

Evaluación de micorrizas arbusculares (hma) asociadas a tres sistemas de uso del suelo, zona altoandina de Nariño

Evaluation of arbuscular mycorrhizae (hma) associated with three systems of land use, high Andean zone of Nariño

Andrea Carolina Gómez Molina¹, Carolina Ordóñez Gómez², Héctor Ramiro Ordoñez J³, German Ernesto Chaves Jurado⁴, Jorge Fernando Navia Estrada⁵.

¹ Ingeniera Agroforestal. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño, San Juan de Pasto, Colombia. acgm2693@gmail.com

² Ingeniera Agroforestal. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño, San Juan de Pasto, Colombia. carolinaog123@hotmail.com

³ Profesor Tiempo Completo I.F. Ph.D. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño, San Juan de Pasto, Colombia. hectoramiro@hotmail.com

⁴ Profesor Hora Cátedra IA. M.Sc. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño, San Juan de Pasto, Colombia. g-ch-j@hotmail.com

⁵ Profesor Tiempo Completo IA. Ph.D. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño, San Juan de Pasto, Colombia. jomavia@yahoo.com

RESUMEN

Actualmente, las actividades antropogénicas, han generado daños visibles en la estructura y composición del suelo, afectando principalmente las poblaciones de microorganismos, como los HMA, los cuales son considerados de gran importancia en los agroecosistemas, por sus mecanismos de captación de nutrientes esenciales para la planta, reduciendo el estrés biótico y abiótico, la competencia entre plantas e incrementando su productividad. Esta investigación, se realizó en el municipio de Pasto, Nariño, se evaluó el porcentaje de colonización de HMA en tres usos del suelo: Bosque Secundario (BS), Pastura Tradicional (PT) y Sistema Silvopastoril (SSP), en dos profundidades de 0-10 cm y de 10-20 cm, mediante un diseño experimental BCA, con un arreglo factorial de 3x2, con seis tratamientos y tres repeticiones. Los resultados obtenidos, mostraron diferencias significativas en el uso de suelo BS y PT, en donde la mayor colonización de las estructuras evaluadas, se presentó en el sistema de uso de BS con 66,67% de hifas, 52,38% de arbusculos y 42,86% de esporas. En cuanto a la variable de profundidad, la mayor colonización de HMA, se presentó de 10-20 cm. Los hongos formadores de micorriza,

estuvieron presentes en los tres usos de suelo evaluados, pero su población y actividad dependen de las condiciones ambientales donde se desarrollan.

Palabras clave: Arbusculos, bosque, pastura, sistema silvopastoril, suelo.

ABSTRACT

Currently, anthropogenic activities have caused visible damage to the structure and composition of the soil, mainly affecting the populations of microorganisms, such as AMF, which are considered of great importance in agroecosystems, due to their mechanisms of uptake of essential nutrients for the plant, reducing biotic and abiotic stress, competition between plants and increasing their productivity. This investigation was carried out in the municipality of Pasto, Nariño. The percentage of AMF colonization was evaluated in three land uses: Secondary Forest (BS), Traditional Pasture (PT) and Silvopastoral System (SSP), in two depths of 0-10 cm and 10-20 cm, using an experimental BCA design, with a factorial arrangement of 3x2, with six treatments and three repetitions. The results obtained showed significant differences in BS and PT soil use, where the highest colonization of the evaluated structures was presented in the BS use system with 66.67% of hyphae, 52.38% of arbuscules and 42.86% of spores. As for the depth variable, the highest AMF colonization was 10-20 cm. Mycorrhizal fungi were present in the three evaluated land uses, but their population and activity depend on the environmental conditions where they develop.

Key words: Arbuscules, forest, pasture, silvopastoral system, soil.

INTRODUCCIÓN

La intensificación de la agricultura convencional unida a un gran número de actividades antropogénicas, han acelerado los procesos erosivos, debido a la deforestación y al cambio de cobertura, que conlleva a la compactación de los suelos, el cual disminuye la capacidad de infiltración, provocando aumento de la escorrentía superficial, que trae consigo la erosión y pérdida de la materia orgánica del suelo (MOS) y menor disponibilidad de nutrientes; esto es particularmente crítico en las áreas con vocación agrícola, por los

cambios adversos en las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos (Tirado, 2017).

Lo anterior, ejerce una presión selectiva sobre los microorganismos, impidiendo la formación de complejos leguminosa-rizobios-MA y las gramíneas-MA, entre otras interacciones, que con el tiempo, modifica las características fisicoquímicas y biológicas del suelo, acelerando la pérdida de la biodiversidad de microorganismos, especialmente los HMA, los cuales se ven afectados por la ruptura del micelio externo, debido a que éste contribuye a la formación de la estructura del suelo (Lozano *et al.*, 2015).

Según Viasus (2015), en la actualidad se han generado estudios, para demostrar el efecto benéfico de los HMA, en el mejoramiento de la nutrición, crecimiento y adaptación de las plantas ante diversas condiciones de estrés y factores bióticos y abióticos; además, de encontrar la compatibilidad entre la diversidad de HMA y las diferentes plantas de interés productivo comercial, buscando de esta manera, la especificidad de la asociación y el beneficio que cada especie de HMA presenta hacia el cultivo.

Los microorganismos, guardan relación con la fertilidad del suelo y la nutrición de las plantas, a través de mecanismos de suministro directo de nutrientes; es el caso de las plantas micorrizadas, las cuales incrementan la captación de nutrientes minerales, especialmente aquellos que son poco móviles en el suelo, como fósforo, cobre y zinc; así mismo, la solubilización de formas inorgánicas de nutrientes e indirectamente el mejoramiento de las propiedades físicas del suelo (Rivera *et al.*, 2014).

En los ecosistemas y agroecosistemas, las plantas micorrizadas crecen mejor que las no micorrizadas en suelos infértiles, por producir un incremento en la nutrición mineral a través de las hifas, quienes ayudan a explorar un mayor volumen de suelo que los pelos radiculares de las mismas plantas (Pérez *et al.*, 2011).

Dada la importancia y justificación expuesta alrededor del tema de micorrizas y en asociación con el uso de suelo, la presente investigación tuvo como objetivo, determinar cómo los diferentes usos del suelo afectan la presencia y la colonización de los HMA, los cuales se evaluaron en: Bosque Secundario (BS), Pastura Tradicional (PT) y Sistema Silvopastoril con aliso (*Alnus acuminata* Kunth), ubicados en la zona alto andina (Vereda Cruz de Amarillo Corregimiento de Catambuco, Municipio de Pasto).

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló en la, Vereda Cruz de Amarillo, Corregimiento de Catambuco, Municipio de Pasto, departamento de Nariño, con una altitud de 2820 m.s.n.m, con una temperatura promedio de 12°C (IDEAM, 2011); geográficamente se encuentra localizado a 1° 08' 12, 3" LN y 77° 18' 57, 42" LO. El análisis microbiológico del suelo, se realizó, en el Laboratorio de Sanidad Vegetal de la Universidad de Nariño, con temperatura promedio de 19,1°C y humedad relativa de 50% (Hormaza y Ortiz, 2013). Los usos del suelo evaluados, se describen a continuación:

Bosque Secundario (BS). El bosque tiene una edad aproximada de 27 años, se caracteriza por la presencia de especies nativas como la Chilca *Baccharis odorata* (H.B.K), Amarrillo *Miconia polyneura* Triana., Encino liso *Weinmannia rollotti* Engl, Pucasacha *Tibouchina mollis* (Bompl) Cogn, Laurel de cera *Morella pubescens* (Humb. & Bonpl. ex Willd, Wilbur) y especies introducidas como Pino *Pinus patula* Schl. Cham, Acacias *Acacia decurrens* (J.C.Wendl.) Willd, *Acacia melanoxylon* R.Br y Aliso *Alnus acuminata* Kunth. No se realiza ningún manejo al bosque, puesto que este está destinado en su totalidad para la restauración y conservación.

Pastura Tradicional (PT). Está compuesta por Kikuyo *Pennisetum clandestinum* Hochst. ex Chiov, Trébol rojo *Trifolium pratense* L y pasto Brasileiro *Phalaris tuberosa* L, con una cerca viva *A. acuminata*, sembrado a un metro de distancia. El área total de la pastura, es de 12 hectáreas, las cuales están divididas en lotes de 2000 m²

cada uno, utilizados para la rotación de ganado, que en época de verano es cada 74 días y en época de invierno cada 40 días; la fertilización del pasto, se hace netamente con el estiércol del ganado.

Sistema Silvopastoril (SSP). Compuesto por *A. acuminata*, sembrado a tres metros en líneas y pastos naturales como *P. clandestinus* y forrajeras como el *P. major*, *T. pratense*, Diente de león *Taraxacum officinale* L y Lotus *Lotus* sp. El área total del sistema es de dos hectáreas, las cuales están destinadas para el pastoreo en rotación del ganado y para ensilaje.

Diseño experimental. Se utilizó un diseño experimental de Bloques Completos al Azar (BCA), con un arreglo bifactorial 3x2, con seis tratamientos y tres repeticiones, para un total de 18 unidades experimentales. El factor A, correspondió a los tres usos de suelo evaluados, con tres niveles, así: 1) Bosque Secundario (BS), 2) Pastura Tradicional (PT) y 3) Sistema Silvopastoril (SSP); el factor B, representado por las profundidades evaluadas y compuesto por dos niveles, así: 1) profundidad de 0–10 cm y 2) profundidad de 10–20 cm. En la Tabla 1, se observa el esquema del diseño experimental utilizado en este estudio.

Tabla 1. Esquema del diseño experimental utilizado para la evaluación de HMA, en tres usos del suelo, municipio de Pasto.

Trat.	BLOQUE
T1	BS* Profundidad 0-10 cm
T2	BS* Profundidad 10-20 cm
T3	PT* Profundidad 0-10 cm
T4	PT* Profundidad 10-20 cm
T5	SSP* Profundidad 0-10 cm
T6	SSP* Profundidad 10-20 cm

Muestreo de raíces: Se realizó en tres usos de suelo, BS, PT y SSP. Se muestrearon tres parcelas de 12m² en cada uso, distribuidas al azar. Se utilizó una pala para extraer monolitos de suelo, de los cuales se separaron las dos profundidades de estudio y se tomó la porción del tercio medio para llevar al laboratorio. Estas submuestras se homogeneizaron y se tomaron 21g de suelo por cada profundidad de cada uso de suelo evaluado, para un total de 378g, siendo una muestra significativa de acuerdo a Sánchez *et al.*, (2010); las muestras se colocaron en bolsas herméticas y fueron trasladadas en neveras de icopor al Laboratorio de Sanidad Vegetal, previamente marcadas con su respectivo uso, profundidad y repetición; se conservaron por 16 horas en nevera a una temperatura de 6-8 °C.

Evaluación en laboratorio. La fase de tinción y preparación de raíces, se realizó en el Laboratorio de Sanidad Vegetal de la Universidad de Nariño. Aproximadamente, 16 horas después de recolectadas las muestras, se realizó la preparación de las raíces, siguiendo la metodología propuesta por Sánchez *et al.*, (2010) donde se realizó, lavado de las muestras con agua de grifo a presión; las raíces se cortaron en fragmentos de 2cm y se distribuyeron en tubos de ensayo rotulados con sus respectivos tratamientos y tres repeticiones. Luego se les aplicó KOH (10%), se llevó a baño maría (90°C) por 5 minutos, se enjuagaron las raíces con agua de grifo a presión y se agregó HCl (10%) por 5 minutos. Se lavaron las raíces con hipoclorito de sodio (NaClO) al 1% y se lavó con agua destilada tres veces. Posteriormente, se agregó azul de tripano, se colocaron a baño maría (90°C) por 5 minutos y se lavaron nuevamente con agua destilada. Finalmente, se agregó a las muestras glicerina y se dejó por un espacio de 30 minutos y se realizaron las observaciones, con ayuda de un microscopio en objetivo de 40X.

Descripción de las variables evaluadas. Los métodos analíticos utilizados para evaluar las diferentes variables fueron:

Porcentaje de colonización por hifas: $\%CH = H/T * 100$

%CH: Porcentaje de colonización por hifas.

H: número de fragmentos de raíz colonizados por hifas

T: número total de fragmentos de raíz (Sánchez *et al.*, 2010).

Porcentaje de colonización arbusculos: $\%CA = A/T * 100$

%CA: Porcentaje de colonización por arbusculos.

A: número de fragmentos de raíz colonizados por arbusculos

T: número total de fragmentos de raíz (Sánchez *et al.*, 2010).

Porcentaje de colonización esporas: $\%CE = E/T * 100$

%CE: Porcentaje de colonización por esporas.

E: número de fragmentos de raíz colonizados por esporas

T: número total de fragmentos de raíz (Sánchez *et al.*, 2010).

Para las observaciones, se tomaron tres fragmentos de raíz de 2cm, las cuales se distribuyeron horizontalmente en el portaobjetos, previamente rotulados con cada uno de los usos y profundidad; se aplicó glicerina y se cubrió con cubreobjetos, luego las placas se colocaron en el microscopio, donde inicialmente para enfocar, se utilizó el objetivo 10X y para realizar las observaciones, se utilizó el objetivo 40X. Se hizo un recorrido por el portaobjetos de forma horizontal por cada uno de los fragmentos de raíz, identificando las diferentes estructuras (esporas, hifas y arbusculos) y realizando el conteo de cada una de ellas y de esta manera registrando de forma ordenada los datos.

Análisis estadístico. Las variables fueron sometidas a Análisis de Varianza, cuando presentaron diferencias estadísticas, se realizaron comparaciones de medias de Tukey ($p < 0.05$). Los resultados fueron analizados en el programa Infostat versión 2016.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Porcentaje de colonización por hifas (PCH). El Análisis de Varianza realizado para el porcentaje de colonización por hifas (Tabla 2) muestra que existen diferencias significativas en la variable de profundidad del suelo y en la interacción uso por profundidad y altamente significativas para la variable uso del suelo.

Tabla 2. Análisis de Varianza para la variable porcentaje de colonización de hifas (PCH).

F.V	SC	GI	CM	F	P_valor
USO	3866	2	1933	15,07	0,0076**
PROF	1081,86	1	1081,86	8,44	0,0336*
USO*PROF	2019,5	2	1009,75	7,87	0,0285*
Error	641,28	5	128,26		
Total	7639,93	11			

*= significativa al 95% de nivel de confianza; **=Altamente significativo al 99% de nivel de confianza

Con el Análisis de Varianza, se logra determinar que la colonización por hifas actúa de forma diferente en el uso de suelo BS y PT de 10-20 cm, en comparación con PT y SSP, de 0-10 cm y de 10-20 cm, respectivamente, al igual que la interacción entre estas dos variables, son determinantes para la colonización por hifas, de acuerdo a la prueba de comparación de medias de Tukey (Tabla 3). Se logra establecer que en BS se encuentra un 66,67 % y PT 61,90% de colonización a profundidad de 10-20 cm, valor que supera a la de SSP a la misma profundidad donde solo se encuentra 12,08 % de colonización y 9,86% en Pastura a profundidad de 0-10 cm.

Tabla 3. Prueba de Comparación de Medias de Tukey entre los usos y profundidad de suelo en la colonización por hifas.

USO	PROF	MEDIAS		
PT	0-10 cm	9,86	A	
SSP	10-20 cm	12,08	A	
SSP	0-10 cm	19,05	A	B
BS	0-10 cm	54,77	A	B
PT	10-20 cm	61,90		B
BS	10-20 cm	66,67		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

La profundidad, es un factor determinante para la colonización de HMA, de acuerdo a estudios realizados por Peña *et al.*, (2007), quienes evaluaron la presencia natural de hongos micorrícicos de tipo arbuscular (HMA) bajo bosque, rastrojo joven y praderas establecidas, a dos profundidades diferente (0-20 cm y 20-30cm). Se encontró diferencias significativas en la profundidad, obteniendo un número mayor de esporas en los primeros 20 cm del suelo, superando la concentración detectada entre los 20 y 30cm de profundidad. Lo anterior, confirma los datos obtenidos en esta investigación, debido a que existen resultados donde hay mayor presencia en la profundidad de 0-10 cm y en otros casos de 10-20 cm, por tanto, en las dos profundidades evaluadas se encontraron cantidades significativas de HMA. Peña *et al.*, (2007) indican que la mayor presencia biológica, se presenta en los 20 cm superficiales del suelo, en donde crecen y se desarrollan la mayoría de las raíces absorbentes, se acumula y transforma la materia orgánica y se liberan nutrientes, lo cual, está relacionado con la baja importancia que la fase mineral del suelo tiene, en el aporte de nutrientes para los organismos edáficos y las plantas

Según Garzón (2016), la especie vegetal predominante, el pH, la humedad del suelo, la conductividad, el contenido de fósforo, nutrientes y metales pesados, influyen en la permanencia y colonización de HMA. Como variables de mayor impacto según Ojeda *et al.*, (2014) destacan, el nivel de fertilidad del suelo en fósforo y nitrógeno, la temperatura, la humedad, la MO, la acidez y la época del año, también, la alta fertilización química conduce a una mínima colonización por parte de HMA (Guerra, 2008).

La materia orgánica, es otro determinante para la presencia de HMA, para este caso, los contenidos de materia orgánica reportados para estos suelos, fueron ligeramente mayores en el SSP con un 21,3 % que los que están bajo PT con 13,1%. Es importante tener en cuenta, que un mayor contenido de materia orgánica incrementa la agregación del suelo, la capacidad de intercambio catiónico, la retención de agua, la productividad de las comunidades de plantas, la abundancia y la actividad de los microorganismos (Cardona *et al.*, 2005).

Porcentaje de colonización por arbusculos (PCA). Según el ANDEVA de colonización por arbusculos, existen diferencias significativas en la variable uso y en la interacción uso por profundidad como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Análisis de Varianza para la variable Porcentaje de Colonización de Arbusculos (PCA).

F.V	SC	GI	CM	F	P_valor
USO	2686,07	2	1343,04	11,36	0,0138*
PROF	366,64	1	366,64	3,1	0,1386
USO*PROF	1560,66	2	780,33	6,6	0,0396*
Error	591,23	5	118,25		
Total	5211,65	11			

*= diferencia significativa al 95% de nivel de confianza.

En este caso, a una profundidad de 0-10 cm, en BS, existe un mayor porcentaje de Colonización por arbusculos con 52,38%, siendo significativamente superior a los del uso PT a una profundidad de 0-10 cm, donde el porcentaje de colonización es de 2,72% y del SSP que es de 12,24 % a profundidad 10-20 cm (Tabla 5).

Tabla 5. Prueba de Comparación de Medias de Tukey entre uso y profundidad en la colonización por arbusculos.

USO	PROF	MEDIAS		
PT	0 - 10 cm	2,72	A	
SSP	10 - 20 cm	12,24	A	
SSP	0 - 10 cm	12,41	A	B
BS	10 - 20 cm	33,33	A	B
PT	10 - 20 cm	42,86	A	B
BS	0 - 10 cm	52,38		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Peña *et al.*, (2007), afirma que la mayor colonización, ocurre en raicillas ubicadas en los primeros 10 cm del suelo. López (2012), afirma que las raíces finas, se distribuyen principalmente en los primeros centímetros del suelo y disminuyen exponencialmente a medida que aumenta la profundidad, sin embargo, la profundidad hasta la cual pueden penetrar las raíces finas está relacionada con la tasa de infiltración de nutrientes y las relaciones hídricas hasta 30-40 cm de profundidad.

Por otro lado, estudios realizados por Garzón (2016), quien determinó la funcionalidad de los hongos formadores de micorrizas, evaluando la abundancia de las micorrizas bajo coberturas de bosques y pastos en un paisaje fragmentado, obtuvo resultados similares, que mostraron al bosque, como el sistema con la mayor cantidad de especies de HMA con un promedio de 68,9% y los pastos con valores de colonización que alcanzaron el 36,2%. Así mismo, Peña y Arias (2009), quienes evaluaron el nivel de colonización de raíces con HMA nativos en especies de leguminosas ubicadas en potreros, chagras, rastrojo y bosques, encontraron que las muestras colectadas en bosques, tenían un mayor porcentaje de colonización que las obtenidas en los potreros.

Chimal *et al.*, (2015), indican que las prácticas agropecuarias, son los principales factores de perturbación que cambia negativamente la estructura de la vegetación, además, que la composición de las plantas ejerce una influencia sobre la riqueza y la presencia de las comunidades de HMA; de igual forma, Lara *et al.*, (2014), concluyen que la riqueza y abundancia de HMA, se registró en áreas de bosques con mayor grado de conservación, que en áreas donde la actividad antrópica es mayor.

Por otra parte, investigaciones realizadas por López (2012), afirma que valores altos de micorrización (50% y 84%) están asociados a bajos valores de pH, corroborando los resultados obtenidos en este trabajo, debido a que los pH son relativamente bajos (PT 5,2, BS 5,1 y SSP de 4,3), considerados moderadamente ácidos a extremadamente.

La relación que se establece entre los rangos de pH del suelo y el efecto de la colonización micorrizógena, es verdaderamente complejo, dependiendo no sólo de la especie micótica, sino también del tipo de suelo, la forma en que se encuentran los nutrientes, fundamentalmente el fósforo (P), nitrógeno (N) y otros elementos como cobre (Cu), zinc (Zn), molibdeno (Mo), boro (B), entre otros (López, 2012).

Porcentaje de colonización por esporas (PCE). El Análisis de Varianza presentado en la Tabla 6, para la variable Porcentaje de Colonización por Esporas, mostró diferencias estadísticas significativas para la doble interacción uso por profundidad y altamente significativa para la variable uso.

Tabla 6. Análisis de Varianza para el Porcentaje de Colonización de Esporas (PCE).

F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
USO	2543,04	2	1271,52	18,64	0,0048**
PROF	319,3	1	319,3	4,68	0,0828
USO*PROF	980,35	2	490,18	7,18	0,0339*
Error	341,14	5	68,23		
Total	4233,77	11			

*= diferencia significativa al 95% de nivel de confianza; **=Altamente significativo al 99% de nivel de confianza

De acuerdo a la Prueba de Comparación de Medias de Tukey (Tabla 7) realizada para el Porcentaje de Colonización por Esporas, se muestra la existencia de diferencias en el uso de BS a profundidad de 0-10 cm con un porcentaje de colonización de 42,86% y con 3,12% en PT a una profundidad de 0-10 cm 2,72% de colonización de 10-20 cm en el uso de SSP.

Tabla 7. Prueba de Comparación de Medias de Tukey entre uso y profundidad en la colonización por esporas.

USO	PROF	MEDIAS			
SSP	10-20 cm	2,72	A		
PT	0-10 cm	3,12	A		
SSP	0-10 cm	5,43	A	B	
PT	10-20 cm	28,90		B	C
BS	10-20 cm	38,1		B	C
BS	0-10 cm	42,86			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Los resultados anteriores, permiten reafirmar lo establecido por Sánchez *et al.*, (2010), quienes concluyeron, que normalmente la mayor población de esporas de HMA, se concentra en los primeros 10 cm de profundidad en la zona rizosférica, donde se disponen la mayor proporción de raíces jóvenes. Así mismo, Medina *et al.*, (2009), quienes evaluaron la presencia de hongos micorrizógenos arbusculares (HMA), en suelos de zonas alteradas y no alteradas por minería de aluvión, encontraron que la mayor cantidad y diversidad de esporas, se presentó en los suelos con cobertura boscosa, caracterizado por su acidez y mayor contenido de materia orgánica.

Por otra parte, el estudio realizado por Pérez *et al.*, (2011), quienes afirman que las prácticas agrícolas como la labranza, la fertilización, el pastoreo y la tala de árboles, afectan significativamente la estructura y presencia de HMA, por tal razón, en el uso de suelo de pasto kikuyo y el sistema silvopastoril, se presenta menor porcentaje de esporas. Esta diferencia puede relacionarse con factores tales como, los cambios en el contenido de nutrientes, la alteración en la actividad microbiológica del suelo y el estrés causado a los hongos, por la pérdida progresiva de materia orgánica, que consecuentemente se refleja en la disminución de las comunidades de especies de HMA (Tirado, 2017).

Estudios realizados por Arévalo, (2018), demuestran que hay mayor cantidad de esporas por gramo en los primeros 15 cm de suelo, en esta diferencia del número de esporas por profundidad, se explica por la mayor distribución vertical de la fitomasa de raicillas de las plantas, en los primeros centímetros de profundidad del suelo, por lo tanto, a mayor cantidad de raíces, existirá un mayor porcentaje de colonización y en consecuencia una mayor esporulación.

Otra razón por la cual no existe presencia de esporas en la PT a profundidad 0-10 cm, posiblemente se debe a que en este tipo de suelo y a esta profundidad, se encuentra un mediano porcentaje de fósforo disponible con 21,9%; de acuerdo a Bolaños *et al.*, 2000, las concentraciones elevadas de fosfatos, disminuyen la dependencia micorrícica de las plantas y a su vez determinan, una menor población de los simbiontes; además, los valores del contenido de fósforo, pueden considerarse como un indicador de menor o mayor presencia de HMA (Bolaños *et al.*, 2000).

De igual forma, se puede inferir que la temperatura del suelo es un factor que favorece la densidad de esporas de HMA (Rodríguez *et al.*, 2015). Según lo reportado por diferentes autores, la abundancia de esporas está altamente influenciada por este parámetro (Entry *et al.*, 2002). Estudios realizados por Molina *et al.*, (2005) afirman que los árboles favorecen la humedad del suelo y así mismo la población de hongos micorrizógenos, por lo cual, se encontró mayor población de hongos en las áreas de mayor densidad de árboles, superando significativamente a las de baja densidad.

Es posible que la abundancia de esporas de HMA, sea mayor en sistemas donde se utilizan especies arbóreas en comparación con aquellos con monocultivo (Medina *et al.*, 2009). De igual forma lo afirma Arévalo, (2018) que, en los sistemas de bosque, los factores que influenciaron positivamente, fueron la diversidad de especies y el barbecho.

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos, se logra concluir que los diferentes usos del suelo, afectan la presencia o ausencia de los HMA, debido a que cada uso, presenta características

diferentes, en cuanto a su vegetación y su manejo, logrando así, encontrar mayor inoculación de las diferentes estructuras de HMA, en el BS, debido a que este sistema presenta una baja intervención humana y existe gran diversidad de especies vegetales que influyen positivamente en la presencia de microorganismos, contrario a esto la menor proporción se encontró en PT, debido a su mayor intervención, su baja diversidad vegetal y el continuo pastoreo animal, por lo cual, es posible que las zonas de pastoreo con un sistema silvopastoril obtengan mayor presencia de microorganismos que a su vez mejoren la fertilidad y producción en el sistema.

El SSP de Aliso, no mostró diferencias estadísticas significativas, lo cual puede deberse a que esta especie, realiza un simbiosis con otro tipo de microorganismos, como es la bacteria Frankia.

La investigación refuerza la importancia de tener una alta diversidad vegetal en un sistema de producción, aumentando la biodiversidad de microorganismos que directamente mejoran las condiciones físicas del suelo y ayudan al productor a obtener mejores productos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arévalo, Y. (2018). Evaluación y Caracterización de Hongos Micorrízicos Arbusculares en Tres Agroecosistemas y Dos Bosques en las Provincias de Alto Amazonas y Lamas. Recuperada de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/3247/arevalo-aranda-yuri-gandhi.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Bolaños, M., Rivillas, C. & Suárez, S. (2000). Identificación de micorrizas arbusculares en el suelo de la zona cafetera colombiana. *Revista Cenicafé*. 51(4):245-262.

Cardona, L., Arcos, L. & Murcia, U. (2005). Abundancia de actinomicetes y micorrizas arbusculares en paisajes fragmentados de la Amazonia Colombiana. *Revista Agronomía Colombiana*. 23(2): 317-326.

Chimal, E., García, R. & Hernández, L. (2015). Gran riqueza de hongos micorrizógenos arbusculares en el Valle del Mezquital, Hidalgo, México. *Revista Mexicana de Micología*. 41(1): 15-26. Recuperado de: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmm/v41/v41a4.pdf>

Entry, J., Rygiewicz, P., Watrud, L. & Donnelly, P. (2002). Influence of adverse soil conditions on the formation and function of Arbuscular mycorrhizas. *Adv Environ Res*. 7(1): 123-138. doi: [https://doi.org/10.1016/S1093-0191\(01\)00109-5](https://doi.org/10.1016/S1093-0191(01)00109-5)

Garzón, L. (2016). Importancia de las micorrizas arbusculares (MA) para un uso sostenible del suelo en la amazonia colombiana. *Revista Luna Azul*. 42(14): 217-234. doi:10.17151/luaz.2016.42.

Guerra, S. (2008). Micorriza arbuscular. Recurso microbiológico en la agriculturasostenible. *Revista Tecnología en Marcha*. 21(1): 191-201.

Hormaza, G. & Ortiz, V. 2013. Variaciones de pH rizosférico y contenido de fósforo en tejidos de *Lupinus mutabilis* L. en un andisol, Pasto, Nariño. Tesis de grado (Ingeniero Agroforestal) Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2011). Boletín climatológico. Recuperada de http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/climatologicomensual//document_library_display/xYvIPc4uxk1Y/view/395914?_110_INSTANCE_xYvIPc4uxk1Y_redirect=http%3A%2F%2Fwww.ideam.gov.co%2Fweb%2Ftiempoclima%2Fclimatologicomensual%3Fp_p_id%3D110_INSTANCE_xYvIPc4uxk1Y%26p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn1%26p_p_col_count%3D1

Lara, L., Noa, J., Landa, A., Hernández, S., Oros, I. & Andrade, A. (2014). Colonización y estructura de la comunidad de hongos micorrízicos arbusculares en *Alsophila firma* (Cyatheaceae) en bosque mesófilo de montaña en Veracruz, México. Recuperada de <http://www.scielo.sa.cr/pdf/rbt/v62n4/a27v62n4.pdf>

López, D. (2012). Producción de raíces finas y micorrización en café (*Coffea arabica* L.) cultivado bajo sistema convencional y orgánico en Turrialba, Costa Rica. Recuperada de <https://www.catie.ac.cr/attachments/article/551/Tesis-Grado-LTLopez-2012.pdf>

Lozano, D., Armbrrecht, I. & Montoya, J. (2015). Hongos formadores de micorrizas arbusculares y su efecto sobre la estructura de los suelos en fincas con manejos agroecológicos e intensivos. 64 (4): 289-296. doi: <http://dx.doi.org/10.15446/acag.v6.4n4.46045>.

Medina, M., Orozco, F. & Márquez, M. (2009). Diversidad de hongos micorrizógenos arbusculares de una cronosecuencia de suelos aluviales degradados por actividad minera en el bajo cauca antioqueño, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*. 62 (1): 4749-4759. Recuperada de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/24873/36680>.

Molina, M., Mahecha, L. & Medina, M. (2005). Importancia del manejo de hongos micorrizógenos en el establecimiento de árboles en sistemas silvopastoriles. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 18 (2): 162-175.

Ojeda, L., Furrázola, E. & Hernández, C. (2014). Micorrizas arbusculares en leguminosas de la empresa pecuaria El Tablón, Cuba. *Revista Pastos y Forrajes*. 37 (4): 392-398.

Peña, C. & Arias, J. (2009). Las leguminosas amazónicas y la importancia en la recuperación de suelos. Recuperada de <http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/11.las%20leguminosas%20amaz%C3%B3nicas%20y%20su%20importancia%20en%20la%20recuperaci%C3%B3n%20de%20suelos.pdf>

Peña, C., Cardona, G., Arguelles, J. & Arcos, A. (2007). Micorrizas arbusculares del sur de la amazonia colombiana y su relación con algunos factores físico químicos y biológicos del suelo. *Acta Amazónica*. 37(3): 327 - 326

Pérez, C., Rojas, S. & Montes, V. (2011). Hongos formadores de micorrizas arbusculares: Una alternativa biológica para la sostenibilidad de los agroecosistemas de praderas en el

Caribe Colombiano. *Revista Colombiana De Ciencia Animal – RECIA*. 3(2): 366-385. doi: <https://doi.org/10.24188/recia.v3.n2.2011.412>.

Rivera, Y., Acevedo, E. & Romero, H. (2014). Efecto de la micorrización arbuscular sobre el crecimiento y desarrollo de plántulas de palma de aceite en la etapa de previvero. Recuperada de https://www.researchgate.net/publication/264971872_Efecto_de_la_arbuscular_sobre_el_crecimiento_y_desarrollo_de_plantulas_de_palma_de_aceite_en_etapa_de_previvero.

Rodríguez, C., Navarro de León, A., Arboleda, J., Valencia, A. & Molinares, R. (2015). Hongos micorrizógenos arbusculares asociados a plantas de *Zea mays* en un agroecosistema del Atlántico, Colombia. *Revista Agronomía Caldas*. 23 (1):20-34. Recuperada de: [http://agronomia.ucaldas.edu.co/downloads/Agronomia23\(1\)_3.pdf](http://agronomia.ucaldas.edu.co/downloads/Agronomia23(1)_3.pdf)

Sánchez, M., Posada, R., Velasquez, D. & Narváez, M. (2010). Metodologías básicas para el trabajo con micorriza arbuscular y hongos formadores de micorriza arbuscular. Recuperada de https://www.researchgate.net/profile/Raul_Hernando_Posada/publication/271507112_

Tirado, A. (2017). Presencia de esporas de hongos micorrizógenos arbusculares en suelos del bosque alto andino, parque natural Chicaque. Recuperada de <http://hdl.handle.net/11349/5930>.

Viasus, C. (2015). Evaluación de la especificidad entre plantas e inóculos comerciales de micorrizas para el desarrollo y producción de arveja (*Pisum sativum*). Recuperada de <https://docplayer.es/40302072-Evaluacion-de-la-especificidad-entre-plantas-e-inoculos-comerciales-de-micorrizas-para-el-desarrollo-y-produccion-de-arveja-pisum-sativum-l.html>