

## Micorrizas arbusculares asociadas con yarumo, carambolo y uña de gato en suelos de Macedonia, Amazonas

### Arbuscular mycorrhizae associated with yarumo, carambola and cat's claw on soils of Macedonia, Amazonas

Lina Paola Garzón Garzón

Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Correo electrónico: lina.garzong@hotmail.com

#### RESUMEN

La Amazonía colombiana se caracteriza por presentar suelos con baja fertilidad y alta acidez; esto ha hecho que las micorrizas tengan una relación obligada para el crecimiento de poblaciones vegetales, convirtiéndolas en una herramienta útil para la agricultura sostenible. Debido a esto, se analizó la presencia de micorrizas arbusculares asociadas con las plantas medicinales de yarumo, carambolo y uña de gato en el Resguardo Indígena de Macedonia, Amazonas. A partir de la recolección de 34 muestras, se llevaron a cabo técnicas para la extracción de esporas y su posterior clasificación morfológica, así como para la tinción de raíces y la medición de la colonización micorrízica. De forma simultánea, se realizaron pruebas fisicoquímicas para determinar el fósforo disponible y pH. En el territorio se determinaron cuatro unidades cartográficas (LBd, Lac, LLb y LMa), con suelos de tipo Ultisol, Inceptisol, Oxisol y Entisol. La mayor abundancia de esporas se encontró en el yarumo (668), seguido de la uña de gato (504) y el carambolo (477), en donde se destacaron los morfotipos de los géneros *Glomus*, *Acaulospora*, *Gigaspora*, *Scutellospora*, *Entrophospora* y *Archaeospora*. Todas las raíces de las plantas evaluadas reportaron una colonización promedio que osciló entre 34 y 45%, con un mayor porcentaje de colonización de vesículas en comparación con el de arbusculos. Se determinó que hay una relación inversa entre porcentaje de colonización micorrízica y fósforo disponible para las tres plantas medicinales, con una correlación media en las muestras de carambolo y una significativa para la uña de gato y el yarumo.

**Palabras clave:** *Cecropia sciadophylla*, *Averrhoa carambola*, *Uncaria tomentosa*, plantas medicinales, suelos agrícolas, bosque tropical.

#### ABSTRACT

Colombian amazon is characterized by low fertility and high acid soils. This fact has caused the powerful relationship between mycorrhizae and vegetal population growth, transforming these microorganisms as a useful tool for sustainable agriculture. For this reason, the presence of arbuscular mycorrhiza in medicinal plants of yarumo, carambola and cat's claw was analyzed at the Indigenous Reservation of Macedonia, Amazonas. Based on the collection of 34 samples, techniques were used for the extraction of spores, morphologic identification, roots staining and mycorrhizal colonization measurements. Simultaneously, physicochemical tests were performed to determine the pH and available phosphorus. In this territory were identified four mapping units of soil (LBd, Lac, LLB and AML) including Ultisol, Inceptisol, Oxisol and Entisol types. The greater abundance of spores found in the yarumo (668), followed by cat's claw (504) and carambola (477) and the main morphotypes were related with taxonomic genera of *Glomus*, *Acaulospora*, *Gigaspora*, *Scutellospora*, *Entrophospora* and *Archaeospora*. All roots of the plants evaluated reported an average colonization between 34 and 45%, with a higher percentage of vesicles colonization compared with arbuscules. An inverse relationship between mycorrhizal colonization percentage and phosphorus available for the three medicinal plants was determined. This indicated an average correlation with carambola samples and a significant correlation for cat's claw and yarumo.

**Key Words:** *Cecropia sciadophylla*, *Averrhoa carambola*, *Uncaria tomentosa*, medicinal plants, agricultural soil, tropical forest.

## INTRODUCCIÓN

Los suelos de la Amazonía colombiana son pobres tanto en materia orgánica como en nutrientes. El fósforo es considerado el elemento limitante para el desarrollo de las plantas, debido a la madurez de estos suelos, en los cuales se encuentran grandes cantidades de óxido de hierro y aluminio que promueven la formación de los fosfatos. Cerca del 70% se encuentra en forma de fosfatos de hierro, los cuales son solubilizados por los microorganismos para liberar fósforo inorgánico y otras formas solubles disponibles para las plantas (Useche *et al.*, 2004).

Por esta condición, las micorrizas han llegado a considerarse relación obligada para el crecimiento de poblaciones vegetales, tanto en condiciones naturales como en agrosistemas, pues contribuyen con el aumento de productividad de los cultivos, la regeneración de comunidades vegetales degradadas y el mantenimiento equilibrado del ecosistema (Guerra, 2008).

Esto ha llevado a contemplarlas como herramienta para la agricultura sostenible, en la medida que se pueda determinar su potencialidad a través del grado de afinidad e incidencia en plantas específicas. Lo anterior es de gran importancia en comunidades amazónicas como el Resguardo Indígena de Macedonia, donde se pretende generar proyectos productivos a partir de las plantas medicinales de *Cecropia sciadophylla* (yarumo), *Averrhoa carambola* (carambolo) y *Uncaria tomentosa* (uña de gato).

Dentro de esta comunidad se han reportado 17 usos medicinales de la uña de gato, 11 usos del carambolo y 10 usos del yarumo, entre los que destaca el tratamiento para el cáncer, la gastritis y el colesterol, respectivamente. Estos reportes fueron comparados con estudios alrededor del mundo que corroboran sus propiedades medicinales (Garzón, 2014).

El objetivo del presente trabajo fue analizar la presencia de micorrizas arbusculares asociadas a plantas medicinales de yarumo, carambolo y uña de gato en Macedonia, Amazonas. Para esto, se evaluó su relación con las características fisicoquímicas del suelo, principalmente las concentraciones de fósforo, a fin de conocer la abundancia de Hongos Formadores de Micorrizas Arbusculares (HFMA), su morfología y el nivel de micorrización.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El Resguardo Indígena de Macedonia se encuentra ubicado a 50 km de Leticia, en el Trapecio Amazónico colombiano. Esta comunidad se localiza en la zona de amortiguación del Parque Nacional Natural Amacayacu, aproximadamente entre las coordenadas 03°53'00"S y 70°11'17"W.

### Trabajo de campo

Entre los meses de septiembre y noviembre del año 2013, se llevaron a cabo talleres de cartografía social con la comunidad para ubicar las zonas principales de cada una de las plantas medicinales dentro del resguardo. Se realizaron recorridos en campo y se recolectaron 34 muestras geo-referenciadas de las plantas medicinales (Cuadro 1). De cada muestra se tomaron 300 g de suelo rizosférico y raíces finas fasciculadas a 20 cm de profundidad.

Las muestras fueron almacenadas en bolsas plásticas de doble cierre, rotuladas con el código de muestra y refrigeradas a 4 °C. Para su traslado a Bogotá, vía aérea, se colocaron en una caja de icopor con hielo seco hasta su procesamiento en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Adicionalmente, se contó con la información de las unidades cartográficas con sus respectivas propiedades fisicoquímicas, identificadas en el levantamiento de suelos del Amazonas realizado en el año 2003 por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Con base en esta información, se elaboró un mapa que permitió evidenciar los tipos de suelos presentes dentro del Resguardo de Macedonia, empleando el programa ArcGis 10.2.

### Trabajo en el laboratorio

La extracción de las esporas presentes en 2 g de suelo muestreado se realizó a través de la técnica de tamizado húmedo y decantación propuesta por Gerdemann y Nicolson (1963), seguido de la centrifugación en gradiente de sacarosa. Una vez aisladas las esporas, se hizo una clasificación por morfotipo, separando las esporas por características similares de tamaño, forma, color e hifa de sostén, siguiendo el catálogo ilustrado de Peña-Venegas *et al.* (2006).

Cuadro 1. Ubicación y geo-referenciación para las muestras de las plantas medicinales

<b>Planta</b>	<b>Muestra</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Sistema de Coordenadas WGS 1984 (S-OE)</b>	
<b>Carambolo</b>	C1	Barrio San Vicente	-70,2052613	-3,85501847
	C2	Barrio San Vicente	-70,1996135	-3,85478164
	C3	Barrio San Vicente	-70,2042545	-3,85646528
	C4	Barrio San Vicente	-70,2000532	-3,85679508
	C5	Barrio Monserrate	-70,2107609	-3,85611106
	C6	Barrio Monserrate	-70,2111169	-3,85678039
	C7	Barrio Monserrate	-70,2119165	-3,85987708
	C8	Barrio Centro	-70,2124596	-3,86147151
	C9	Barrio Centro	-70,2109779	-3,86082935
	C10	Barrio Centro	-70,2108710	-3,85988969
	C11	Barrio Nuevo	-70,2093435	-3,85398253
	C12	Barrio Internacional	-70,2035806	-3,85927347
	C13	Barrio Guayabal	-70,2141111	-3,85707878
	C14	Chagra	-70,2000056	-3,83918205
<b>Uña de gato</b>	U15	Orilla Quebrada Mata-matá	-70,1733409	-3,82690363
	U16	Orilla Quebrada Mata-matá	-70,1741857	-3,82669183
	U17	Chagra	-70,1781881	-3,83716979
	U18	Chagra	-70,1786206	-3,83850322
	U19	Chagra	-70,2108679	-3,84978979
<b>Yarumo</b>	Y20	Chagra-Mata-matá	-70,1938799	-3,82084488
	Y21	Chagra-Mata-matá	-70,1749911	-3,82667703
	Y22	Quebrada Mata-matá	-70,1739043	-3,82723311
	Y23	Chagra-Mata-matá	-70,1984928	-3,82056063
	Y24	Camino Germán Peña-Mata-matá	-70,1749294	-3,82731575
	Y25	Chagra	-70,1887891	-3,83770729
	Y26	Chagra	-70,1977640	-3,85432128
	Y27	Orilla río Amazonas	-70,2119997	-3,86221434
	Y28	Quebrada Cuyaté	-70,2047778	-3,85883844
	Y29	Colegio Francisco de Orellana	-70,2037260	-3,85799162
	Y30	Chagra	-70,1976303	-3,85430054
	Y31	Chagra	-70,1807018	-3,84159813
	Y32	Chagra	-70,1880833	-3,83698927
	Y33	Chagra	-70,1978304	-3,85070085
	Y34	Chagra	-70,1871916	-3,83616647

La tinción de raíces se llevó a cabo con base en la metodología de Sieverding (1984) y para la colonización micorrízica se empleó la técnica de Trouvelot *et al.* (1986), en donde se hallaron los porcentajes de colonización total, por vesículas y por arbusculos. En el análisis del fósforo disponible se empleó el método Bray II (Bray y Kurtz, 1945) y la acidez del suelo fue determinada a través del método de Zagal y Sadzawka (2007).

### **Análisis estadístico**

A través del programa SPSS (IBM, 2012), se realizaron pruebas no paramétricas de correlación de Spearman y la prueba de varianza de Kruskal-Wallis. Esto se hizo con el fin de establecer la relación de la abundancia de esporas y la colonización micorrízica con las condiciones edáficas del territorio, tales como el contenido de fósforo disponible, el pH y la humedad aprovechable.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Caracterización de los suelos del resguardo**

En el territorio del Resguardo Indígena de Macedonia se determinaron cuatro unidades cartográficas, siendo la más representativa la unidad LBd (Lomerio Loma Fuertemente Inclinado) al abarcar más del 50% del territorio (Figura 1). En menor proporción se hallaron las unidades Lac (Lomerio Loma Moderadamente Inclinado), LLb (Lomerio Mesa Moderadamente Inclinado) y LMa (Lomerio Vallecito Plano).

Asimismo, se encontraron suelos de tipo Ultisol, Inceptisol, Oxisol y Entisol. En general, estos suelos presentan una fertilidad baja o muy baja debido a las condiciones extremas de acidez, bajo contenido de bases intercambiables (magnesio, calcio, sodio y potasio) y baja saturación de bases (IGAC, 2003).

Los suelos tipo Ultisol se encuentran en las unidades cartográficas LAc (ubicados en las ladera de lomas) y LBd. En la primera unidad estos suelos tienen una alta saturación de aluminio, una fertilidad baja y un relieve ligeramente ondulado, que contrasta con una saturación muy alta, una fertilidad muy baja y un relieve fuertemente ondulado de la segunda unidad cartográfica.

Debido a estas condiciones químicas de los suelos amazónicos, en los Inceptisoles la fertilidad es baja (U.C. LAc) o muy baja, comparada con el resto de las unidades cartográficas del resguardo. En las zonas de cultivo de Macedonia, la fertilidad es especialmente baja, debido a que la remoción de la capa vegetal desprotege el suelo, el cual pierde su contenido nutricional por efecto de lluvia y erosión hídrica o por la acumulación de materia orgánica de baja calidad (Martín y Pérez, 2009).

En la Amazonía colombiana el 31% de los suelos corresponden a Oxisoles, seguido de los Ultisoles con un 20%, los cuales poseen una alta evolución pedogenética (Malagón, 2003). Estos suelos se caracterizan por tener una muy baja fertilidad, buen drenaje, humedad alta aprovechable y un pH extremadamente ácido (U.C. LBd) o muy fuertemente ácido (U.C. LLb), lo que determina niveles muy bajos de saturación de bases (menor al 10%) y bases totales (menores a 1 meq/100 g).

Los Entisoles fueron encontrados dentro del resguardo en la Unidad LBb. En este tipo de suelo predominan las texturas muy finas por lo que la humedad aprovechable es alta. De igual forma, el pH se clasifica como muy fuertemente ácido, lo que influye en una alta saturación de aluminio, baja saturación de bases y bajo contenido de bases totales. Las bases se encuentran por debajo de los niveles críticos reportados por el IGAC (2003) y son reemplazadas por moléculas de aluminio, lo que lleva a una baja fertilidad del suelo (Méndez y Bertsch, 2012).

### **Determinación de la abundancia de micorrizas arbusculares**

Las muestras de las plantas medicinales fueron tomadas en zonas correspondientes a las unidades cartográficas LAc y LBd. De estas, el 21% se encontraron en la primera unidad y el 79% en la segunda unidad. Algunas de las características fisicoquímicas de los suelos analizados se resumen en el Cuadro 2.

Se realizaron cuantificaciones del número de esporas presentes en suelo rizosférico, partiendo de dos recuentos de cada muestra de las plantas de carambolo, uña de gato y yarumo. Los resultados de la prueba de Kruskal-Wallis

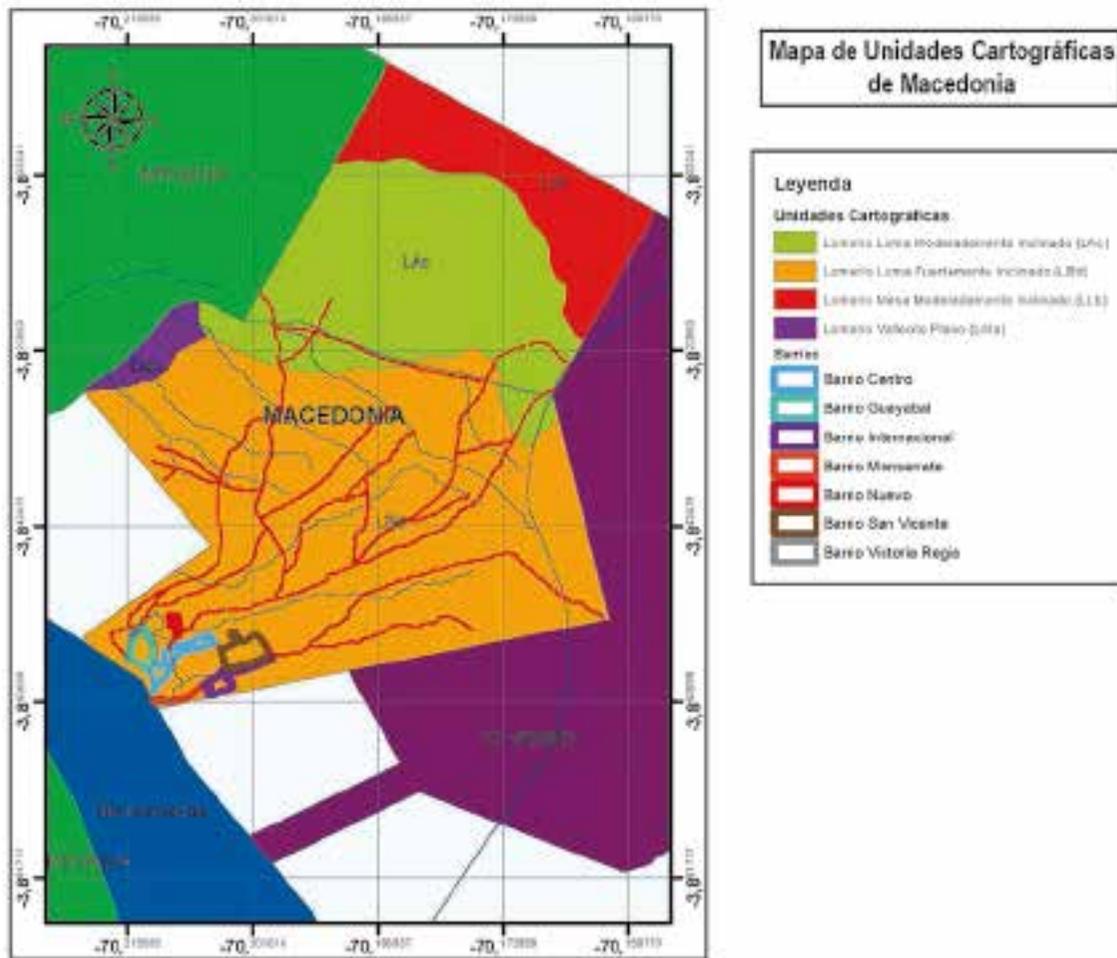


Figura 1. Mapa de unidades cartográficas de Macedonia.

arrojaron una diferencia significativa ( $P=0,001$ ) entre la cantidad promedio de esporas para las tres plantas.

En la Figura 2 se puede observar que el yarumo presentó la mayor abundancia de esporas (668), seguido de la uña de gato (504) y el carambolo (477). Lo anterior indica que todos los suelos rizosféricos aportaron propágulos infectivos de hongos formadores de micorrizas, especialmente los pertenecientes a las muestras de yarumo que se recogieron en su mayoría en la zona de rastrojo y chagras.

Debido a que las muestras fueron tomadas en periodo seco es posible que la esporulación sea mayor, ya que la simbiosis de la planta con el HFMA se encuentra sometida a estrés hídrico. De esta manera, la planta libera metabolitos

secundarios a través de las raíces, las cuales estimulan la producción de esporas (Pérez *et al.*, 2012). El incremento de estos propágulos en el suelo permite que en la temporada de lluvia se pueda reiniciar el proceso simbiótico (Barriga *et al.*, 2011).

En la comunidad de Macedonia el carambolo se siembra en su mayoría en los solares de las casas, donde el espacio y el tiempo de permanencia es limitado por la tala o el daño por plagas como la hormiga arriera. La mayoría de las muestras fueron tomadas en los barrios: Centro, Monserrate, San Vicente e Internacional, donde se concentran de forma contigua las viviendas de la comunidad.

Esta situación conlleva a que la remoción del suelo sea constante para la construcción de

Cuadro 2. Características de los suelos asociados a las plantas medicinales muestreadas.

Planta	Muestra	U.C	Textura	Relieve	Fertilidad	Saturación Aluminio	P disponible (ppm)	pH	Humedad Aprovechable (%)
<b>Carambolo</b>	C1	LBd	FAr	FO	MB	MA	24,48	5,60	17,89
	C2	LBd	FAr	FO	MB	MA	14,97	4,98	17,89
	C3	LBd	FAr	FO	MB	MA	6,52	4,95	17,89
	C4	LBd	FAr	FO	MB	MA	6,89	5,04	17,89
	C5	LBd	FAr	FO	MB	MA	0,01	5,16	17,89
	C6	LBd	FAr	FO	MB	MA	2,83	5,39	17,89
	C7	LBd	FAr	FO	MB	MA	4,48	5,33	17,89
	C8	LBd	Ar	FO	MB	MA	16,54	5,35	17,67
	C9	LBd	Ar	FO	MB	MA	12,14	5,43	17,67
	C10	LBd	Ar	FO	MB	MA	25,96	5,48	17,67
	C11	LBd	Ar	FO	MB	MA	3,33	5,73	17,67
	C12	LBd	FAr	FO	MB	MA	8,68	5,12	17,89
	C13	LBd	FAr	FO	MB	MA	2,12	4,89	17,89
	C14	LBd	FAr	FO	MB	MA	10,66	4,68	17,89
<b>Uña de gato</b>	U15	LAc	F	LO	B	MA	15,99	4,32	11,66
	U16	LAc	F	LO	B	MA	17,09	4,65	11,66
	U17	LBd	FAr	FO	MB	MA	6,24	4,49	17,89
	U18	LBd	FAr	FO	MB	MA	12,61	4,69	17,89
	U19	LBd	FAr	FO	MB	MA	31,5	5,07	17,89
<b>Yarumo</b>	Y20	LAc	F	LO	B	MA	13,54	4,76	11,66
	Y21	LAc	F	LO	B	MA	15,76	4,69	11,66
	Y22	LAc	F	LO	B	MA	15,01	4,80	11,66
	Y23	LAc	F	LO	B	MA	20,57	4,91	11,66
	Y24	LAc	F	LO	B	MA	7,55	4,54	11,66
	Y25	LBd	FAr	FO	MB	MA	6,76	5,20	17,89
	Y26	LBd	FAr	FO	MB	MA	28,84	5,06	17,89
	Y27	LBd	Ar	FO	MB	MA	10,69	6,21	17,67
	Y28	LBd	Ar	FO	MB	MA	38,28	6,35	17,67
	Y29	LBd	Ar	FO	MB	MA	34,58	5,21	17,67
	Y30	LBd	FAr	FO	MB	MA	13,45	5,65	17,89
	Y31	LBd	FAr	FO	MB	MA	4,66	5,05	17,89
	Y32	LBd	FAr	FO	MB	MA	7,04	4,79	17,89
	Y33	LBd	FAr	FO	MB	MA	8,02	4,98	17,89
Y34	LBd	FAr	FO	MB	MA	7,90	4,59	17,89	

F= Franco; FAr = Franco Arcillosa; LO = Ligeramente Ondulado; FO = Fuertemente Ondulado; MB = Muy Bajo; B = Bajo; MA = Muy Alto; A = Alto; U.C= Unidades Cartográficas; P = Fósforo.

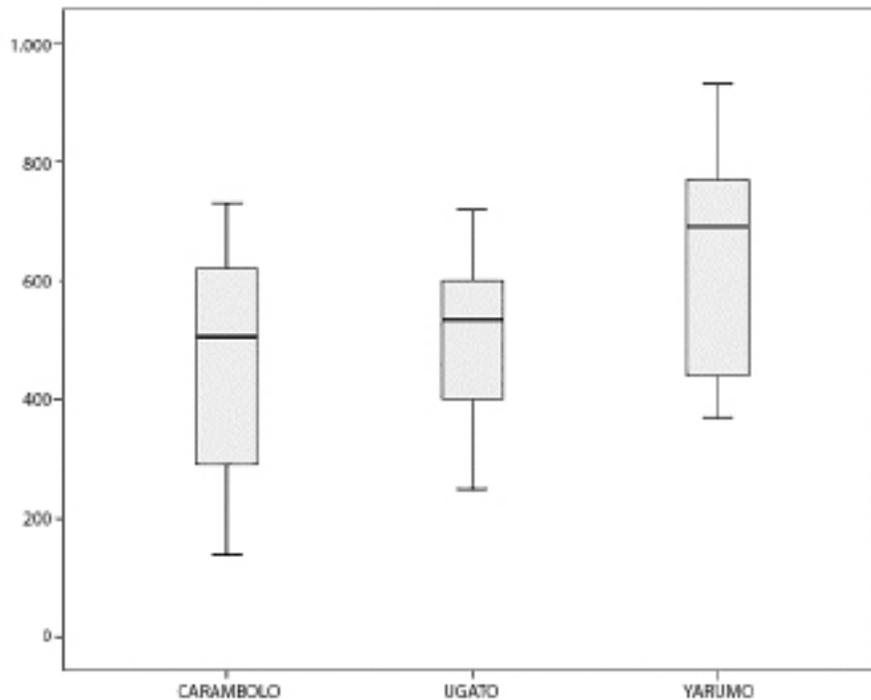


Figura 2. Abundancia de esporas en suelo según la planta medicinal evaluada.

viviendas o por la tala de árboles para la siembra de nuevas especies vegetales. Debido a esto, la red de micelio extraradical que forma el HFMA no tiene el tiempo suficiente para establecerse; y por consiguiente, no se da la posterior formación de propágulos como las esporas (Peña-Venegas y Arias, 2009).

Por otra parte, los valores de abundancia de esporas para la uña de gato oscilaron entre 250 y 720 esporas, siendo la más alta la muestra U15 tomada en selva virgen. De acuerdo con Peña-Venegas *et al.* (2006) el número de esporas puede variar de acuerdo al tipo de cobertura, encontrando que en bosques y rastrojos los valores promedio de esporas son mayores (2000 esporas) que en zonas de chagra (1000 esporas).

Los valores promedio de esporas para el yarumo se encontraron entre 440 y 990 esporas. Las primeras seis muestras corresponden al “yarumo de altura”, el cual se encuentra en la zona de selva virgen de la comunidad. Las restantes corresponden a la zona media (rastrojo y chagra) y al asentamiento de la comunidad, en donde se encuentra el “yarumo de la baja”.

Al igual que con la uña de gato, los resultados indican que hay una tendencia a mayor abundancia de esporas en zonas de rastrojo y bosque que en zonas de chagra y casco rural. León (2006) reportó para muestras de yuca, baja cantidad de esporas en chagras del Trapecio Amazónico (78-320 esporas), siendo mayor el número en chagras de terraza que en chagras de llanura aluvial.

Sumado a esto, Peña-Venegas y Arias (2009) encontraron baja cantidad de esporas en chagras que tenían menos de cuatro meses de establecidas, por lo que concluyeron que una red de micelio de HFMA requiere un tiempo mayor para establecerse y que luego de su formación, es posible que el hongo pueda producir otro tipo de propágulos como las esporas.

Cabe resaltar que varias muestras fueron tomadas en chagras ya establecidas, lo que le permite a las plantas hospederas permanecer más tiempo en el mismo lugar. De esta forma, la colonización de un huésped inicia con una red de micelio extraradical establecida durante varios años y posteriormente, por la germinación de las esporas (Peña-Venegas *et al.*, 2006).

### Determinación de morfotipos

Se realizó la identificación de los morfotipos de las dos réplicas para cada muestra de las plantas medicinales, tomando en cuenta los géneros reportados para la Amazonía colombiana por Peña-Venegas *et al.* (2006) que corresponden a: *Glomus*, *Acaulospora*, *Gigaspora*, *Scutellospora*, *Entrophospora* y *Archaeospora* (Cuadro 3).

En dos muestras de la planta de yarumo se pudieron encontrar hasta siete morfotipos diferentes de micorrizas arbusculares; por su parte, en una muestra de carambolo se encontró sólo un morfotipo. En la Amazonía, se ha reportado que hay una predominancia de dos a cuatro morfotipos diferentes en donde uno o dos tienden a dominar la muestra (Peña-Venegas *et al.*, 2006).

El 51% de las muestras presentaron morfotipos del género *Glomus*, seguido de *Acaulospora* con un 31%. Contrario a esto, los géneros *Archaeospora* y *Entrophospora* estuvieron en menor proporción en las muestras evaluadas (2 y 3%, respectivamente). Esto coincide con los resultados de Cardona *et al.* (2005) quienes señalan que *Glomus* es el género con mayor distribución en la Amazonía y con una alta tolerancia a la acidez.

En las muestras de la planta del carambolo se encontraron hasta cinco morfotipos diferentes de HFMA, con una predominancia de dos a tres; donde la mayoría de éstos correspondieron al género *Glomus*. De las tres plantas analizadas, el carambolo presentó una mayor afinidad con el género *Acaulospora* (38%) y con *Entrophospora* (5%). Contrariamente, en esta planta no se encontraron morfotipos asociados con el género *Scutellospora*.

Peña-Venegas *et al.* (2007) señalaron que los géneros *Scutellospora* y *Gigaspora* son los menos frecuentes en suelos tropicales húmedos, ya que la textura del suelo es arcillosa. De igual forma, Ruiz y Davey (2005) encontraron que estos géneros son los menos predominantes entre las poblaciones de HFMA en los suelos tipo Ultisol en el Amazonas.

En la uña de gato se encontraron entre dos y cinco morfotipos por muestra, con predominio de cuatro morfotipos. La muestra U15 tomada en selva virgen presentó cinco morfotipos de los

géneros *Glomus*, *Acaulospora*, *Scutellospora* y *Gigaspora*.

De las tres plantas medicinales, la uña de gato mostró tener mayor afinidad con el género *Gigaspora* (11%) y no presentó ninguna afinidad con *Archaeospora*, pues no se encontraron esporas de este género. Las muestras U17 y U18 tomadas en chagra fueron las únicas que presentaron esporas de *Scutellospora* y *Entrophospora*, respectivamente.

La planta de yarumo fue la que presentó el mayor rango de morfotipos, que oscilaron entre dos y siete. La mayoría de las muestras presentaron cinco morfotipos, seguido de cuatro y seis morfotipos, respectivamente. Es de resaltar que esta planta presentó la mayoría de los géneros reportados por Peña-Venegas *et al.* (2006) para la Amazonía colombiana. Asimismo, de las tres plantas analizadas obtuvo el mayor porcentaje de afinidad con el género *Glomus* (56%), *Scutellospora* (5%) y *Archaeospora* (3%).

Estos resultados son similares a los de Peña-Venegas *et al.* (2007) quienes encontraron en muestras de suelo del Trapecio Amazónico colombiano cinco géneros de micorrizas. De éstos, *Glomus* representa más del 50% de la población, seguido de *Acaulospora* con más del 20%, así como *Archaeospora*, *Gigaspora* y *Scutellospora* con porcentajes menores al 20%.

### Determinaciones en raíces. Colonización micorrízica

El porcentaje total de colonización con micorrizas arbusculares fue determinado a través del porcentaje por vesículas y por arbusculos, para cada una de las muestras de las tres plantas medicinales (Cuadro 4). En éstas se observó una afinidad media por los HFMA, con las vesículas como estructura dominante del hongo. Sumado a lo anterior, se determinaron diferencias significativas entre las tres plantas medicinales para los porcentajes de vesículas y colonización de HFMA.

Todas las raíces de las plantas evaluadas reportaron una colonización promedio que osciló entre 34 y 45%, siendo el yarumo la planta con mayor porcentaje de colonización total con respecto al carambolo (Figura 3). Estas diferencias entre la colonización micorrízica del

Cuadro 3. Morfotipos y géneros reportados de hongos formadores de micorrizas arbusculares.

Planta	Muestra	Morfotipos Submuestra 1	Morfotipos Submuestra 2	Géneros reportados
Carambolo	C1	5	1	<i>Glomus, Acaulospora, Entrophospora, Archeospora</i>
	C2	4	2	<i>Glomus, Acaulospora, Entrophospora</i>
	C3	2	3	<i>Glomus, Acaulospora</i>
	C4	3	3	<i>Glomus, Acaulospora</i>
	C5	2	2	<i>Glomus, Acaulospora</i>
	C6	2	3	<i>Glomus, Acaulospora, Gigaspora, Entrophospora</i>
	C7	5	3	<i>Glomus, Acaulospora, Gigaspora</i>
	C8	3	3	<i>Glomus, Acaulospora, Gigaspora</i>
	C9	2	2	<i>Glomus</i>
	C10	3	2	<i>Glomus, Acaulospora</i>
	C11	4	5	<i>Glomus, Acaulospora, Gigaspora</i>
	C12	5	4	<i>Glomus, Acaulospora, Gigaspora</i>
	C13	3	3	<i>Glomus, Acaulospora, Gigaspora, Entrophospora</i>
	C14	4	4	<i>Glomus, Acaulospora</i>
Uña de gato	U15	5	4	<i>Glomus, Acaulospora, Gigaspora</i>
	U16	3	4	<i>Glomus, Acaulospora, Gigaspora</i>
	U17	3	4	<i>Glomus, Acaulospora, Scutellospora, Gigaspora</i>
	U18	4	4	<i>Glomus, Acaulospora, Entrophospora</i>
	U19	2	3	<i>Glomus, Acaulospora, Gigaspora</i>
Yarumo	Y20	4	3	<i>Glomus, Acaulospora</i>
	Y21	5	3	<i>Glomus, Acaulospora</i>
	Y22	4	5	<i>Glomus, Acaulospora, Entrophospora</i>
	Y23	5	6	<i>Glomus, Acaulospora, Entrophospora, Archaeospora</i>
	Y24	4	6	<i>Glomus, Acaulospora, Scutellospora, Gigaspora</i>
	Y25	6	6	<i>Glomus, Acaulospora, Scutellospora, Archaeospora</i>
	Y26	4	6	<i>Glomus, Acaulospora, Scutellospora, Gigaspora</i>
	Y27	5	4	<i>Glomus, Acaulospora, Scutellospora,</i>
	Y28	3	4	<i>Glomus, Acaulospora, Gigaspora</i>
	Y29	4	2	<i>Glomus, Gigaspora, Archaeospora</i>
	Y30	6	7	<i>Glomus, Acaulospora, Scutellospora, Gigaspora</i>
	Y31	5	5	<i>Glomus, Acaulospora, Gigaspora</i>
	Y32	7	5	<i>Glomus, Acaulospora, Gigaspora, Scutellospora, Archaeospora</i>
	Y33	5	5	<i>Glomus, Acaulospora, Gigaspora, Scutellospora</i>
	Y34	6	4	<i>Glomus, Acaulospora, Gigaspora</i>

Cuadro 4. Prueba no paramétrica para variables analizadas en plantas medicinales.

Variables	Carambolo	Uña de gato	Yarumo	Prueba Kruskal-Wallis
Vesículas (%)	30	29	41	0,006*
Arbúsculos (%)	4	6	4	0,127
Colonización (%)	34	35	45	0,013*

\*Diferencias significativas a  $P < 0,05$

yarumo, uña de gato y carambolo es posible que se den en función del tipo de planta y los HFMA que interaccionan (Guerra y Chacón, 2012).

De igual forma, en las tres muestras se presentaron un mayor porcentaje de vesículas en comparación al porcentaje de arbúsculos. El yarumo reportó el mayor porcentaje de vesículas (41%) y la uña de gato el mayor porcentaje de arbúsculos de las tres plantas (6%).

Este bajo porcentaje de arbúsculos es coherente con lo reportado en estudios de micorrizas en suelos de la Amazonía colombiana (Peña-Venegas *et al.*, 2007; Cardona *et al.*, 2008) en donde su presencia es poco frecuente. Asimismo, se ha evidenciado que hay mayor cantidad de arbúsculos en muestras de sistemas agroforestales que en muestras de coberturas naturales (Peña-Venegas *et al.*, 2006).

En la planta de carambolo el porcentaje de colonización total fue heterogéneo puesto que osciló entre 14 y 54%. Las muestras C3, C10 y C12 presentaron una baja colonización micorrízica (24, 14 y 24%, respectivamente) contrario a las muestras C6 y C9 (54 y 42%) que presentaron una colonización media.

Estos resultados fueron inferiores a los reportados por Aristizabal (2008) quien encontró en carambolo una colonización micorrízica entre 50 y 60% en un bosque subtropical de Estados Unidos. Sin embargo, en suelos amazónicos donde hay una pérdida de fertilidad y bajo contenido de fósforo, se disminuye el porcentaje de colonización (Posada *et al.*, 2006).

En las muestras de uña de gato se presentó una actividad micorrízica media entre el 30 y 42% de colonización total. El mayor porcentaje de colonización se encontró en muestras

colectadas en chagra, de la zona centro de la comunidad, en contraposición a las muestras tomadas en selva virgen.

Este resultado es similar a otros estudios (Aguilar-Fernández *et al.*, 2009; Kalinhoff *et al.*, 2009) donde el aumento en la colonización se le atribuye posiblemente a la presencia de cultivos de yuca (*Manihot esculenta*) que es altamente micotrófica en suelos relativamente pobres (León, 2006). No obstante, no se obtuvo una diferencia significativa del porcentaje de arbúsculos entre muestras de chagra y selva virgen, pues los valores se encontraron entre 6 y 4% para todas las muestras.

Por otro lado, en las muestras de la planta del yarumo se encontró una actividad micorrízica heterogénea que va de baja a alta, con valores de colonización total entre 26 y 64%. La muestra Y34 tomada en una chagra, de la zona centro de la comunidad, presentó el mayor porcentaje tanto de vesículas (54%) como de arbúsculos (10%). El porcentaje de arbúsculos se mantuvo entre 2 y 10%, siendo más frecuente una colonización del 4% en las muestras.

Las vesículas son estructuras que contienen sustancias como glicógeno y lípidos que le permiten cumplir una función de reserva para el HFMA (Ruiz *et al.*, 2011) Debido a esto, su alta producción se da en respuesta a factores adversos del suelo propios de la Amazonía, que se pueden presentar en niveles tóxicos para la mayoría de cultivos, como la alta concentración de aluminio y el bajo pH (León, 2006; Roveda y Polo, 2007).

Asimismo, la alta colonización en muestras de yarumo indicó que esta planta tiene alta afinidad a los hongos formadores de micorrizas, por lo que es posible que haga simbiosis con especies

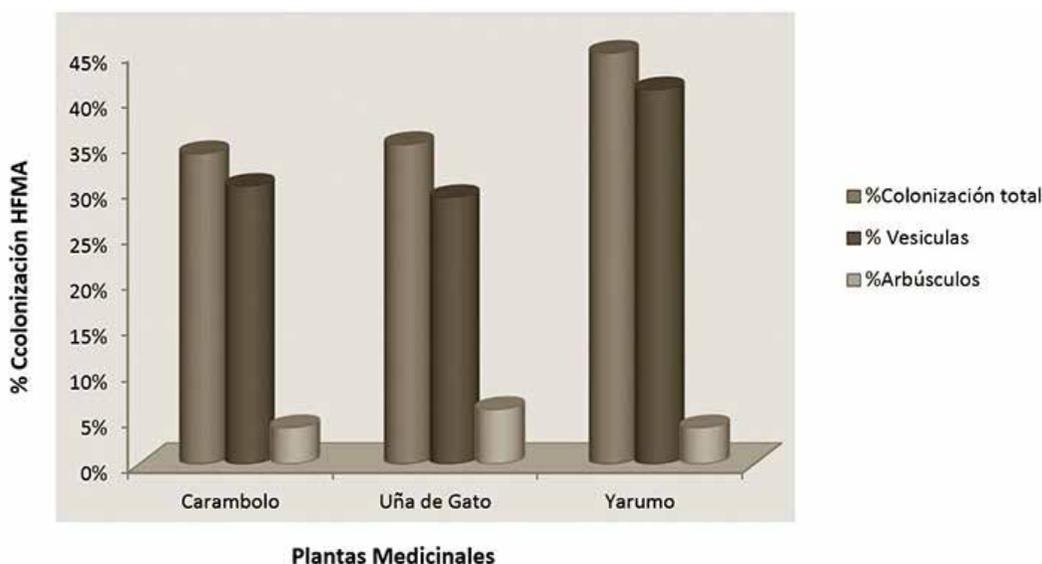


Figura 3. Porcentaje de colonización total, por vesículas y por arbúsculos en plantas medicinales.

que tienen una capacidad infectiva de media a alta (Tapia-Goné *et al.*, 2010).

#### **Análisis de relación entre esporas, colonización micorrízica y fósforo disponible**

Las variables fisicoquímicas de humedad y fósforo disponible no presentaron correlación entre sí (Cuadro 5). Se encontró una correlación inversa entre el pH y la humedad aprovechable en la planta del carambolo. No obstante, la humedad no presentó una relación lineal con la abundancia de esporas y el porcentaje de colonización, lo que indica una respuesta independiente de este factor.

Se determinó que hay una relación inversa entre el pH y el porcentaje de colonización en la planta de yarumo. Sin embargo, no se halló una correlación significativa entre el porcentaje de colonización y la abundancia de esporas para las tres plantas, lo que indica que no hay una relación lineal entre estas dos variables. Para las plantas del carambolo y la uña de gato la correlación es inversa entre esporulación y colonización micorrízica, contrario a lo que ocurre con el yarumo.

La baja producción de esporas no es un indicador de la falta del HFMA en el huésped, por lo que su cantidad en suelo se encuentra poco relacionado con la colonización micorrízica (Cardona *et al.*,

2008). De igual forma, en muchas especies de micorrizas las esporas son producidas a largo plazo luego de que han alcanzado su nivel máximo de colonización (Gazey *et al.*, 1992).

La abundancia de esporas no expresa una relación con los contenidos de fósforo encontrados en las muestras analizadas para la presente investigación, que varían entre 2,12 ppm (mínimo) y 38,28 ppm (máximo). Por el contrario, el contenido de esporas responde a condiciones de estrés hídrico, lo que coincide con lo señalado por Posada *et al.* (2007). En el yarumo se encontró la mayor abundancia de esporas (668) con un contenido de fósforo disponible promedio de 15,51 ppm.

En la Amazonía colombiana el contenido de fósforo disponible tiende a ser bajo, con un promedio de 12,3 ppm (Peña-Venegas *et al.*, 2006). Por tal razón, se afirma que el fósforo es un elemento limitante para la simbiosis micorrízica y que en bajos niveles de este elemento se expresa su funcionalidad (Arcos, 2003; León, 2006; Peña-Venegas *et al.*, 2007; Cardona *et al.*, 2008).

Esto se evidenció con la obtención de una relación inversamente proporcional entre porcentaje de colonización micorrízica y fósforo disponible para las tres plantas medicinales.

Cuadro 5. Coeficientes de correlación de Spearman entre variables medidas de las plantas medicinales.

	Colonización	Esporas	Fósforo disponible	Humedad aprovechable	pH	
<b>Carambolo</b>	Colonización	1,000	-0,138	-0,388	-0,198	0,259
	Esporas	-0,138	1,000	0,218	0,079	0,207
	Fósforo disponible	-0,388	0,218	1,000	-0,392	0,257
	Humedad aprovechable	-0,198	0,079	-0,392	1,000	-0,628*
	pH	0,259	-0,207	0,257	-0,628*	1,000
<b>Uña de gato</b>	Colonización	1,000	-0,051	-0,975**	0,444	-0,410
	Esporas	-0,051	1,000	0,100	0,000	0,200
	Fósforo disponible	-0,975**	0,100	1,000	-0,289	0,500
	Humedad aprovechable	0,444	0,000	-0,289	1,000	0,577
	pH	-0,410	0,200	0,500	0,577	1,000
<b>Yarumo</b>	Colonización	1,000	0,423	-0,587*	0,128	-0,624*
	Esporas	0,423	1,000	-0,214	0,096	-0,375
	Fósforo disponible	-0,587*	-0,214	1,000	-0,440	0,307
	Humedad aprovechable	0,128	0,096	-0,440	1,000	0,332
	pH	-0,624*	-0,375	0,307	0,332	1,000

\*\*Significancia a  $\alpha = 0,01$ ; \*Significancia a  $\alpha = 0,05$ .

Con respecto a las muestras de carambolo se obtuvo una correlación media, mientras que la correlación fue significativa en las muestras de uña de gato ( $\alpha=0,01$ ) y en las de yarumo ( $\alpha=0,05$ ).

Adicionalmente, en las muestras de las plantas de yarumo y uña de gato el promedio de fósforo disponible fue mayor (15,51 y 16,68 ppm) con respecto al carambolo (9,97 ppm). A pesar de que estas concentraciones tuvieron un amplio rango de valores, hubo colonización micorrízica en todas las muestras, lo que sugiere que la relación simbiótica entre planta y HFMA se da

en amplias variaciones de contenido de fósforo (Arcos, 2003).

En la Figura 4 se observa una relación inversamente proporcional entre el contenido de fósforo disponible y el porcentaje de colonización en la mayoría de las muestras de carambolo, donde el mayor porcentaje (54%) se presentó en la muestra C6 con un nivel muy bajo de fósforo.

Múltiples estudios (Covacevich *et al.*, 2005; Toro *et al.*, 2008; Álvarez-Sánchez *et al.*, 2013) han indicado que las concentraciones de fósforo afectan la colonización micorrízica. En suelos pobres de este elemento, los hongos formadores

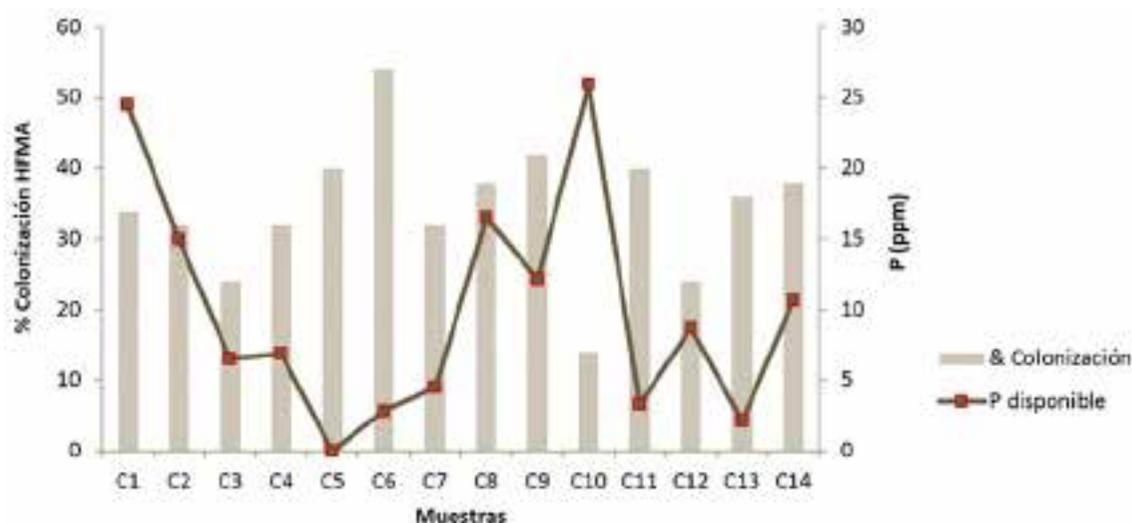


Figura 4. Relación de porcentaje de colonización y fósforo disponible en suelo rizosférico de muestras de carambolo.

de micorrizas prefieren usar la red de micelio extraradical establecida para colonizar otros huéspedes, que incrementar su gasto energético al generar propágulos como las esporas para su dispersión (Peña-Venegas *et al.*, 2006).

Por otro lado, la uña de gato se puede encontrar en zonas muy húmedas, cerca de quebradas y ríos (Zevallos-Pollito y Tomazello, 2010), lo que explica el mayor contenido promedio de fósforo de las tres plantas analizadas (16,68 ppm), aunque el porcentaje de colonización micorrízica no fue el menor. Al igual que el carambolo, hubo una relación inversa entre porcentaje de colonización y fósforo que se evidencia en la muestra U17 con un nivel bajo de fósforo (6,24 ppm) y la más alta colonización para esta planta correspondiente al 42% (Figura 5).

Rodríguez *et al.* (1992) encontraron que en áreas inundables a orillas del río Amazonas el contenido de aluminio y compuestos hidroxilados de hierro disminuye por lo que la fijación de fósforo es mayor. Asimismo, Posada *et al.* (2007) reportaron un mayor contenido de fósforo disponible en paisajes de vega (22,5 ppm) que en paisajes de loma (11,4 ppm) por procesos de lavado, escorrentía y acumulación propios de zonas inundables.

Las muestras del yarumo presentaron niveles de fósforo disponible que variaron de muy

bajos (4,66 ppm) a muy altos (28,84 ppm - 38,28 ppm). En la mayoría de las muestras analizadas se encontró una relación inversa entre fósforo y colonización micorrízica (Figura 6), especialmente en la muestra Y29 (tomada en el Colegio Francisco de Orellana, cerca a la quebrada Cuyaté) que presentó un nivel muy alto de fósforo (38,28 ppm) y un nivel bajo de colonización de HFMA (26%).

Esta diferencia puede deberse a que en zonas más bajas o zonas inundables el contenido de fósforo es mayor que en zonas altas (Peña-Venegas *et al.*, 2006). La mayoría de las muestras tomadas en chagras, de la zona centro y alta de la comunidad, presentaron valores muy bajos a medios de fósforo. No obstante, las muestras cercanas al río Amazonas y a las quebradas Cuyaté y Mata-matá reportaron niveles medios a muy altos de fósforo, en comparación con las tomadas en zonas lejanas a fuentes de agua.

Lo anterior coincide con el estudio de Arcos (2003) en el sur del Trapecio Amazónico, el cual reportó mayor porcentaje de colonización en relieves de loma y terraza que en planos de inundación. Estos resultados se asociaron con el bajo contenido de fósforo, pH muy ácido y escasa disponibilidad de micronutrientes en zonas no inundables.

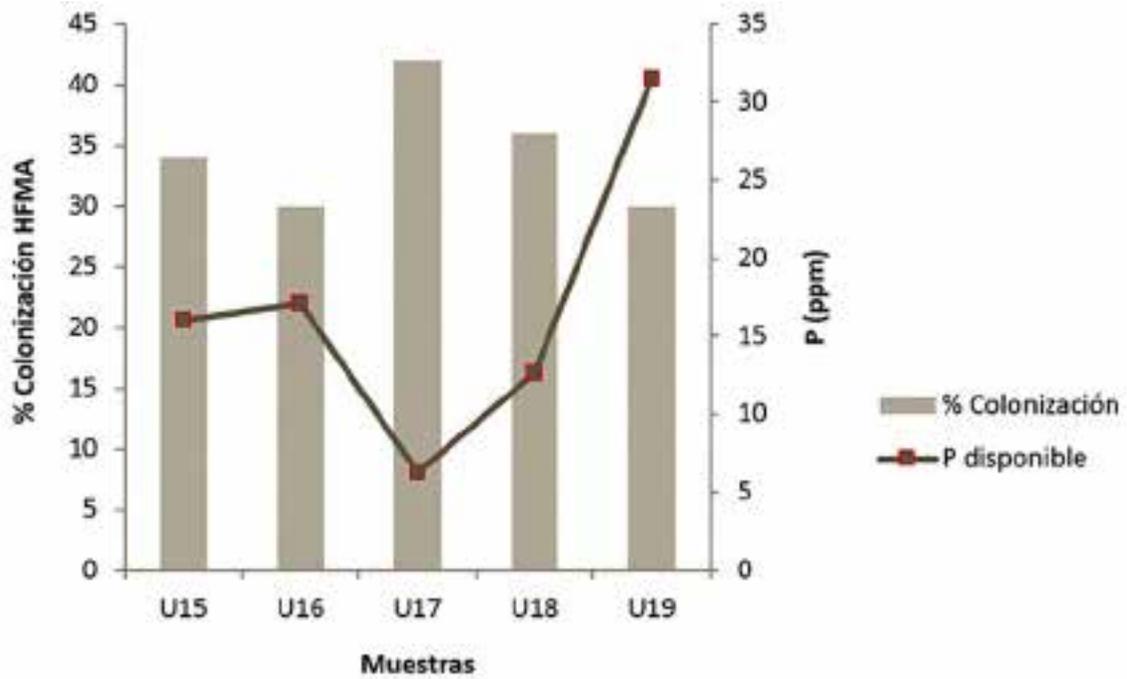


Figura 5. Relación de porcentaje de colonización y fósforo disponible en suelo rizosférico de muestras de uña de gato.

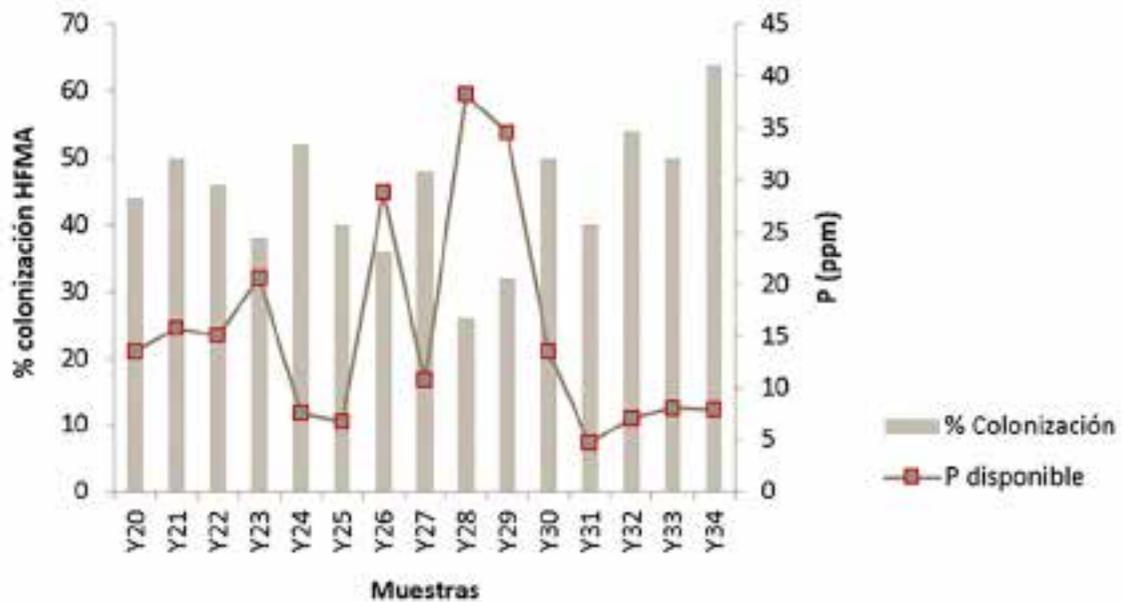


Figura 6. Relación de porcentaje de colonización y fósforo disponible en suelo rizosférico de muestras de yarumo.

## CONCLUSIONES

Las características de los suelos del resguardo, tales como: alta humedad aprovechable, baja fertilidad, condiciones extremas de acidez, bajo contenido de bases intercambiables y baja saturación de bases, han permitido la identificación de cuatro unidades cartográficas: LMa, LLb, LBd y LAc. Debido a sus propiedades fisicoquímicas y ubicación en el territorio es recomendable establecer el cultivo de las plantas medicinales en las dos últimas unidades.

Es posible que por su característica de planta pionera, el yarumo haya presentado la mayor afinidad con las micorrizas, al igual que una alta abundancia de esporas. La presencia de los géneros *Glomus* y *Acaulospora* como morfotipos dominantes en las muestras analizadas, indica que éstos tienen la capacidad de tolerar rangos más altos de acidez del suelo. Igualmente, la presencia de plantas micotróficas, como la yuca, pudo haber influido en la colonización micorrízica y la formación de propágulos en las muestras tomadas en la zona de chagra.

Las plantas medicinales presentaron una afinidad media por los HFMA con las vesículas como estructura dominante del hongo. Asimismo, la baja correlación de la humedad aprovechable con el porcentaje de colonización, indicó que hay una respuesta independiente de la colonización micorrízica y la presencia de esporas a este factor. No obstante, el contenido de fósforo disponible influyó de forma inversa sobre el porcentaje de colonización, especialmente en zonas de tierra firme donde son menores los procesos de lavado y escorrentía.

Debido a esa capacidad que tienen las micorrizas arbusculares para alterar la estructura de las comunidades de plantas, su incorporación a las prácticas agrícolas es una opción viable económica y ecológica para fortalecer los procesos productivos, pues se pueden constituir en una tecnología limpia de bioinsumo y una herramienta para combatir la degradación del suelo cultivado.

En Macedonia, la articulación del conocimiento generado en esta investigación sobre las propiedades fisicoquímicas del suelo y la colonización de los géneros de micorrizas, es básico para seguir desarrollando estudios que permitan determinar las especies de HFMA

que tienen mayor especificidad con las plantas analizadas y que podrían ser útiles para la recuperación de suelos bajo distintas prácticas de manejo.

## LITERATURA CITADA

- Aguilar-Fernández, M., V. J. Jaramillo, L. Varela-Fregoso and M. E. Gavito. 2009. Short-term consequences of slash-and-burn practices on the arbuscular mycorrhizal fungi of a tropical dry forest. *Mycorrhiza*. 19(3):179-186.
- Álvarez-Sánchez, M. E., E. Hernández-Acosta, R. Maldonado-Torres y M. Rivera-González. 2013. Encalado y micorriza para corregir deficiencia de fósforo en un Andisol cultivado con *Pinus halepensis*. *Madera y Bosques*. 19(1):7-16.
- Arcos, A. L. 2003. Distribución de la asociación micorrízica arbuscular en ecosistemas naturales e intervenidos. **En:** Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Aspectos ambientales para el ordenamiento territorial del Trapecio Amazónico, Bogotá. pp. 1-39.
- Aristizabal, C. 2008. Arbuscular mycorrhizal fungi enhance the acquisition of mineral nutrients from leaf litter by *Morella cerifera*. Tesis doctoral. Universidad de Miami, Miami, Florida. 35 p.
- Barriga, J., M. Visbal y J. Acero. 2011. Relación entre los caracteres de las micorrizas arbusculares nativas con las propiedades fisicoquímicas del suelo y bromatología del pasto estrella en ganadería de carne. *Revista Científica UDO Agrícola*. 11(1):134-141.
- Bray, R. H. and L. T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphate in soils. *Soil Sci*. 59:39-45.
- Cardona, G., C. P. Peña-Venegas y A. L. Arcos. 2008. Ocurrencia de hongos formadores de micorriza arbuscular asociados a ají (*Capsicum* sp.) en la Amazonía colombiana. *Agronomía Colombiana*. 26(3):459-470.
- Cardona, G. I., A. L. Arcos y U. G. Murcia. 2005. Abundancia de actinomicetes y micorrizas arbusculares en paisajes fragmentados

- de la Amazonía colombiana. *Agronomía Colombiana*. 23(2):317-326.
- Covacevich, F., H. R. Sainz, P. Barbieri y H. E. Echeverría. 2005. Formas de colocación de fósforo sobre el crecimiento y la micorrización espontánea del cultivo de trigo. *Ciencia del Suelo*. 23(1):39-45.
- Garzón, L. P. 2014. Zonificación de áreas para el cultivo sostenible de las plantas medicinales de yarumo (*Cecropia sciadophylla*), carambolo (*Averrhoa carambola*) y uña de gato (*Uncaria tomentosa*), asociadas con la presencia de micorrizas arbusculares en los suelos del Resguardo Indígena de Macedonia, Amazonas. Tesis de maestría Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá. 36 p.
- Gazey, C., L. Abbot and A. Robson. 1992. The rate of development of mycorrhiza effects the onset of sporulation and production of external hyphae by two species of Acaulospora. *Mycological Research*. 96(8):643-650.
- Gerdemann, J. W. and T. H. Nicolson. 1963. Spores of Mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological Society*. 46(2):235-244.
- Guerra, B. H. y M. R. Chacón. 2012. Simbiosis micorrizica arbuscular y acumulación de aluminio en *Brachiaria decumbens* y *Manihot esculenta*. *Bioteconología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 10(2):87-98.
- Guerra, S. B. 2008. Micorriza Arbuscular. Recurso microbiológico en la agricultura sostenible. *Tecnología en Marcha*. 2(1):191-201.
- IBM (International Business Machines Corporation). 2012. SPSS Statistics for Windows, versión 21.0. IBM corp., New York.
- IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). 2003. Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras de Amazonas. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Leticia, Colombia. pp. 193-333.
- Kalinhoff, C., A. Cáceres y L. Lugo. 2009. Cambios en la biomasa de raíces y micorrizas arbusculares en cultivos itinerantes del Amazonas Venezolano. *Interciencia*. 34(8):571-576.
- León, D. 2006. Evaluación y caracterización de micorrizas arbusculares asociadas a yuca (*Manihot esculenta* sp.) en dos regiones de la Amazonía colombiana. Tesis de grado de Microbiología Agrícola y Veterinaria, Universidad Pontificia Javeriana, Bogotá. 125 p.
- Malagón, D. 2003. Ensayo sobre tipología de suelos colombianos - énfasis en génesis y aspectos ambientales. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. 27(104):319-341.
- Martín, J. y G. Pérez. 2009. Evaluación agroproductiva de cuatro sectores de la provincia de Pastaza en la Amazonía ecuatoriana. *Cultivos Tropicales*. Disponible en línea: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362009000100003&script=sci\\_arttext](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362009000100003&script=sci_arttext). [Mar. 16, 2014].
- Méndez, J. C. y F. Bertsch. 2012. El uso de bases de datos en el estudio de la fertilidad de los suelos agrícolas de Costa Rica: Estado actual y principales cambios en el tiempo. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*. 8(1):27-33.
- Peña-Venegas, C. P., G. I. Cardona, A. Mazorra, J. H. Arguelles y A. L. Arcos. 2006. Micorrizas arbusculares de la Amazonía colombiana. Instituto Colombiano de Investigaciones Científicas - Sinchi, Leticia, Colombia. 90 p.
- Peña-Venegas, C. P., G. I. Cardona, J. H. Arguelles y A. L. Arcos. 2007. Micorrizas arbusculares del sur de la Amazonía colombiana y su relación con algunos factores fisicoquímicos y biológicos del suelo. *Acta Amazónica*. 37(3):327-336.
- Peña-Venegas, C. P. y J. C. Arias. 2009. Las leguminosas amazónicas y su importancia en la recuperación de suelos. *Revista Colombia Amazónica*. 2(10):161-172.

- Pérez, A., C. Botero y M. Cepero. 2012. Diversidad de micorrizas arbusculares en pasto colosuana (*Bothriochloa pertusa* [L.] A. Camus) de fincas ganaderas del municipio de Corozal-Sucre. *Revista MVZ Córdoba*. 17(2):3024-3032.
- Posada, R. H., L. A. Franco y E. Medina. 2006. El tiempo de establecimiento de pasturas y su relación con la micorriza arbuscular en paisajes de loma y vega. *Acta Biológica Colombiana*. 11:55-65.
- Posada, R. H., L. A. Franco, A. P. Cuellar, W. Sánchez y A. P. Sánchez. 2007. Inóculos de hongos de micorriza arbuscular en pasturas de *Brachiaria decumbens* (Poaceae) en las zonas de loma y vega. *Acta Biológica Colombiana*. 12(1):113-120.
- Rodríguez, F., G. Paredes, R. Bazán y J. Ramírez. 1992. Algunas propiedades físicas, químicas y mineralógicas de materiales sedimentarios recientes en un complejo de orillares del río Amazonas. *Folia Amazónica*. 4(2):5-29.
- Roveda, G. y C. Polo. 2007. Mecanismos de adaptación de maíz asociado a *Glomus* spp. en suelos con bajo fósforo disponible. *Agronomía Colombiana*. 25(2):349-356.
- Ruiz, P. O., K. C. Rojas y E. Sieverding. 2011. La distribución geográfica de los hongos de micorriza arbuscular: Una prioridad de investigación en la Amazonía peruana. *Espacio y Desarrollo*. 23:47-63.
- Ruiz, P. O. y C. B. Davey. 2005. Micorrizas arbusculares en ultisoles de la Amazonía peruana. *Folia Amazónica*. 14(2):57-74.
- Sieverding, E. 1984. Aspectos básicos de la investigación de la micorriza vesículo-arbuscular. **En:** Investigaciones sobre Micorrizas en Colombia, Memorias del I Curso Nacional sobre Micorrizas, Universidad Nacional, Palmira. pp. 1-14.
- Tapia-Goné, J. J., R. Ferrara-Cerrato, L. Varela-Fregoso, J. C. Rodríguez-Ortiz, J. C. Soria-Colunga, M. A. Tiscareño-Iracheta, C. Loredó-Osti, J. Alcalá-Jáuregui y C. Villar-Morales. 2010. Infectividad y efectividad de hongos micorrízicos arbusculares nativos de suelos salinos en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*). *Revista Mexicana de Micología*. 31:69-74.
- Toro, M., I. Bazó y M. López. 2008. Micorrizas arbusculares y bacterias promotoras de crecimiento vegetal, biofertilizantes nativos de sistemas agrícolas bajo manejo conservacionista. *Agronomía Tropical*. 58(3):215-221.
- Trouvelot, A., J. Kough et V. Gianinazzi-Pearson. 1986. Mesure du taux de mycorrhization VA d'un système racinaire. Recherche de méthodes d'estimation ayant une signification fonctionnelle. **En:** V. Gianinazzi-Pearson and S. Gianinazzi. Physiological and genetical aspects of mycorrhizae, Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), Paris. pp. 101-109.
- Useche, Y. M., H. Valencia y H. Pérez. 2004. Caracterización de bacterias y hongos solubilizadores de fosfato bajo tres usos de suelo en el sur del Trapecio Amazónico. *Acta Biológica Colombiana*. 9(2):129-130.
- Zagal, E. y A. Sadzawka. 2007. Protocolo de métodos de análisis para suelos y lodos. Facultad de de Agronomía Chillán, Universidad de Concepción, Concepción, Chile. 19 p.
- Zevallos-Pollito, P. A. e M. Tomazello. 2010. Levantamento e caracterização de duas espécies do gênero *Uncaria* Schreb. (Rubiaceae) correntes no Estado do Acre, Brasil. *Ecologia Aplicada*. 9(1):19-30.