

DETERMINACIÓN DE UN MODELO LOGÍSTICO PARA EVALUACIÓN *in situ* DE LA COLONIZACIÓN DE MICORRIZAS EN PASTO *Dichanthium aristatum* (L)**DETERMINATION OF A LOGISTIC MODEL FOR EVALUATION *in situ* OF COLONIZATION OF MYCORRHIZAE IN GRASS *Dichanthium aristatum* (L)**

PEREZ C., ALEXANDER. Dr^{1*} ROJAS S., JOHANNA. M.Sc² FUENTES C., JUSTO Esp.³

¹Universidad de Sucre, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Colombia. Grupo Bioprospección Agropecuaria. ²Universidad de Sucre, Colombia, Facultad de Educación y Ciencias, ³ Universidad de Sucre, Facultad de ingeniería

* Correspondencia: alexander.perez@unisucre.edu.co

Resumen

El objetivo fue evaluar la colonización de micorrizas arbusculares nativas, asociadas a raíces de la especie de pasto *Dichanthium aristatum* (L) en función de factores químicos del suelo, en fincas ganaderas, de la subregión fisiográfica de Sabanas. La determinación del porcentaje de colonización en raíces coloreadas, fue realizada por medio del conteo de micelio, esporas, células auxiliares, vesículas y arbusculos en el microscopio. El modelo o función de probabilidad creada fue utilizado para medir las posibilidades de ocurrencia de la colonización como respuesta a la presencia de ciertos factores químicos del suelo. Para obtener esta función logística se determinó la importancia de cada uno de estos factores de riesgo y sus posibles interacciones. Fueron muestreadas 60 fincas ganaderas. El proceso de modelación logística encontró que los factores que mejor explican el fenómeno de colonización de hongos formadores de micorrizas asociados a rizosfera de pasto angletón fueron el Nitrógeno, Calcio y el Potasio.

Palabras claves: micorrizas, colonización, pasto, regresión logística.

Abstract

The objective was evaluate the colonization of native arbuscular mycorrhizae associated with roots of grass species *Dichanthium aristatum* (L) in terms of chemical factors of soil, livestock farms, the physiographic subregion Sabanas. The determination of the percentage of root colonization in colored was performed by counting of mycelium, spores, auxiliary cells, vesicles and arbuscules in the microscope. The model created or probability function was used to measure likelihood of occurrence of colonization in response to the presence of chemical soil factors. For this logistic function was determined the importance of each of these risk factors and their possible interactions. 60 livestock farms were sampled. The logistic modeling process found that the factors that best explain the phenomenon of

colonization of mycorrhizal fungi associated with forming grass rhizosphere angleton were the Nitrogen, Calcium and Potassium.

Key words: Mycorrhizal, colonization, pasture, logistic modelling

Introducción

Sucre tiene 886.389 ha en suelos aptos para usos agropecuarios, equivalentes al 81,2% de la superficie total del departamento. En el departamento, la ganadería de doble propósito representa un 84,9% de su territorio (VILORIA, 2002). Una de las limitantes en la productividad animal es la escasez o falta total de forraje durante la época seca debido a la estacionalidad de las lluvias. Esta escasez es afectada cuando los suelos presentan diferentes grados de compactación, problemas erosivos, bajos niveles de fertilidad, la falta de abonamientos y el pastoreo extensivo, lo que genera la degradación de las praderas (AGUILERA, 2005).

En los últimos años se ha despertado interés por las interacciones entre plantas y hongos, especialmente con micorrizas arbusculares. Las micorrizas representan las asociaciones simbióticas entre las plantas y hongos basada sobre el intercambio de metabolitos y nutrientes (MIRANSARI *et al.*, 2009). Más del 90 % de las plantas embriofitas son capaces de formas simbiosis con micorrizas. Tanto los hongos como las plantas tienen distribución universal, presentándose de esta manera ecotipos adaptados a condiciones diversas y extremas. Es de señalar que las plantas y las micorrizas tienen un origen común (STRULLU-DERRIEN y STRULLU, 2007). Las micorrizas arbusculares están ampliamente distribuidas en condiciones naturales, se encuentran en todos los continentes, excepto en la Antártida; se dan en todos los suelos, incluyendo los de minas abandonadas, suelos agrícolas, suelos de pantanos y en hábitat acuáticos (CORWELL, 2001; TANG *et al.*, 2001)

Las micorrizas arbusculares son uno de los componentes de los ecosistemas naturales, representan entre el 5 a 50% de la biomasa de los microbios del suelo y son considerados como una comunidad biológica diversa y activa esencial para incrementar la sostenibilidad de los agroecosistemas. La inoculación con hongos formadores de micorrizas son conocidos por incrementar el crecimiento y producción de las plantas (RAMAN *et al.*, 2001; BOBY *et al.*, 2008).

Existen escasas investigaciones a nivel mundial y nacional que demuestren integración entre los parámetros físicos, químicos y biológicos con relación a la calidad de los agroecosistemas. Las informaciones que existen son pocos

conclusivos y de difícil interpretación, dada la gran complejidad del sistema en estudio en donde se evalúan varias características, generando un número mayor de datos, lo que proporcionalmente dificulta su interpretación. Una estrategia para evaluar el conjunto de indicadores biológicos asociados a los ecosistemas comúnmente sugeridos es el análisis a través de herramientas de bioestadística (análisis multivariados) que permita la conversión e interpretación de un conjunto de variables con una alta correspondencia entre ciertos indicadores y un componente, resultando en un alto peso absoluto del indicador en un componente determinado (TOTOLA y CHAER, 2002).

Ha sido demostrada la importancia de la simbiosis micorrizas arbusculares y plantas, en relación con el mejoramiento de las condiciones físico-químicas del suelo; la estimulación del crecimiento e incremento de la calidad nutricional de las especies vegetales, convirtiéndolas en más tolerantes a condiciones adversas tanto abióticas como bióticas (BAGO y AZCON, 1998; SALAMANCA, 1999; BAREA, 2002). La necesidad de elucidar una relación *in situ* entre el porcentaje de colonización de micorrizas arbusculares y las propiedades físico-químicas del suelo, son hechos que justifican la profundización de estudio de esos componentes biológicos con relación al ecosistema. El presente trabajo evaluó la colonización *in situ* de micorrizas arbusculares nativas, asociadas a raíces de la especie de pasto *Dichanthium aristatum* (L) en función de factores físico-químicos del suelo, en fincas ganaderas, de la subregión fisiográfica de Sabanas.

Materiales y métodos

Área de estudio: el estudio se realizó en fincas ganaderas, localizado al Noreste del departamento de Sucre, Colombia, a los 8°55" y 9°19" de latitud Norte, y entre 75°25" y 74°42" al Este del meridiano de Greenwich. La zona de estudio tiene una extensión de 20,333 ha aproximadamente, cuenta con 5.100 ha con pendientes entre 0 y 3%, 5.113,94 ha entre 3 y 7%, 2.528 ha entre 12 y 25% y 7.586,24 ha con más de 25%. Una altura que oscila entre 174 a 200 metros sobre el nivel del mar, temperatura promedio de 28°C, precipitación media anual de 1.105 mm y una humedad relativa promedio anual del 80%.

Muestreo: las muestras fueron colectadas en el primer semestre de 2008, en 60 fincas ganaderas establecidas con pasto angleton (*D. aristatum*) pertenecientes a la subregión fisiográfica de Sabanas. En cada finca se realizó un muestreo, representativo, tomando entre 15 a 20 submuestras al azar a una profundidad de 0-20 cm, recolectando al tiempo suelo y raíces. Las submuestras se homogenizaron

para conformar una muestra por finca con un peso aproximado de 2000 gramos, las cuales se depositaron en bolsas plásticas rotuladas con el número de la finca, corregimiento, área sembrada con el pasto y fecha de recolección. La muestra tomada de cada finca ganadera se dividió en dos porciones iguales de 1Kg para realización de análisis físico-químico y microbiológico.

Procesamiento de muestras y porcentaje de colonización: las muestras de suelos fueron tamizadas para separar las partes gruesas de suelos (piedras, cascajos) y raíces. Una vez tamizadas se procedió al análisis físico-químico y la determinación del porcentaje de colonización en raíces el cual fue realizado por medio de la metodología propuesta por KORMANIK y MCGRAW (1991); PEREZ (2003). Las raíces coloreadas a través de esta técnica se colocaron paralelamente sobre láminas, se cubrieron con laminillas y se observaron con objetivo 40X, y se contó 100 campos ordenadamente. En cada campo se determinó campos negativos y positivos. En los campos positivos se tuvo en cuenta el tipo de estructura presente (arbusculos, vesículas, hifas cenocíticas y esporas). El porcentaje de infección en raíces se calculó con la siguiente fórmula propuesta por SIEVERDING (1983):

$$\% \text{ de infección} = \frac{\text{Número de campos infectados}}{\text{Número total de campos observados}} \times 100$$

Análisis estadístico de los datos: la zona de estudio fue previamente identificada, las fincas muestreadas fueron escogidas al azar. Se realizó un análisis de regresión logística múltiple con la variable dicotómica colonización (SI/NO) como variable explicada de las siguientes variables regresoras candidatas: **fincas** (X_1); Categórica **pH** Acidez, (X_2); Métrica **MO** (Materia Orgánica), (X_3); Métrica **P** (Fósforo), (X_4); Métrica **K** (Potasio), (X_5). De esta manera se estimó, ¿qué probabilidad tiene una raíz de ser colonizada o no por micorrizas arbusculares en las condiciones físico químicas del área de estudio?. Fueron seleccionadas las variables regresoras que el proceso de modelación (mediante Regresión Logística Múltiple) seleccionó como las que mejor explican la variabilidad de la colonización (HORMER y LEMESHOW 1989; HAIR, 1998).

Resultados

Análisis físico químico de zona de estudio: teniendo en cuenta los intervalos de confianza del 95% para parámetros físico-químicos, las fincas ganaderas analizadas presentan valores de pH que oscilaron de fuertemente ácidos a fuertemente alcalino,

los contenidos de Fósforo, Materia Orgánica y Nitrógeno se encuentran de bajos a medios, los valores de Sodio de muy bajos a medios y los valores de Calcio, Magnesio y Potasio, presentan rangos de medios a altos (Tabla 1).

Tabla 1. Intervalos de confianza del 95% para promedios de parámetros químicos de suelos de fincas ganaderas de la subregión fisiográfica Sabanas de Sucre

Indicador	pH	M.O	N	P	CIC	Na	Al	K	Ca	Mg
	1:1	%		ppm	meq/100g					
IC 95%	4,6-8,6	0,0-3,0	0,0-0,013	0,0-19,0	5,2-44,6	0,0-2,66	-	0,0-0,94	0,0-25,1	0,0-11,52

Porcentaje de colonización de micorrizas arbusculares: la Fig. 1 muestra la variabilidad de cada finca ganadera con relación al porcentaje de colonización encontrados en raíces del pasto angleton. Los patrones de colonización de micorrizas arbusculares encontrados fluctuaron entre micelios, esporas, vesículas y arbusculos (Fig. 2).

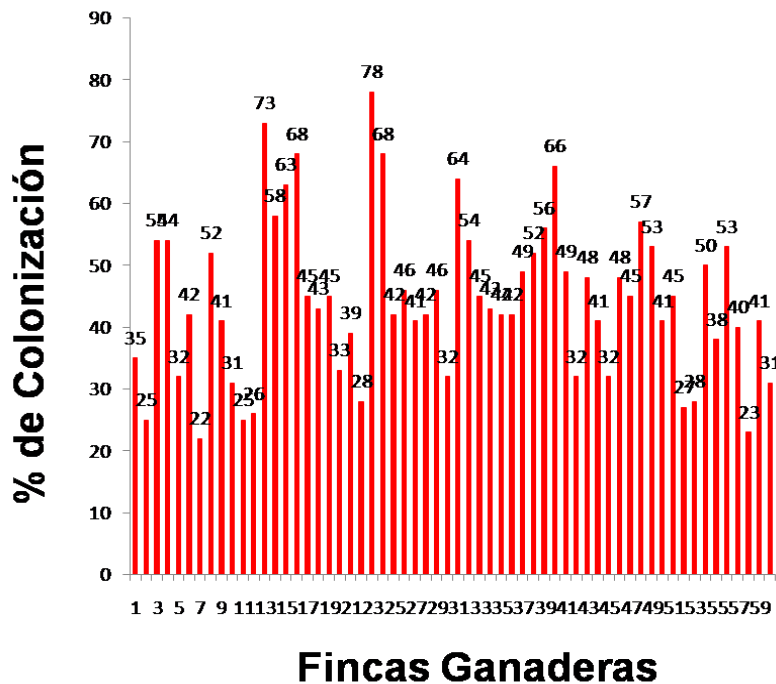


Figura 1. Variabilidad del porcentaje de colonización de micorrizas arbusculares en raíces de *Dichanthium aristatum* (L) por fincas ganaderas

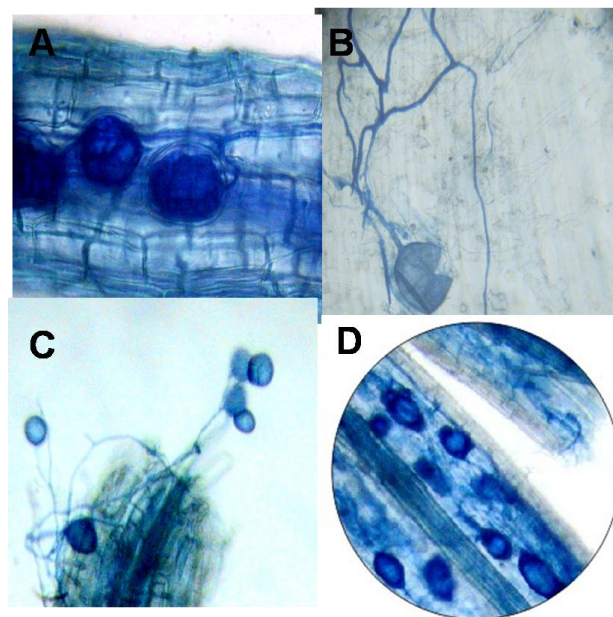


Figura 2. Modelo de colonización de micorrizas arbusculares en raíces de *Dichanthium aristatum* (L) (a): A-vesícula; B- micelio y esporas; C- células auxiliares y D- vesícula y arbusculos

Al comparar parámetros físico-químicos con relación a los porcentajes de colonización de micorrizas arbusculares en raíces, mediante análisis de regresión logística múltiple, se observa que el Nitrógeno, Calcio y Potasio son las variables que mejor explican la variación del evento de colonización en raíces del pasto angletón (Fig. 3).

$$\hat{p} = \frac{\exp(-1,680 + 113,807N - 4,304K + 0,146Ca)}{1 + \exp(-1,680 + 113,807N - 4,304K + 0,146Ca)}$$

Figura 3. Ecuación para la modelación de la función logísticas de las variables Nitrógeno, Calcio y Potasio y el evento de colonización de micorrizas arbusculares en raíces de *Dichanthium aristatum* (L) en fincas ganaderas de la subregión Sabanas

Con el modelo de función logística encontrado (Fig. 3), se puede calcular las probabilidades de ocurrencia del evento colonización en raíces del pasto angletón utilizando el vector de datos X originales, Por ejemplo, si se desea calcular cuál es la probabilidad de que ocurra colonización en un suelo ganadero con valores de de Nitrógeno (%), Calcio y Potasio en meq/100 g de suelo, solamente se debe introducir

los datos en la ecuación y obtendremos el siguiente resultado mostrado en la Tabla 2.

Tabla 2. Valores ordenados de probabilidades utilizando el modelo definitivo (función logística) a partir de las variables continuas más importantes, Nitrógeno, Calcio y Potasio

N (%)	K (meq/100 gr de suelo)	Ca (meq/100 gr de suelo)	Probabilidad de colonización (%)
0,0025	0,29	30,50	0,8598
0,0025	0,29	30,50	0,8598
0,0300	0,29	7,19	0,8229
0,0300	0,29	7,19	0,8229
0,0200	0,22	8,09	0,6964
0,0200	0,22	8,09	0,6964
0,0022	0,02	12,50	0,5801
0,0022	0,02	12,50	0,5801
0,0018	0,02	10,89	0,5072
0,0018	0,02	10,89	0,5072

Discusión

En los últimos años los suelos de estas fincas ganaderas, objeto del presente trabajo, no se ha realizado ninguna práctica agrícola para mejorar las propiedades físico-químicas del suelo, principalmente su aireación, ni se realiza abonamiento para suplir la extracción de nutrientes que la especie de pasto ha venido haciendo a través del tiempo. A pesar de esta serie de limitaciones edafológicas y de manejo, la especie de pasto *D. aristatum* (L), presenta algunas características deseables para el empresario ganadero como son: rápida recuperación después del pastoreo, especie altamente estolonífera, alta producción de semillas, resistencia al pisoteo y buena gustosidad para el ganado.

Los resultados obtenidos en la ecuación, indicada en la Fig. 3, demuestran, que bajos los valores de Nitrógeno, Calcio y Potasio anteriores se obtiene una probabilidad de ocurrencia del evento de colonización de micorrizas arbusculares en raíces del pasto angleton. En la ecuación se obtienen, todos los cálculos de las probabilidades para todos los datos iniciales de las variables más importantes de estos tres parámetros químicos. La forma de utilizar este modelo consiste en

introducir los valores de Nitrógeno, Calcio y Potasio y calcular las probabilidades considerando significativas, aquellas probabilidades mayores del 50%. Para el presente estudio se calcularon las probabilidades significativas, solamente para los valores de Nitrógeno comprendido entre 0,0018 y 0,0025, valores de Calcio entre 10,89 y 30,50 meg/100 gr de suelo y valores de K desde 0,02 hasta 0,29 meg/100 gr de suelo obteniéndose los valores de probabilidades desde 50,72% hasta 85,89% como se aprecia en la Tabla 2.

En la Tabla 2 se muestran los valores de las probabilidades para cada valor de Nitrógeno, Calcio y Potasio, se observa que son significativos aquellos valores de probabilidad superiores al 50%. Las variables más importantes que mejor explican el proceso de colonización en raíces del pasto angletón, para las condiciones experimentales reportadas en el presente estudio, son en su orden: el Nitrógeno, Potasio y Calcio. La utilización del modelo definitivo reporta que las mayores posibilidades de colonización se presentan en suelos con valores de Nitrógeno de bajos a medios y los valores de Calcio y Potasio cuando se presentan en rangos de medios a altos (Tabla 1).

Las hifas externas de las micorrizas arbusculares pueden ser capaces de utilizar el NO_3 y NH_4^+ ; las informaciones que se tienen acerca del papel de las vesículas y arbusculos en la asimilación del nitrógeno y como la colonización es influenciada por la disponibilidad individual y combinada de estos dos parámetros en el suelo no es comprendida aun. De acuerdo a investigaciones realizadas, la aplicación de nitrógeno en el suelo puede tener cierto efecto inhibitorio o estimulante para la colonización de micorrizas arbusculares. De las dos fuentes de Nitrógeno, el NH_4^+ tiene efecto supresor sobre la colonización de estas micorrizas, debido a cambio en el pH de la rizosfera. Diversas forma de nitrógeno inorgánico en el suelo puede influir en el porcentaje de colonización, la longitud de las raíces y la presencia de estructuras colonizantes como los arbusculos y vesículas (A.J *et al.*, 2002).

La colonización con micorrizas arbusculares afecta la nutrición del nitrógeno inorgánico en la planta hospedera cuando ambas fuentes NO_3 y NH_4^+ son utilizadas por las plantas. Algunas colonizaciones micorrízicos son más eficiente cuando la forma del nitrógeno presente en el suelo es NH_4^+ , debido a que este ión es menos móvil en el suelo en relación a NO_3 y cuando se encuentra en bajas concentraciones es tóxico para las planta, dificultando de esta manera su almacenamiento en las vacuolas. Una alternativa para disminuir este efecto toxico es su asimilación mediante la asociación con micorrizas (A.J. *et al.*, 2002).

Ha sido reportado que la colonización de plantas con micorrizas arbusculares mejoran la nutrición de los otros macronutrientes como el nitrógeno y potasio. En suelos ácidos, las micorrizas pueden ser importante para la asimilación de amonio (NH_4^+), que es menos móvil que el nitrato (NO_3) y donde la difusión puede limitar su velocidad de absorción (CARDOSO y KUYPER, 2006)

Fue demostrado que el suministro adecuado de calcio tiene gran relevancia en la funcionalidad de la micorriza y colonización sobre la cebolla cabezona *Allium cepa*, razón por la cual, la aplicación de fertilizantes ricos en magnesio reducen la colonización de las raíces y la esporulación de *Glomus sp.*, debido que incrementan la relación Ca/Mg en los tejidos provocando la senescencia prematura de las raíces, que conlleva a interrumpir la asociación micorrízica (JARSTFER *et al.*, 1998).

La adición de residuos orgánicos de cosecha, tanto de lupino como de trigo, incrementó significativamente la biomasa aérea de las plantas de trigo creciendo en condiciones de invernadero en suelos con micorriza nativa. Estos resultados estarían relacionados con el efecto de este material en la adquisición de potasio, calcio, magnesio, zinc y cobre, permitiendo así un mayor establecimiento de la colonización de las micorrizas arbusculares en las raíces de trigo. CLARK (1997) y CLARK y ZETO (2000), demostraron que la presencia de estos elementos nutricionales incrementa por la colonización de micorriza en suelos ácidos.

Las condiciones edáficas y climáticas existentes en la zona someten a las gramíneas de alto valor forrajero que crecen en los pastizales a un permanente estrés hídrico y nutricional. La subsistencia de las plantas en ambientes desfavorables o estresantes puede ser consecuencia de múltiples factores y estrategias, una de ellas es la simbiosis a partir de la asociación con hongos micorrízicos arbusculares.

Los resultados observados en la Fig. 2 muestran diferentes modelos o patrones de colonización de micorrizas arbusculares en raíces del pasto angletón (esporas, micelios, vesículas y arbusculos). La mayor cantidad de estructuras observadas correspondieron a hifas seguidas de vesículas y en menor proporción arbusculos y esporas. TAO y ZHIWEY (2005), reportan mayores patrones de colonización de micelios, cordones hifas, vesícula y arbusculos en células corticales de raíces en la especies de plantas *Bothriochloa pertusa*, *Acacia farnesiana*, *Breynia fruticosa*, *Cyanotis cristata*, *Vitex negundo*, *Sida acuta*, *Polyalthia cerasoides*, *Boea hygrometrica*.

La colonización de pasto angletón por micorrizas arbusculares puede ofrecer beneficios en término de crecimiento, toma de nutrientes y en algunos casos

productividad. Experimentos realizados en campo han evaluado el efecto positivo de estos microorganismos sobre la calidad de las plantas. Las practicas de manejo en las agroecosistemas de aplicación de fertilizantes a base de fosforo solubles en agua y de pesticidas han disminuido la asociación de micorrizas arbusculares con estas plantas en términos de números de especies y diversidad (GOSLING *et al.*, 2006).

Es importante resaltar que existe un gran potencial de hongos formadores de micorriza arbuscular que pueden ser evaluados en el mediano y largo plazo como alternativa biológica para la fertilización en fincas ganaderas con especie de angletón tanto a nivel empresarial, como el fortalecimiento de los sistemas productivos endógenos y las cadenas agroproductivas regionales.

Agradecimientos

Los autores expresan sus agradecimientos a todos los ganaderos propietarios de las diferentes fincas ganaderas objeto del presente trabajo.

Referencias

AGUILERA, D.M. 2005. *Documento de trabajo sobre Economía Regional: La Economía del Departamento de Sucre: Ganadería y Sector Público*. Banco de la República, Cartagena de India.

A., J.V.; ORBORNE, B.A.; MITCHELL, D.T. 2002. Form de nitrogen inorganic influence mycorrhizal colonisaion and photosynthesis of cucumber. *Scientia Horticulturae* 92(3-4):229-239.

BAGO, B.; AZCON, C.; PICHE, Y. 1998. Architecture and developmental dynamics of the external mycelium of the arbuscular mycorrhizal fungus *glomus intraradices* grown under monoxenic conditions. *Mycología* 90 (1):52-62.

BAREA, J.M. 2002. Rhizosphere and mycorrhizal of field crops. *Science and policy* 15(2):91-97.

BOBY, V.U.; BALAKRISHNA, A.N.; BAGYARAJ, D.J. 2008. Interaction between *Glomus mosseae* and soil yeasts on growth and nutrition of cowpea. *Microbiological Research* 163(6): 693-700.

CARDOSO, I.M.; KUYPER, T.W. 2006. Mycorrhizas and tropical soil fertility. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 116 (1-2):72–84.

CLARK, R.B. 1997. Arbuscular mycorrhizal adaptation, spore germination, root colonization and host plant growth and mineral acquisition at low pH. *Plant Soil* 192(1):15-22.

CLARK, R. y ZETO, S. 2000. Mineral acquisition by mycorrhizal plants. *Journal of Plant Nutrition* 23(7):867-902.

CORWELL, W.; BEDFORD, B.; CHAPIN, C. 2001. Occurrence of arbuscular mycorrhizal fungi in a phosphorus poor wetland and mycorrhizal response to phosphorus fertilization. *American Journal of Botany* 88 (10): 1824-1829.

GOSLING, P.; HODGE, A.; GOODLASS, G.; BENDING, G.D. 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi and organic farming. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 113(1-4): 17–35.

HAIR, J. 1998. *Multivariate Data Analysis*. Prentice Hall. New Jersey.

HOSMER, J.; LEMESHOW, S. 1989. *Applied Logistic Regression*. John Wiley & Sons, Inc. Canadá.

JARSTFER, A. G.; FARMER-KOPPENOL, P.; SYLVIA, D. M. 1998. Tissue magnesium and calcium affect arbuscular mycorrhiza development and fungal reproduction. *En: Mycorrhiza* 7(5): 237-242.

KORMANIK, P.; MCGRAW, A. Quantification of vesicular-arbuscular mycorrhizae in plant roots. En: SCHENCK, N. C. *Methods and principles of mycorrhizal research*. 3 Ed: The American Phytopathological Society, USA.

MIRANSARI, M.; BAHRAMI, H.A.; REJALI, F.; MALAKOUTI, M.J. 2009. Effects of soil compaction and arbuscular mycorrhiza on corn (*Zea mays* L.) nutrient uptake. *Soil & Tillage Research* 103(2): 282–290.

PÉREZ, C.A. 2003. Eficiencia de hongos formadores de micorrizas arbusculares (H.M.A.) nativos, asociados a la producción de forraje en la especie de pasto colosuana (*Bothriochloa pertusa* (L) A. Camus) en el municipio de corozal, departamento de sucre, Colombia. Tesis (Maestría en Microbiología). Facultad de Ciencias. Departamento de Ciencias Biológicas. Universidad de los Andes.

RAMAN, N.; GNANAGURU, M.; SRINIVASAN, V.; ELAD, Y.; FREEMAN, S.; MONTE, E. 2001. Biological controls of *Fusarium* wilt of tomato by VA mycorrhizal fungus, *Glomus fasciculatum*. Proceedings of the sixth meeting, Biocontrol Agents: Mode of Action and Interaction with Other Means of Control 24:33–36.

SALAMANCA, C. 1999. *Las micorrizas como estrategia de mejoramiento nutricional de pasturas y especies frutales en el departamento del Guaviare*. Boletín Técnico. Corpoica-Pronatta, Villavicencio.

SIEVERDING, E. 1983. *Manual de métodos para la investigación de las micorrizas arbusculares en el laboratorio*. Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT. Cali.

STRULLU-DERRIEN C, STRULLU D-G. 2007. Mycorrhization of fossil and living plants. Systematic Paleontology (Palaeobotany) 6(6-7): 483–494.

TANG, F.; WHITE, J.; CHARVAT, I. 2001. The effect of phosphorus availability on arbuscular mycorrhizal colonization of *Typha angustifolia*. En: Mycologia 93 (6): 1042-1047.

TAO, L.; ZHIWEI, Z. 2005. Arbuscular mycorrhizas in a hot and arid ecosystem in southwest China. Applied Soil Ecology 29(1):135–141.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. 2002. Microorganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade do solo. Tópicos em Ciências do solo, Sociedade Brasileira de Ciências do Solo 2: 25-32.

VILORIA, H.J. 2002. Documento de trabajo sobre economía regional: La ganadería bovina en las llanuras del Caribe Colombiano. Banco de la República, Cartagena de Indias.