- Jaramillo, J. D. (2001), *Introducción a la Ciencia del Suelo*, Facultad de Ciencias, Medellín, Universidad Nacional de Colombia.
- Koske, R.E. & Tessier, B. (1983), "A convenient, permanent slide mounting medium", *Micological Society of America*, Vol. 34 No.2, pp. 59.
- Lugones, L.G., De Jong, J.F. De Vries, O.H.M, Jalving, R.D.J. & Wösten HAB, (2004), "The SC15 protein of *Schizophyllum commune* mediates formation of aerial hyphae and attachment in the absence of the SC3 hydrophobin", *Molecular Microbiology*, Vol. 53, pp. 707-716.
- Martínez, M.M. (2002), *Agricultura Biológica*, 1<sup>ra</sup> ed., Facultad de Ciencias Agrarias Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Bogotá, Colombia.
- Matson, P.A., Parton, W.J. Power, A.G. & Swift M.J. (1997), "Agricultural intensification and ecosystem properties", *Science*, Vol. 277 No. 5325, pp. 504-509.
- Midmore, D.J., Jansen, H.G.P. & Dumpsay, R.G. (1996), "Soil erosion and environmental impact of vegetable production in the Cameron Highlands, Malaysia", *Agriculture, Ecosystems and Enviroment*, Vol. 60, pp. 29-46.
- Morales, S.M. (1996), "Efecto de los microorganismos sobre la estabilidad mecánica del suelo", *Organization for Tropical Studies*, Vol. 3, pp. 217-221.
- Muleta, D., Assefa, F., Nemomissa, S. & Granhall, U. (2008), "Distribution of arbuscular mycorrhizal fungi spores in soils of smallholder agroforestry and monocultutal coffe systems in southwestern Ethiopia", *Biology and fertility of soils*, Vol. 44, pp. 653-659.

- Munyanziza, E., Kehri, H.K. & Bagyaraj, D.J. (1997), "Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function in the tropics: the role of mycorrhiza on crops and trees", *Applied soil ecology*, Vol. 6 pp. 77-85.
- Oehl, F., Sieverding, E., Ineichen, K., Mäder, P., Boller, T. & Wiemkem A. (2003), "Impact of land use intensity on the species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in agroecosystems of Central Europe", *Applied and environmental microbiology*, pp. 2816-28224.
- Oehl, F., Sieverding, E., Mäder, P., Dubois, D., Ineichen, K., Boller, T. & Wiemke, A. (2004), "Impact of long-term conventional and organic farming on the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi", *Ecosystem Ecology*, Vol. 138 No. 4, pp. 574-583.
- Oehl, F., Sieverding, E., Palenzuela J., Ineichen, K. & Da Silva, G.A. (2011), "Advances in Glomeromycota taxonomy and classification", *Imafungus*, Vol. 2 No. 2, pp. 191-199.
- Osorio, I. R. (2009), *Generación de la línea base de indicadores para el monitoreo de calidad de suelos en el área de influencia del distrito de riego del Alto Chicamocha*, Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Pérez, A.J. (1992), *Estudio de la estabilidad estructural del suelo en relación con el complejo de cambio (comportamiento de algunos suelos característicos españoles)*, Tesis de doctorado, Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España.
- Pimentel, D. & Kounang, N. (1998), "Ecology of soil erosion in ecosystems", *Ecosystems*, Vol. 1 No. 5, pp. 416-426.
- Posada, R. (2011), *Comunidades de hongos de micorriza arbuscular y hongos solubilizadores de fósforo en cultivos de café (Coffea arabica L.) Bajo diferentes tipos de manejo*, Tesis de doctorado, Instituto de Ecología Xalapa, México.
- Redecker, D., Shübler, A., Stockinger, H., Stürmer, L.S., Morton, J.B. & Walker, C. (2013), "An evidence-based consensus for the classification of arbuscular mycorrhizal fungi (*Glomeromycota*)", *Mycorrhiza*, Vol. 23 No. 7, pp. 515-531.
- Reddy, M.V. (1995), "Soil organisms and litter decomposition in the tropics", Westview Press Inc, Michigan, EEUU.
- Rilling, M.C. & Mummey, D.L. (2006), "Mycorrhizas and soil structure", *New Phytologist*, Vol. 171 No. 1, pp. 41-53.
- Rilling, M.C. & Steinberg P.D. (2002), "Glomalin production by an arbuscular mycorrhizal fungus: a mechanism of habitat modification", *Soil Biology and Biochemistry*, Vol. 34, pp. 1371-1374.
- Sánchez De Práguer, M. (1999), *Endomicorrizas en agroecosistemas Colombianos*, Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Valle del Cauca.
- Sánchez De Práguer, M., Posada, R.A., Velázquez, D.P. & Narváez, M.C. (2010), *Metodologías básicas para el trabajo con micorriza arbuscular y hongos formadores de micorriza arbuscular*, 1<sup>ra</sup> ed, Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, Valle del Cauca.
- Schübler, A., Schwarzott, D. & Walker, C. (2001), "A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution", *Mycological Research* Vol. 105, pp. 1413-1421.
- Sieverding, E. (1983), *Manual de métodos para la investigación de la micorriza vesículo-arbuscular en el laboratorio*, Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT, Palmira, Valle del Cauca.
- Stenberg, B. (1999), "Monitoring soil quality of arable land: microbiological indicators", *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science*, Vol. 49, pp. 1-24.
- Tisdall, J.M. & Oades, J.M. (1982), "Organic matter and water-stable aggregates in soils", *Journal of Soil Science*, Vol. 33, pp. 14-163.
- Usuga, C., Castañeda, D. & Molano, A.E. 2008, "Multiplicación de hongos micorriza arbuscular (H.M.A) y efecto de la micorrización en plantas micropropagadas de banano (*Musa AAA cv. Gran Enano*) (Musaceae)", *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, Vol. 61 No. 1, pp. 4279 - 4290.
- Verbruggen, E. & Kiers, E.T. (2010), "Evolutionary ecology of mycorrhizal functional diversity in agricultural systems", *Evolutionary Applications*, Vol. 3, pp. 547-560.
- Wilson, W.T., Rice, C.W., Rilling, M.C., Springer, A. & Harnett, D.C. (2009), "Soil aggregation and carbon sequestration are tightly correlated with the abundance of arbuscular mycorrhizal fungi: results from long-term field experiments", *Ecology Letters*, Vol. 12 pp. 452-461.
- Yoder, R.E. (1936), "A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses", *Journal of American Society of Agronomy*, Vol. 28, pp.337-351.