

## Respuesta de plantas de plátano (*Musa* AAB cv. Hartón) a la inoculación con hongos micorrízicos arbusculares nativos e introducidos, bajo condiciones de campo

Response of plantain plants (*Musa* AAB cv. Horn) to inoculation with indigenous and introduced arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) under field conditions

M. González<sup>1,2</sup> y G. Cuenca<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), Centro de Ecología

<sup>2</sup>Universidad Nacional Experimental Sur del Lago "Jesús María Semprum" (UNESUR)

### Resumen

Estudios previos han evidenciado que los hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) promueven el crecimiento y producción de plantas de interés agrícola, debido a que facilitan la absorción de nutrientes, mejoran la estructura del suelo, el balance hídrico y protegen a las plantas contra patógenos. En este trabajo se evaluó la respuesta de las plantas de plátano Hartón en términos de su crecimiento, producción de frutos, incrementos en la absorción de P, N y colonización micorrízica bajo condiciones de campo. Para ello, se estableció un experimento utilizando un diseño completamente aleatorizado. Las plantas de plátano fueron inoculadas o no (tratamiento control) con dos especies de HMA introducidos, *Glomus manihotis* (Gm) y *Scutellospora heterogama* (Sh), y aislados de HMA nativos provenientes de plantaciones de plátano manejadas con bajos (BI) y altos (AI) insumos. La aplicación de fertilizantes en esos suelos parece ser excesiva, dado que incluso las plantas inoculadas con BI no presentaron diferencias en la respuesta con respecto a las inoculadas con AI. Los HMA introducidos fueron más eficientes que los HMA nativos, en especial Sh, el cual produjo las mejores respuestas en crecimiento y producción de frutos. Estos beneficios pueden ser explicados en función de una mayor absorción de N, pero no en términos de un aumento en el contenido de P y la colonización micorrízica. Se recomienda el uso de esta especie como una alternativa para incrementar la producción de plátano Hartón, minimizando la dependencia de fertilizantes químicos y el impacto que éstos generan sobre el ambiente.

**Palabras clave:** *Musa* AAB, plátano, fertilización, micorrizas introducidas, micorrizas nativas.

Recibido el 15-5-2007 • Aceptado el 7-4-2008

Autor de correspondencia e-mail: mggonzal@ivic.ve

## Abstract

Many studies have shown that arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) promote the development and production of plants with agronomic interest, because they improve the nutrient absorption, the soil structure, the water balance and protect their hosts against pathogenic organisms. In this work we evaluated the response of plantain plants (cv. Horn) in terms of growing, fruit production and P and N absorption to the inoculation with different AMF strains at field conditions. Therefore, a field experiment using a complete random design was established. Plants were inoculated or not (control treatments) with two no native species *Glomus manihotis* (Gm) and *Scutellospora heterogama* (Sh); and two native isolates found in fields managed with low (LI) and high (HI) inputs. Plants belonging to LI and HI treatments did not show statistical differences among them because that LI has been under excessive fertilization. Introduced AMF strains were more efficient than native ones, especially Sh, which had the best responses in terms of plant growing and fruit production. These benefits can be explained by a higher N absorption, but not in terms of a higher P uptake and mycorrhizal colonization. The use of Sh as an alternative for increasing the Horn plantain yield is suggested, because it allows decrease the dependence of chemical fertilizing and its environmental impact.

**Key words:** *Musa* AAB, plantain, fertilization, introduced arbuscular mycorrhizal Fungi, native arbuscular mycorrhizal Fungi.

## Introducción

El cultivo del plátano se encuentra ampliamente distribuido en las regiones tropicales y subtropicales del mundo. Sus frutos tienen gran aceptación en los mercados internacionales, y constituyen también una fuente alimenticia. Para finales del 2005 Latinoamérica produjo 88 millones de toneladas métricas de plátano (FAO, 2006). Dentro de los países latinoamericanos, Venezuela es uno de los principales productores, ya que con un 6% de la producción se ubica en el cuarto puesto por debajo de Colombia (42%), Perú (21%) y Ecuador (12%) (FAO, 2006).

En la zona Sur del Lago de Maracaibo se encuentran las mayores plantaciones de plátano del país, alcan-

## Introduction

Plantain culture is widely distributed in the tropical and sub tropical regions around the world. Their fruit have a high acceptance in the international markets, and also constitutes a nutritious source. For the end of 2005 Latin America produced 88 millions metric tons (FAO, 2006). In Latin America, Venezuela is one of the principal producers, since with a 6% of production is located in the fourth place below Colombia (42%), Peru (21%) and Ecuador (12%) (FAO, 2006).

In the south of Maracaibo Lake are the principal plantain plantations of country, by reaching an approximate surface of 40.000 hectares (CORPOZULIA-CIPLAT,

zando una superficie aproximada de 40.000 hectáreas (CORPOZULIA-CIPLAT, 2002). En esta zona se estima una población de 4.000 productores dedicados a este rubro, de los cuales el 80% está representado por pequeños productores (CORPOZULIA-CIPLAT, 2002). Tales características indican que el cultivo del plátano representa para Venezuela, así como para otros países de Latinoamérica un producto de gran importancia económica y alimenticia. Esta alta demanda evidencia la necesidad de incrementar la producción de plátano. Para ello, lamentablemente se ha recurrido a prácticas agrícolas que utilizan gran cantidad de agroquímicos, dando lugar a la contaminación del suelo, agua y aire, la alteración de los ciclos biogeoquímicos y la pérdida de la biodiversidad. Además de los problemas ambientales que se generan, el costo que cada día adquieren los insumos importados afecta sensiblemente la rentabilidad de las empresas agrícolas.

Ante este escenario, el reto que deben afrontar los partícipes del proceso productivo radica en establecer sistemas de producción agrícola sustentable, en aras de satisfacer la demanda creciente de productos agrícolas, minimizando la dependencia de fertilizantes químicos y el impacto que tales actividades generan sobre el ambiente. En este sentido, los Glomeromicetes u hongos formadores de micorrizas arbusculares podrían constituir una alternativa de manejo.

Los hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) forman asociaciones simbióticas, generalmente mutualistas, que se establecen entre las raíces de la mayoría de las plan-

2002). In this region, there is an estimated population of 4.000 producers dedicated to this crop, from which 80% is represented by little producers (CORPOZULIA-CIPLAT, 2002). These characteristics show that the plantain crop represents for Venezuela, likewise for other countries in Latin America a product of a high economical and nutritious importance. This high demand shows the necessity of improving the plantain production. For that, unfortunately some agricultural practices that uses a high quantity of agro chemicals, by giving place to the soil, water and air pollution, the alteration of the biogeochemical cycles and the lost of the biodiversity. Besides of the environmental problems caused, the cost of imported inputs affects in a sensible way the rentability of the agricultural enterprises.

In front of this scenario, the challenge to be confront by the productive process lies in the establishment of sustainable agricultural production systems, with the purpose of satisfying the increasing demand of agricultural products, by reducing the dependence of chemical fertilizers and the impact that these activities generates on the environment. In this essay, the Glomeromicetes or arbuscular mycorrhizal former fungi could constitute a management alternative.

The arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) form symbiotic associations, generally mutual, which are established between roots of majority of plants and a limited fungi group (Smith and Read, 1997). This

tas y un limitado grupo de hongos (Smith y Read, 1997). Esta asociación está basada funcionalmente en el traslado de carbohidratos de la planta al hongo y nutrientes que el hongo absorbe del suelo (P, Cu, Zn,  $\text{NH}_4^+$ ) hacia la planta (Marschner y Dell, 1994; Smith y Read, 1997). El hongo, además de incrementar el desarrollo de las plantas debido a que mejora la absorción de nutrientes, desempeña otras funciones como proteger a las plantas contra patógenos (Elsen, *et al.*, 2003; Newsham, *et al.*, 1995), mejorar la estructura del suelo y el balance hídrico (Rillig, 2004; Ruiz-Lozano y Azcón, 1995), entre otras. Se ha señalado que el principal beneficio que los HMA le proveen a las plantas es la absorción de P (Smith y Read, 1997). Sin embargo el N también es un elemento importante cuya absorción puede ser mejorada por los HMA (Feng, *et al.*, 2002; Hodge, *et al.*, 2001; Jin, *et al.*, 2005).

El potencial de manejo de la micorriza arbuscular en la agricultura ha sido demostrado por numerosos trabajos realizados bajo condiciones de campo y de invernadero, en los cuales se han evidenciado los efectos benéficos de la inoculación con HMA sobre la nutrición, crecimiento y producción de plantas de importancia agrícola como el banano (Declerck, *et al.*, 1994; 1995), café (Estrada y Sánchez, 1995), cacao (Cuenca, *et al.*, 1990), pimentón (Estrada-Luna y Davies, 2003; Kim, *et al.*, 2002), yuca, lechuga (Cuenca, *et al.*, 2007), entre otros. No obstante, una serie de estudios han demostrado que la respuesta de la simbiosis puede variar en un amplio intervalo que comprende des-

association is principally based in moving of carbohydrates from plant to fungal and nutrients that fungal absorption from soil (P, Cu, Zn,  $\text{NH}_4^+$ ) toward plant (Marschner and Dell, 1994; Smith and Read, 1997). Fungal, besides of increasing the plants development because the improving of nutrients absorption, play other functions like to protect plants against pathogens (Elsen *et al.*, 2003; Newsham *et al.*, 1995), to improve the soil structure and the water balance (Rillig, 2004; Ruiz-Lozano and Azcon, 1995), among others. The principal benefit that AMF gives to plant is the P absorption (Smith and Read, 1997). However, N also is an important element whose absorption could be improved by the AMF (Feng *et al.*, 2002; Hodge *et al.*, 2001; Jin *et al.*, 2005).

The management potential of the arbuscular mycorrhizal in the agriculture have been demonstrate by numerous works made under field and greenhouse conditions, in which the benefits effects of the inoculation with AMF on nutrition, growth and plants production of agricultural importance like banana (Declerck *et al.*, 1994; 1995), coffee (Estrada Sanchez, 1995), cacao (Cuenca *et al.*, 1990), pepper (Estrada-Luna and Davies, 2003; Kim *et al.*, 2002), cassava, lettuce (Cuenca *et al.*, 2007), among others. However, a serial of studies have demonstrate that symbiosis response could vary in a wide interval that comprise from a positive response until a negative one, depending on the host plant specie like the specie or the AMF strain associated and the environmental

de una respuesta positiva hasta una respuesta negativa, dependiendo tanto de la especie de planta hospedera como de la especie o cepa de HMA asociado y de las condiciones ambientales (Douds, *et al.*, 1998; Johnson, *et al.*, 1997; Taylor y Harrier, 2000).

Aunque en casi todos los suelos agrícolas están presentes poblaciones de HMA nativas, con frecuencia las prácticas agrícolas intensivas como la labranza y el uso indiscriminado de agroquímicos conlleva a que éstas sean insuficientes o ineficientes para el establecimiento de una simbiosis mutualista, que incremente el crecimiento y producción de las plantas hospederas (Cheng y Baumgartner, 2004; Cuenca, *et al.*, 1991; Jansa, *et al.*, 2003; Sieverding, 1991). En estos casos, la eficiencia de la micorriza puede ser incrementada ya sea por manejo cultural de los hongos nativos de un determinado suelo, o por inoculación con hongos introducidos más eficientes (Cuenca, *et al.*, 2007; Gazey, *et al.*, 2004; Sieverding, 1991).

La efectividad de los HMA nativos puede ser mayor en comparación con los HMA introducidos debido, probablemente, a una mayor adaptación al medio. Sin embargo, algunos estudios han mostrado resultados contradictorios. Mientras algunos resultados señalan que en comparación al inóculo introducido, los nativos pueden provocar una mejor respuesta de crecimiento de las plantas (González-Chávez y Ferrera-Cerrato, 1993), otros estudios han hallado que en algunas especies de plantas los hongos introducidos fueron más eficientes que el inóculo nativo (Caravaca, *et al.*, 2005). Esto sugiere que la efectividad

conditions (Douds *et al.*, 1998; Johnson *et al.*, 1997; Taylor and Harrier, 2000).

Although in the most of agricultural soils native AMF populations are present, with frequency the intensive agricultural practices like tillage and the indiscriminate usage of agrochemicals takes to these be insufficient or inefficient for the establishment of a mutualist symbiosis, that increases the growing and production of host plants (Cheng and Baumgartner, 2004; Cuenca *et al.*, 1991; Jansa *et al.*, 2003; Sieverding, 1991). In these cases, the efficiency of the mycorrhiza could be increased by the cultural management of natives fungi of a determined soil, or by inoculation with those more efficient fungi introduced (Cuenca *et al.*, 2007; Gazey *et al.*, 2004; Sieverding, 1991).

The effectively of native AMF could be higher in comparison with the introduce AMF due, probably, to a higher adaptation to environment. However, some studies have shown contradictory result, whereas some results point out that in comparison to introduced inoculum, natives could provoke a better response of plants growth (Gonzalez-Chavez and Ferrera-Cerrato, 1993), other studies have found that in some species of plants, the introduced fungi were more efficient than the native inoculum (Caravaca *et al.*, 2005). This suggests that the AMF effectiveness also can depend on host. Anyway, when finding efficient species AMF, being these natives or introduced, would permit to optimize the productivity of Horn plantain

de los HMA también puede depender del hospedero. De cualquier manera, el encontrar especies eficientes de HMA, sean éstas nativas o introducidas, permitirían optimizar la productividad de las plantaciones de plátano Hartón, minimizando el impacto del uso de agroquímicos sobre el ambiente.

En suma, el papel de los HMA es, sin lugar a dudas, relevante para el funcionamiento de los agroecosistemas, además de poseer un gran potencial como bioinsumo agrícola no contaminante y de bajo costo. Debido a ello, la presente investigación tiene como objetivo evaluar la respuesta de las plantas de plátano (*Musa* AAB cv. Hartón), en términos de la absorción de P y N, efectos en el crecimiento, producción de frutos y colonización micorrízica, a la inoculación con HMA nativos e introducidos, en condiciones de campo. Asimismo, en este trabajo se compara la respuesta de las plantas de plátano inoculadas con HMA nativos asociados al cultivo de plátano, aislados de plantaciones manejadas con altos y bajos insumos.

## Materiales y métodos

El ensayo se estableció en la finca Santa Lucía ubicada en el sector Bancada de Limones, Parroquia El Moralito, municipio Colón del estado Zulia. Este sector se encuentra situado en 8° 30' y 9° 15' de latitud Norte y 71° 31' y 72° 00' de longitud Oeste, en el extremo Sur Oeste del sector Chama -Escalante, a una altura de 20 msnm (MARNR., 1981). Antes de establecer el ensayo se tomó una muestra compuesta de suelo, la cual demostró que el número de

plantations, by minimizing the impact of agro chemical use on the environment.

The AMF role is, without doubt, relevant for the functioning of the agro ecosystems, besides of having a high potential like agricultural bio input without pollution and with a low cost. Because of it, this research has an objective to evaluate the response of plantain plants (*Musa* AAB cv. Horn), in terms of P and N absorption, effects in the growth, fruits production and mycorrhizal colonization, to the inoculation with natives and introduced AMF, in field conditions. Likewise, in this study the response of plantain plants inoculated with natives AMF related to the plantain crop, isolated from plantations managed with high and low inputs is compared.

## Materials and methods

Essay was established in the Santa Lucia farm located in "Bancada de Limones" sector, El Moralito Parrish, Colon municipality of Zulia state. This sector is located in 8° 30' and 9° 15' of North latitude and 71° 31' and 72° 00' of West longitude, in the South West extreme of Chama – Escalante sector, at a height of 20 msnm (M.A.R.N.R., 1981). Before of establishing the essay a soil composed sample was taken, which showed that the mycorrhizal propagules number is very low, did not reach 200 spores by 100 g soil. Previously, traps pot were established for producing a native inoculum AMF from Horn plantain plantations managed with low inputs (LI) and other of

propágulos de micorrizas arbusculares presente era muy bajo, pues no alcanzaba las 200 esporas por 100 g de suelo. Previamente se montaron potes trampa para producir un inóculo de HMA nativos provenientes de plantaciones de plátano Hartón manejadas con bajos insumos (BI) y otro de plantaciones manejadas con altos insumos (AI). Estas plantaciones están ubicadas en el sector Bancada de Limones y fueron clasificadas con datos aportados por los productores como: 1) Bajos insumos. Se aplican fertilizantes químicos cada seis meses o más, realizan control manual de malezas, no aplican funguicidas para el control de la Sigatoka Negra (*Mycosphaerella fijiensis*) u otras enfermedades, y llevan a cabo un control agronómico (deshoje fitosanitario, deshije, desburre, resiembra, distribución en campo de los desechos de cosecha); 2) Altos insumos. Se aplican fertilizantes químicos cada 3 o 4 meses, realizan control químico de malezas cada 3 o 4 meses y realizan fumigaciones aéreas cada 45 días para el control químico de la Sigatoka Negra.

Para preparar los inóculos de micorrizas arbusculares usualmente se toma un número elevado de esporas del hongo micorrízico de que se trate, y se colocan en un suelo mezclado a partes iguales con arena, luego se siembra una planta micorrízica. En este caso se utilizó *Vigna luteola*, por ser una planta altamente micorrízica (Hernández, *et al.*, 2000). Para el caso de los HMA introducidos que también se utilizaron en este trabajo (*Glomus manihotis* y *Scutellospora heterogama*), el suelo utilizado fue el del bosque nublado del Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC). Luego de 4 a 6 me-

plantations managed with high inputs (HI). These plantations are located in "Bancada de Limones" and were classified with data gave by producers like: 1) Low inputs. Chemical fertilizers were applied each six months or more, weeds manual control is made, fungicides are not applied for the Black Sigatoka (*Mycosphaerella fijiensis*) control or any other disease, and an agronomical management is accomplished (defoliate, desuckering, desburre, resowing, field distribution in harvest wastes; 2) High inputs. Chemical fertilizers are applied each 3 or 4 months, weeds chemical control is made each 3 or 4 months and aerial fumigations are made each 45 days for the chemical control of Black Sigatoka.

For preparing inoculums of arbuscular mycorrhizal usually a higher spore's number from the studied mycorrhizal fungal is taken, and they are placed in a soil mixed to equal parts with sand, after a mycorrhizal plant is sowed. In this case *Vigna luteola* is used, because it is a highly mycorrhizal plant (Hernandez *et al.*, 2000). In case of introduced AMF that also were used in this research (*Glomus manihotis* and *Scutellospora heterogama*), soil used was those of cloudy forest of the Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC). After 4 to 6 months, plant was allowed to dry off, the substrate contained in a container was homogenized besides of plant rootlets (previously cut in pieces about 2 cm) and, this substrate was used as inoculum. In case of inoculums LI and HI were similarly prepared, but with

ses la planta se dejó secar y el sustrato contenido en el pote se homogeneizó junto con las raicillas de la planta (previamente picadas en trozos de unos 2 cm) y, ese sustrato es el que se utilizó como inóculo. Para el caso de los inóculos BI y AI se prepararon de manera similar, pero con la diferencia de que no se comenzó a partir de esporas aisladas sino que se partió del suelo de las dos haciendas de plátano referidas arriba y esos suelos se mezclaron a partes iguales con arena. Con dichos sustratos se llenaron cinco potes de plástico de 5 kg de capacidad y, en cada pote, se sembraron 2 semillas pregerminadas de *Vigna luteola*. Dichos potes se mantuvieron bajo condiciones de invernadero por un lapso de 4 a 6 meses, el cual se consideró suficiente para obtener un elevado número de propágulos infectivos e inóculo mixto (Morton, *et al.*, 1993; Sieverding, 1991). Al momento de establecer el ensayo, estos inóculos contenían 3.013 y 1.405 esporas por 100 g de suelo seco, para BI y AI, respectivamente. Los inóculos introducidos utilizados provenían de colecciones internacionales: (*Glomus manihotis* y *Scutellospora heterogama*), y han sido reproducidos durante largo tiempo en el Laboratorio de Ecología de Suelos del Centro de Ecología del IVIC. El inóculo de *G. manihotis* utilizado contenía 46.515 esporas por 100 g de suelo seco, con un 93% de pureza y, *S. heterogama* 5.670 esporas con un 74% de pureza. Además de las esporas viables, dichos inóculos tenían hifas y fragmentos de raíces infectadas y, en todos los casos se consideró que poseían una concentración de propágulos saturante. El inóculo nativo e introducido se colocó en el hoyo de siembra, al momento

the difference that the beginning did not begin from isolated spores but from the soil the two plantain farms before mentioned and those soils were mixed with sand at equal parts. With these substrates five plastic containers were filled until 5 kg of capacity and, in each container, 2 pre germinated seeds of *Vigna luteola* were sowed. These containers were maintained under greenhouse conditions during a period of 4 to 6 months, which was considered enough for obtaining a high number of infective propagules and mixed inoculum (Morton *et al.*, 1993; Sieverding, 1991). At the moment of establishing the essay, this inoculum had 3.013 and 1.405 spores by 100 g of dry soil, for LI and HI, respectively. Those Inoculum used came from international collections: (*Glomus manihotis* and *Scutellospora heterogama*), and they have been reproduced during long time in the Soils Ecology Laboratory of the Ecology Center of IVIC. Inoculum of *G. manihotis* used had 46.515 spores by 100 g of dry soil, with 93% of purity and *S. heterogama* 5.670 spores with 74% of purity. Also, from the lives spores, these inoculum had hyphas and fragments of infected roots and, in all cases was considered for having a saturate propagules concentration. The native and introduced inoculum was placed in the sowing hole, at the moment of establishing the essay in field, in a dose of 100 g per plant.

As a vegetative seed, corms of sword suckers of approximately 1 to 1.5 kg were used. Those sword suckers were separated from mother plants of plantations of Horn plantain and



de establecer el ensayo en campo, en la dosis de 100 g por planta.

Como semilla vegetativa se emplearon cormos de hijos «puyones» de plátano de aproximadamente 1 a 1,5 kg. Los hijos puyones fueron separados de plantas madres de plantaciones de plátano Hartón y se les cortó elseudotallo unos 5 cm por arriba del cormo, para estimular la emisión de yemas laterales y acelerar la brotación. Posteriormente fueron sembrados sistemáticamente en cuadros a una distancia de 3 x 3 m. Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con 5 tratamientos y 20 repeticiones. El suelo no fue fumigado por lo que todos los tratamientos se establecieron en presencia de los HMA nativos del suelo. Los tratamientos fueron los siguientes: 1) suelo nativo sin inoculación con HMA (C), 2) inoculación con *Scutellospora heterogama* (Sh), 3) inoculación con *Glomus manihotis* (Gm), 4) inoculación con HMA nativos provenientes de plantaciones de plátano Hartón manejadas con bajos insumos (BI), y 5) inoculación con HMA nativos provenientes de plantaciones de plátano Hartón manejadas con altos insumos (AI).

El ensayo se estableció el 03/05/2005 y se cosechó el 25/02/2006. Para la cosecha se seleccionaron de forma aleatoria 10 plantas por tratamiento a las cuales se le evaluaron los siguientes parámetros:

a) **Masa seca de la hoja y delseudotallo:** debido a la imposibilidad de trasladar, almacenar y secar todo el material vegetal cosechado, éste fue separado en hojas yseudotallo y pesado para obtener su masa fresca en el campo. Luego se tomaron alícuotas,

pseudo stem was rapidly cut 5 cm above the corm, for stimulating the emission of lateral buds and for accelerating sprouting. Afterwards, they were systematically sowed into squares at a distance of 3 x 3 m. A totally at random design was used with 5 treatments and 20 replications. Soil was not fumigated, so, all the treatments were established in presence of natives AMF from soil. Treatments were the following: 1) native soil without inoculation with AMF (C), 2) inoculation with *Scutellospora heterogama* (Sh), 3) inoculation with *Glomus manihotis* (Gm), 4) inoculation with natives AMF comes from Horn plantain plantations managed with low inputs (LI), and 5) inoculation with natives AMF comes from Horn plantain plantations managed with high inputs (HI).

Essay was established on 03/May, 2005 and it was harvested on 25/February, 2006. For the harvest, 10 plants by treatment were random selected for evaluating the following parameters:

a) **Dry matter from leave and pseudo stem:** Due to the impossibility of moving, storage and dry all the harvested vegetal material, it was separated in leaves and pseudo stem and weighed for obtaining its fresh mass in field. After, aliquots were taken, which were placed in an stove at 60°C. Finally, for obtaining the dry mass from aliquots, these were weighed in a balance and by conversion the total dry mass of leaves and pseudo stems was determined.

b) **Fresh mass of fruit:** clusters were separated from plant and individually weighed in a roman.

las cuales se colocaron en una estufa a 60°C. Finalmente, para obtener la masa seca de dichas alícuotas, éstas se pesaron en una balanza y por conversión se determinó la masa seca total de las hojas y losseudotallos.

b) **Masa fresca del fruto:** los racimos fueron separados de la planta y pesados individualmente en una romana.

c) **Colonización micorrízica:** se colectaron en el campo raicillas de 10 plantas seleccionadas al azar que lucieran saludables y activas. Para la determinación de la colonización micorrízica se utilizó la metodología de McGonigle, *et al.* (1990), para lo cual las raicillas fueron previamente teñidas con azul de tripán según Phillips y Hayman (1970). Debido a que durante el proceso de aclaración las raíces de plátano liberan un alto contenido de fenoles que oscurecen las raíces, se utilizó durante el procedimiento de tinción una solución de KOH al 10% a temperatura ambiente, durante un lapso de 10 a 14 días, dependiendo del grado de pigmentación. Posteriormente se calentaron en una solución nueva de KOH al 10% durante 10 minutos en baño María. Para blanquear aun más las raíces, éstas se colocaron en una solución de agua oxigenada alcalina, la cual contiene  $H_2O_2$  y  $NH_4OH$  durante 10 minutos.

d) **Contenido de P y N:** estos parámetros sólo se midieron en 5 plantas por tratamiento, las cuales fueron seleccionadas de forma aleatoria. Para ello, el material vegetal fue secado, por separado, en una estufa a 60°C hasta peso constante. Luego este material fue molido en un

c) **Mycorrhizal colonization:** rootlets from 10 plants were at random collected looking healthy and actives. For determining the mycorrhizal colonization the methodology of McGonigle *et al.*, (1990) was used; rootlets were previously dyed with trypan blue according to Phillips and Hayman (1970). During the clearing process of plantain roots release a high phenol content darkening roots, because of it, during the dying procedure, a KOH solution at 10% at environmental temperature was used during a period of 10 to 14 days, depending on pigmentation degree. Afterwards they were heated in a new solution of KOH at 10% during 10 minutes in a water bath. For whiten even more the roots, these were placed in a solution of alkaline oxygenated water, which contains  $H_2O_2$  and  $NH_4OH$  during 10 minutes.

d) **P and N content:** these parameters only were measured on 5 plants by treatment, which were at random selected. For that, the vegetal material was separately dried, in an oven at 60°C until constant weight. After, this material was processed on a mill and 50 mg of each sample were weighed. For the P analysis, samples were digested in 5 mL of concentrated sulphuric acid with successive additions of 0.5 mL of  $H_2O_2$ . Digestion was diluted with demineralized water until 75 mL and in this extract the P concentrations were measured by using a spectrophotometer, through the Murphy and Riley methodology (1962). For the N analysis, samples were digested in 2 mL of  $H_2SO_4$  concentrated and ½ selenium tablet

molino y se pesaron 50 mg de cada muestra. Para el análisis de P, las muestras fueron digeridas en 5 mL de ácido sulfúrico concentrado con sucesivas adiciones de 0,5 mL de  $H_2O_2$ . La digestión se diluyó con agua desmineralizada hasta 75 mL y en dicho extracto se midieron las concentraciones de P utilizando un espectrofotómetro, mediante la metodología de Murphy y Riley (1962). Para el análisis de N, las muestras fueron digeridas en 2 mL de  $H_2SO_4$  concentrado y  $\frac{1}{2}$  pastilla de selenio como catalizador, posteriormente el N se cuantificó mediante el método de microkjeldahl.

Además trimestralmente se midieron la altura del seudotallo, el número de hojas emitidas y el perímetro del tallo a un metro desde la superficie del suelo.

Los datos obtenidos se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA). Previo al ANOVA, se aplicó el test de homogeneidad de varianzas de Bartlett. Los datos de porcentaje de infección micorrízica fueron transformados por el arcoseno previo al ANOVA. Se utilizó un test a posteriori de comparación de medias de Tukey ( $\alpha$  0,05%) para n iguales. Todos los datos fueron procesados con el programa estadístico Statistica (versión 99).

## Resultados y discusión

**Respuesta de la planta y contenidos de P y N en el tejido vegetal.** Al realizar la evaluación de los parámetros de crecimiento se encontró que, en general, las plantas de plátano Hartón sometidas al tratamien-

as catalyst, afterwards, N was quantified by the microkjeldahl method.

Also, each three months, the pseudo stem height, the number of emitted leaves and the stem perimeter at one meter from the soil surface.

Data obtained was analyzed through an analysis of variance (ANOVA). Previously to ANOVA, the homogeneity test of variances by Bartlett was applied. Percentage data of mycorrhizal infection were changed to arcsen previous to ANOVA. A posteriori test of Tukey means comparison ( $\alpha$  0.05%) for n equal. All the data were processed with statistical program Statistica (version 99).

## Results and discussion

**Response of plant and contents of P and N in vegetal tissue.** When making the evaluation of growth percentages, it was found that, in general, plants of Horn plantain subjected to Sh treatment reached, in the different growth stages, larger height, leaves number (figure 1a, b) and larger dry mass of pseudo stem and leave (table 1). During the first and second evaluation, height values in this treatment were statistically equal to those Gm and C, but different statistically of treatments LI and HI, while in third evaluation the height reached by Sh treatment was significant larger than the rest of treatments (figure 1a).

In relation to the behavior of pseudo stem diameter, during the first and second evaluation, it was

to Sh alcanzaron, en las distintas etapas de crecimiento, mayor altura, número de hojas (figura 1a, b) y mayor masa seca delseudotallo y de la hoja (cuadro 1). Durante la primera y segunda evaluación los valores de la altura en dicho tratamiento fueron estadísticamente iguales a los tratamientos Gm y C, pero diferentes estadísticamente de los tratamientos BI y AI. Mientras que durante la tercera evaluación la altura alcanzada por el tratamiento Sh fue significativamente mayor que el resto de los tratamientos (figura 1a).

En relación con el comportamiento del diámetro delseudotallo, durante la primera y segunda evaluación, se observó que el tratamiento Sh presentó diferencias significativas en comparación con el tratamiento BI y, en la segunda evaluación con AI y BI. Sin embargo, durante la tercera evaluación estas diferencias desaparecieron (Datos no mostrados). Durante la segunda evaluación, el número de hojas del tratamiento Sh difirió significativamente del resto de los tratamientos, mientras que en la tercera evaluación sólo se encontraron diferencias significativas entre este y el tratamiento BI (figura 1b). Como se sabe, este parámetro es indicativo de la potencial capacidad de llenado del fruto, ya que para obtener un buen racimo de plátano, la planta debe contar con al menos 8 hojas para el momento de la floración (Nava, 1997; Stover, 1987). Por lo tanto, estos resultados permitieron anticipar una excelente producción por efecto del tratamiento Sh.

A los nueve meses de crecimiento en campo, la inoculación con *S.*

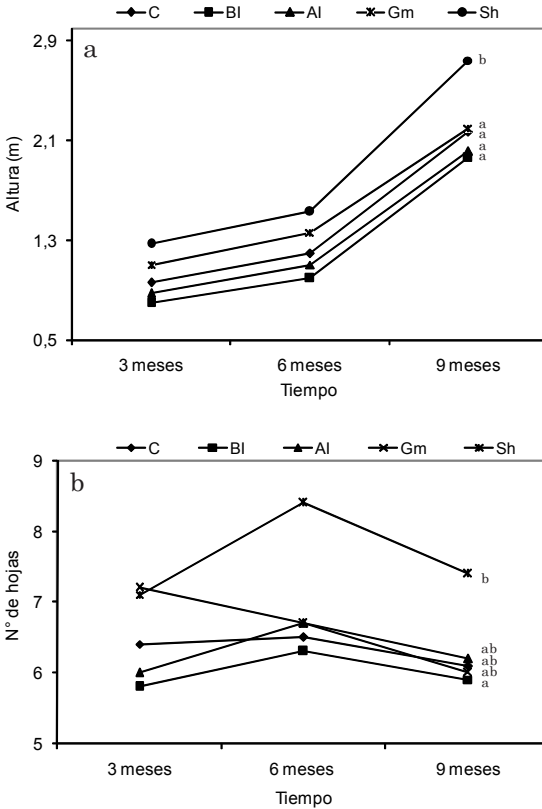
observed that Sh treatment showed significant differences in comparison with LI treatment and, in the second evaluation with HI and LI. However, during third evaluation these differences disappeared (not shown data). During second evaluation, the leaves number of Sh treatment differed significantly of the rest of the treatments, whereas in third evaluation significant differences were only found between this treatment and LI (figure 1b). As known, this parameter is indicative of potential capacity of fruit filled, because for obtaining a good plantain cluster, plant have to have at least 8 leaves for the moment of flowering (Nava, 1997; Stover, 1987). Therefore, these results permitted to anticipate an excellent production by the effect of Sh treatment.

At nine months of growth in field, inoculation with *S. heterogama* increased in a significant way the dry matter of pseudo stem (DMP) and the dry matter of leaves (DML) in comparison with the rest of treatments (table 1) in where significant differences were not observed in these parameters between Horn plantain plants inoculated with LI, HI and Gm. Likewise, differences between theses and C plants were not found. This situation would seems to indicate a functional complementary between Horn plantain plants and *S. heterogama*, because the rest of inoculum used did not had an efficiency for distinguish them from those native AMF presents in the experimental soil.

Fresh mass of cluster reached by Horn plantain plants inoculated with

*heterogama* incrementó significativamente la masa seca del pseudotallo (PSS) y la masa seca de las hojas (PSH) en comparación con los demás

Sh showed statistically significant differences respect to LI, HI and C treatments, but not in relation to Gm treatment (figure 2). These results



C: control no inoculado con HMA; BI: inoculado con HMA nativos (bajos insumos); AI: inoculado con HMA nativos (altos insumos); Gm: inoculado con *G. manihotis*; Sh: inoculado con *S. heterogama*. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas, a los nueve meses de tratamiento, para  $P < 0,05$ . Los valores son las medias de 10 réplicas.

**Figura 1. a) Altura y b) número de hojas en plantas de plátano Hartón inoculadas con hongos micorrízicos arbusculares (HMA) después de tres, seis y nueve meses de tratamiento, bajo condiciones de campo.**

**Figure 1. a) Height and b) leaves number in Horn plantain plants inoculated with AMF after three, six and nine months of treatment, under field conditions.**

**Cuadro 1. Masa seca, contenido de P y N de las hojas y el seudotallo en plantas de plátano Hartón inculadas con HMA después de nueve meses de tratamiento, bajo condiciones de campo.**

**Table 1. Dry matter, P and N content of leaves and pseudo stem in Horn plantain plants inoculated with AMF after nine months of treatment, under field conditions**

Tratamiento	Hoja			Seudotallo		
	Masa seca (g)	Contenido de P (g.planta <sup>-1</sup> )	Contenido de N (g.planta <sup>-1</sup> )	Masa seca (g)	Contenido de P (g.planta <sup>-1</sup> )	Contenido de N (g.planta <sup>-1</sup> )
C	379,9 <sup>a</sup>	0,19 <sup>a</sup>	7,1 <sup>a</sup>	752,0 <sup>a</sup>	0,46 <sup>a</sup>	2,2 <sup>a</sup>
BI	373,7 <sup>a</sup>	0,09 <sup>a</sup>	11,5 <sup>a</sup>	579,7 <sup>a</sup>	0,17 <sup>a</sup>	2,9 <sup>a</sup>
AI	427,9 <sup>a</sup>	0,20 <sup>a</sup>	8,3 <sup>a</sup>	659,4 <sup>a</sup>	0,26 <sup>a</sup>	1,8 <sup>a</sup>
Gm	474,1 <sup>a</sup>	0,35 <sup>a</sup>	12,8 <sup>a</sup>	744,1 <sup>a</sup>	0,41 <sup>a</sup>	2,7 <sup>a</sup>
Sh	808,6 <sup>b</sup>	0,39 <sup>a</sup>	28,8 <sup>b</sup>	1274,6 <sup>b</sup>	0,23 <sup>a</sup>	6,1 <sup>b</sup>

C: control no inculado con HMA; BI: inculado con hongos micorrízicos nativos provenientes de plantaciones de plátano Hartón manejadas con bajos insumos; AI: inculado con hongos micorrízicos nativos provenientes de plantaciones de plátano Hartón manejadas con altos insumos; Gm: inculado con *Glomus manihotis*; Sh: inculado con *Scutellospora heterogama*. Letras diferentes dentro de una misma columna indican diferencias estadísticamente significativas para p<0,05. Los valores de masa seca son las medias de 10 réplicas, mientras que los valores de concentración y contenido de P son las medias de 5 réplicas.

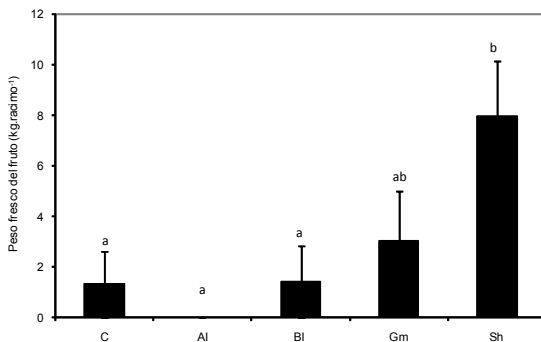
tratamientos (cuadro 1). Donde no se observaron diferencias significativas en tales parámetros entre las plantas de plátano Hartón inoculadas con BI, AI y Gm. Asimismo no se encontraron diferencias entre estas y las plantas C. Ello pareciera indicar cierta complementariedad funcional entre las plantas de plátano Hartón y *S. heterogama*, pues los demás inóculos utilizados no tuvieron una eficiencia que los distinguiera de la que poseen los HMA nativos presentes en el suelo experimental.

La masa fresca del racimo alcanzado por las plantas de plátano Hartón inoculadas con Sh presentó diferencias estadísticamente significativas con respecto a los tratamientos BI, AI y C, pero no en relación al tratamiento Gm (figura 2). Estos resultados implican que con la adición del inóculo Sh la producción de plátano Hartón puede incrementarse en más de un 500%.

Frecuentemente se ha considerado que el beneficio aportado por los HMA a la planta, en cuanto al desarrollo de la biomasa vegetal y al aumento de los parámetros de producción, está relacionado a un mejor estado nutricional debido a que los HMA mejoran la absorción de P (Smith y Read, 1997; Smith, *et al.*, 2004) y, la cantidad de P absorbido podría estar relacionada con el porcentaje de colonización micorrízica (Kim, *et al.*, 2002). Sin embargo, en este estudio no se encontraron tales relaciones. A pesar de que las plantas de plátano Hartón inoculadas con *S. heterogama* presentaron un incremento en la biomasa vegetal y en la producción de frutos, el contenido de P en

implicar que con la adición de Sh inoculum, la producción de plátano Hartón podría ser incrementada en más de un 500%.

Frecuentemente, se ha considerado que el beneficio aportado por los HMA a la planta, en cuanto al desarrollo de la biomasa vegetal y al aumento de los parámetros de producción, está relacionado a un mejor estado nutricional debido a que los HMA mejoran la absorción de P (Smith y Read, 1997; Smith *et al.*, 2004) and, quantity of absorbed P could be related to the mycorrhizal colonization percentage (Kim *et al.*, 2002). However, in this study these relationships were not found. Despite Horn plantain plants inoculated with *S. heterogama* showed an increase in the vegetal biomass and in the fruits production, P content in pseudo stems and leaves, at the moment of harvest, did not show differences statistically significant between treatments (table 1), whereas the larger percentage of mycorrhizal colonization was observed in Gm treatment (figure 3a). These results are similar to those reported by Hayman and Mosse (1979) and Martin and Stutz (2004), who indicate an increase on plant growth by the effect of inoculation with AMF, even though it could not be explained by an increase in the P absorption. Likewise, Sanders and Fitter (1992a) did not find relationships between the vegetal biomass, P contents and the mycorrhizal infection. These results would seem to indicate that the P absorption can not be used like a unique mechanism for explaining the effects of AMF on plants. Perhaps



**Figura 2.** Masa fresca del fruto ( $\text{kg.planta}^{-1}$ ) cosechado, a los nueve meses de crecimiento, de plantas de plátano Hartón inoculadas con HMA. Se grafican los valores medios  $\pm$  ES. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas para  $P < 0,05$ . Para la leyenda de los tratamientos ver figura 1.

**Figure 2.** Fruit fresh matter ( $\text{kg.plant}^{-1}$ ) harvested, at nine months of growth, of Horn plantain plants inoculated with AMF. The average values are graphed  $\pm$  ES. Different letters shows significant statistically differences for  $P < 0.05$ . For the treatments legend see figure 1.

seudotallos y hojas, al momento de la cosecha, no mostró diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos (cuadro 1). Mientras que el mayor porcentaje de colonización micorrízica se observó en el tratamiento Gm (figura 3a). Tales resultados son similares a los reportados por Hayman y Mosse (1979) y Martín y Stutz (2004), quienes señalan un incremento en el crecimiento de las plantas por efecto de la inoculación con HMA, aunque este no pudo ser explicado por un aumento en la absorción de P. Asimismo, Sanders y Fitter (1992a) no encontraron relaciones entre la biomasa vegetal, contenidos de P y la infección micorrízica. Tales resultados parecieran indicar que la absorción de P no puede ser

diferencias found are caused because the fungal resulted to be less expensive for plant in relation to the carbon requirement, or that offered another benefits, like for example protection against pathogens (Newsham *et al.*, 1995) or increase in the other cations like N (Feng *et al.*, 2002, Hodge *et al.*, 2001), which is a more structural element that is incorporated to the tissues, because is present in many essential organics compounds.

Other possible explanation to the lack of a clear relationship between the growth parameters, the plantain production and the P absorption could be possible that only during the period of high P demand; the AMF contributes to the absorption



utilizada como un único mecanismo para explicar los efectos de los HMA sobre las plantas. Quizás las diferencias encontradas se deban a que este hongo resultó ser menos costoso para la planta en relación a su demanda de carbono, o que ofrece otros beneficios, como por ejemplo protección contra patógenos (Newsham, *et al.*, 1995) o aumento en la absorción de otros cationes como el N (Feng, *et al.*, 2002; Hodge, *et al.*, 2001), el cual es un elemento más estructural que se incorpora más a los tejidos, pues está presente en muchos compuestos orgánicos esenciales.

Otra posible explicación a la falta de una clara relación entre los parámetros de crecimiento, la producción de plátano y la absorción de P podría ser que sólo durante los períodos de alta demanda de P los HMA contribuyen a la absorción de la tasa requerida por su hospedero. Los períodos de alta demanda de P están asociados con períodos de altas tasas fotosintéticas, tales como la floración y el llenado del fruto, y es durante estas etapas cuando los HMA podrían estar jugando un papel importante. A causa de que en este estudio el contenido de P en el tejido vegetal fue medido sólo al final del ensayo, es imposible señalar si los HMA tienen un papel esencial en la absorción de P durante ciertas etapas de crecimiento.

Debido a que el cultivo de plátano tiene altos requerimientos de N y K y bajos requerimientos de P (Espinosa, *et al.*, 1995) y, que el N es un elemento que tiene un papel importante en el crecimiento, desarrollo y producción de materia seca (Nava, 1997), entonces, los resultados encon-

of required rate by its host. Periods of high P demand are associated with periods of high photosynthetic rates, such as flowering and fruit filled, and during these stages, the AMF could be playing an important role. In this study the P content was only measured at the end of the essay, it is impossible to establish if the AMF play an essential role in P absorption during some growing stages.

Plantain crop has high requirements of N and K, and little requirements of P (Espinosa *et al.*, 1995) and also, N it is an element with an important role on growth, developing and dry matter production (Nava, 1997), therefore, results found could be explained because this fungal was capable of improving N absorption, because the content of this element, in leaves and pseudo stems was significantly greater in plantain plants subject to Sh treatment in comparison to the rest of treatments. Our results support previous reports that indicate that AMF increase the N content in mycorrhizal plants (Feng, *et al.*, 2002; Hodge *et al.*, 2001, Jin *et al.*, 2005), that is in contradiction with those results obtained by Declerck *et al.*, (1994). These authors found that the N content in banana plants inoculated with *Glomus mosseae* and *Glomus geosporum* was significant smaller in comparison in control plants, whereas the P content was significant higher, which explained the better response in growth by the mycorrhizal banana plants in comparison with those not mycorrhized.

When comparing the response of plantain plants inoculated with native AMF isolated from plantations

trados pueden en este caso explicarse debido a que este hongo fue capaz de mejorar la absorción de N, pues el contenido de este elemento, en hojas y pseudotallos, fue significativamente superior en las plantas de plátano sometidas al tratamiento Sh en comparación con el resto de los tratamientos. Nuestros resultados apoyan reportes previos que indican que los HMA incrementan el contenido de N en plantas micorrizadas (Feng, *et al.*, 2002; Hodge, *et al.*, 2001; Jin, *et al.*, 2005) y, contradicen los resultados obtenidos por Declerck, *et al.*, (1994). Dichos autores, encontraron que el contenido de N en plantas de banano inoculadas con *Glomus mosseae* y *Glomus geosporum* fue significativamente bajo en comparación con las plantas control, mientras que el contenido de P fue significativamente alto, lo cual explicó la mejor respuesta en el crecimiento por parte de las plantas de banano micorrizadas en comparación con las no micorrizadas.

Al comparar la respuesta de las plantas de plátano inoculadas con HMA nativos aislados de plantaciones manejadas con bajos insumos, con la respuesta de las plantas inoculadas con HMA nativos aislados de plantaciones de plátano manejadas con altos insumos, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en ninguno de los parámetros evaluados. Esto posiblemente se deba a que los suelos de las plantaciones de plátano Hartón ubicadas en el Sur del Lago de Maracaibo, están tan sometidos al uso excesivo y sin planificación de agroquímicos, que la diversidad y funcionamiento de las espe-

managed with little inputs, with the response of plants inoculated with native AMF isolated from plantain plantations managed with high inputs, statistically significant differences were not found in any of parameters evaluated. This possibly happen because soils of Horn plantain plantations placed in the South of Maracaibo Lake, are subjected to the excessive use and without agro chemical planning, the diversity and functioning of species of AMF coming from plantations managed with little inputs are already altered by the agricultural practices.

Despite the AMF lacks of specificity in its ability for infecting host plants, one fungal specie do not have the same effect on all the plants, indicating that different species differs in a functional way (Klironomos *et al.*, 2000; Munkvold *et al.*, 2004; Sanders and Fitter, 1992b). Our results support these hypotheses because the plants inoculated with Sh showed the better responses in the growth and production parameters respect to other treatments evaluated. This suggests some functional specificity between Sh and Horn plantain plants. These results seem to point out that the combination fungal/host could be used for promoting growth, production and fertilizer saving in Horn plantain plants. Similar results have been reported by van der Heijden *et al.*, (1998) en plantas de *Hieracium pilosella*, *Bromus erectus* and *Festuca ovina* inoculated with four species of AMF, Taylor and Harrier (2000) in plants of *Rubus idaeus* inoculated with nine species of AMF, Declerck *et*

cies de HMA provenientes de plantaciones manejadas con bajos insumos ya se han visto alteradas por las prácticas agrícolas.

A pesar de que los HMA carecen de especificidad en su capacidad de infectar plantas hospederas, una misma especie de hongo no tiene el mismo efecto sobre todas las plantas, indicando que diferentes especies difieren funcionalmente (Klironomos, *et al.*, 2000; Munkvold, *et al.*, 2004; Sanders y Fitter, 1992b). Nuestros resultados apoyan tales hipótesis pues las plantas inoculadas con Sh presentaron las mejores respuestas en los parámetros de crecimiento y producción con respecto a los otros tratamientos evaluados. Esto sugiere cierta especificidad funcional entre Sh y las plantas de plátano Hartón. Tales resultados parecieran indicar que esta combinación hongo/hospedero pudiese ser utilizada para promover el crecimiento, producción y ahorro de fertilizantes en plantaciones de plátano Hartón. Resultados similares han sido reportados por van der Heijden, *et al.*, (1998) en plantas de *Hieracium pilosella*, *Bromus erectus* y *Festuca ovina* inoculadas con cuatro especies de HMA, Taylor y Harrier (2000) en plantas de *Rubus idaeus* inoculadas con nueve especies de HMA, Declerck, *et al.*, (1995) en siete cultivares de *Musa* AAA, inoculadas con dos especies de HMA, Cuenca, *et al.*, (2007) en plantas de lechuga inoculadas con cinco cepas de HMA, y en plantas de yuca inoculadas con tres especies de HMA. Igualmente, Smith, *et al.*, (2004) demostraron que la formación y función de las micorrizas arbusculares suele ser bastante varia-

*al.*, (1995) in seven cultivars of *Musa* AAA, inoculated with two species of AMF, Cuenca *et al.*, (2007) in lettuce plants inoculated with five strains of AMF, and in cassava plants inoculated with three species of AMF. In the same way, Smith, *et al.* (2004) showed that formation and function of arbuscular mycorrhizal can be so variable between isolates from different species and even, between the isolates from the same specie.

In general the introduced AMF were more efficient, in terms of promoting an increase in fresh weight of cluster, N content and the mycorrhizal colonization, in comparison with species of native AMF associated with plantain crop. These results differ from those obtained by Gonzalez-Chavez and Ferrera-Cerrato (1993) and Cuenca *et al.*, (1990) who found that in comparison to the introduced inoculum, those natives can provoke a better response of plants with an increase on height, dry weight and P absorption.

Our results support those obtained by Caravaca, *et al.* (2005) who pointed out that with *Olea europaea* the introduced AMF were more efficient than native AMF. These results suggest that the affectivity of AMF not only going to depend on its adaptability possibilities to environment, but also on the combination fungal/host.

**Mycorrhizal colonization.** Figure 3a shows the percentages of mycorrhizal colonization after nine months of growing in field, in the Horn plantain roots subjected to different treatments. The higher

ble entre aislados de diferentes especies e incluso, entre aislados de la misma especie.

En general los HMA introducidos fueron más eficientes, en términos de promover un incremento en el peso fresco del racimo, contenido de N y la colonización micorrízica, en comparación con las especies de HMA nativas asociadas con el cultivo de plátano. Estos resultados difieren de los obtenidos por González-Chávez y Ferrera-Cerrato (1993) y Cuenca, *et al.*, (1990) quienes encontraron que en comparación con el inóculo introducido los nativos pueden provocar una mejor respuesta de las plantas con un incremento en la altura, peso seco y absorción de P.

Nuestros resultados apoyan los obtenidos por Caravaca, *et al.*, (2005) quienes reportan que con *Olea europaea* los HMA introducidos fueron más eficientes que los HMA nativos. Tales resultados sugieren que la efectividad de los HMA no sólo va a depender de sus posibilidades de adaptación al medio, sino también de la combinación hongo/hospedero.

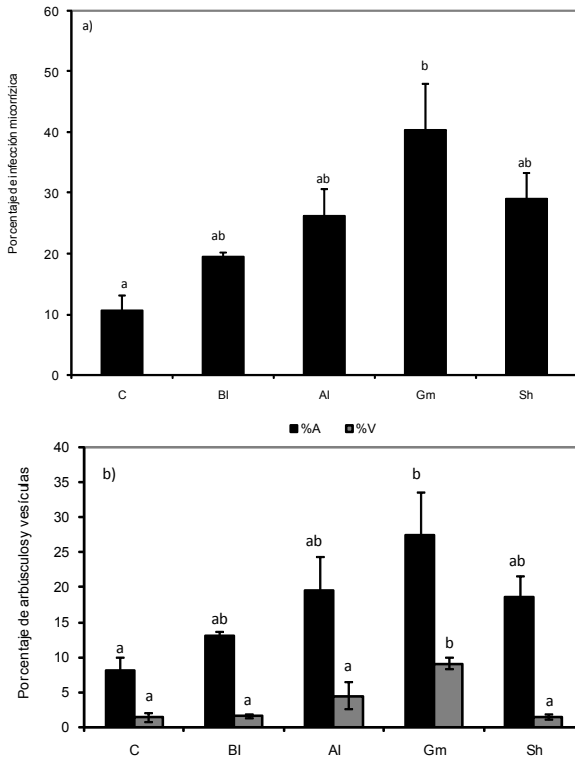
**Colonización micorrízica.** La figura 3a muestra los porcentajes de colonización micorrízica después de nueve meses de crecimiento en campo, en las raíces de plátano sometidas a los distintos tratamientos. El mayor porcentaje de colonización micorrízica se observó en el tratamiento Gm. Este difiere significativamente del tratamiento C, pero no de los tratamientos Sh, BI y AI. A pesar de que estos tres últimos tratamientos obtuvieron mayores porcentajes de colonización micorrízica en comparación al tratamiento C, no

percentage of mycorrhizal colonization was observed in Gm treatment. This differs in a significant way from C treatment, but not from Sh, BI and HI treatments. Despite these three last treatments obtained larger percentages of mycorrhizal colonization in comparison to C treatment, significant statistical differences were not observed nor among them, but also, with C treatment. These results indicate that the native inoculum present in soil of that plantation is so little, only was capable to generate in 9 months a 10% of mycorrhizal colonization.

Respect to the arbuscular percentage in figure 3b it is observed the same behavior showed by the Horn plants roots in relation to the percentage of mycorrhizal colonization between the different treatments evaluated. In relation to the vesicles percentage, those plants subjected to Gm treatment showed significant larger percentages than plants subjected to C, LI, HI and Sh treatments, whereas between these four treatments did not show significant statistically differences (figure 3b). The little vesicle values are indicative of native populations have to be dominated by the AMF genre that not produce vesicles or produces it in a low proportion, so that, a part of these communities are dominated by *Gigaspora* and *Scutellospora*.

## Conclusion

The plantain plants give a better response to the inoculation with AMF introduced in comparison with natives ones. These were more



**Figura 3. Efecto de la inoculación con HMA sobre a) el porcentaje de infección micorrízica y b) el porcentaje de arbuscúlos (%A) y de vesículas (%V) en plantas de plátano Hartón a los nueve meses de inoculadas. Se grafican los valores medios  $\pm$  ES. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas para  $P < 0,05$ . Para la leyenda de los tratamientos ver figura 1.**

**Figure 3. Inoculation effect with AMF on a) the percentage of mycorrhizal infection and b) shrublike percentage (%A) and vesicles (%V) in Horn plantain plants at nine months of inoculated. Averages values  $\pm$  ES. Different letters shows significant differences statistically for  $P < 0.05$ . For the treatment legend see figure 1.**

se presentaron diferencias estadísticamente significativas ni entre ellos, ni con el tratamiento C. Estos resultados indican que el inóculo nativo presente en el suelo de esta plantación es muy bajo, pues sólo fue

efficient by increasing the vegetal biomass and the fruits production, especially *Scutellospora heterogama*, possibly because to an increase in N absorption. Apparently Sh did not affect P absorption, therefore

capaz de generar en 9 meses un 10% de colonización micorrízica.

Con respecto al porcentaje de arbusculos en la figura 3b se observa el mismo comportamiento presentado en las raíces de plátano Hartón en cuanto al porcentaje de colonización micorrízica entre los diferentes tratamientos evaluados. En relación al porcentaje de vesículas las plantas sometidas al tratamiento Gm presentaron porcentajes significativamente superiores que las plantas sometidas a los tratamientos C, BI, AI y Sh, mientras que entre estos cuatro tratamientos no se observaron diferencias estadísticamente significativas (figura 3b). Los bajos valores de vesículas son indicativos de que las poblaciones nativas deben estar dominadas por géneros de HMA que no producen vesículas o la producen en baja proporción, por lo que probablemente parte de dichas comunidades estén dominadas por *Gigaspora* y *Scutellospora*.

## Conclusión

Las plantas de plátano responden mejor a la inoculación con HMA introducidos en comparación con los nativos. Estos fueron más eficientes en incrementar la biomasa vegetal y la producción de frutos, especialmente *Scutellospora heterogama*, debido posiblemente a un aumento en la absorción de N. Aparentemente Sh no afectó la absorción de P, por lo que las diferencias entre HMA y su habilidad para aumentar el crecimiento de la planta hospedera, también podría depender de otros factores, por ejemplo, de una mayor o menor demanda de carbohidratos por un HMA en particular.

differences between AMF and its ability for increasing the host plant growth also could depend on another factors, for example, of a higher or lower carbohydrates demand by AMF in particular.

It is possible that the indiscriminate use of agro chemicals have been affecting the functioning of the native AMF species presents in south of Maracaibo Lake, even those coming from plantain plantations managed with low inputs, so, differences were not found in response, in terms of growth promoting, fruits production, P, N absorption and percentage of mycorrhizal colonization between plantain plants inoculated with native AMF related to plantations managed with low inputs and those inoculated with native AMF comes from plantations managed with high inputs.

Although more researches are needed for explaining the benefit that gives the inoculation of Horn plantain plants with *S. heterogama*, results of this study suggest that these fungi could be used like a strategy of agricultural management with the purpose of increasing the Horn plantain production with low levels of inputs. Thus, the sustainable agriculture would be promoted and dependence on agricultural inputs would be minimized, especially chemical fertilizers with a consequent reduction in the damage to environment and it would have a contribution to guarantee the food security in country.

*End of english version*

Es posible que el uso indiscriminado de agroquímicos haya afectado el funcionamiento de las especies de HMA nativas presentes en el Sur del Lago, incluso las provenientes de plantaciones de plátano manejadas con bajos insumos. Por lo que, no se encontraron diferencias en la respuesta, en términos de promoción del crecimiento, producción de frutos, absorción de P, N y porcentaje de colonización micorrízica entre las plantas de plátano inoculadas con HMA nativos aislados de plantaciones manejadas con bajos insumos y las inoculadas con HMA nativos provenientes de plantaciones manejadas con altos insumos.

Aunque se requieren más investigaciones para poder explicar el beneficio que le proporciona la inoculación de las plantas de plátano Hartón con *S. heterogama*, los resultados del presente estudio sugieren que estos hongos podrían ser utilizados como una estrategia de manejo agrícola a fin de aumentar la producción de plátano Hartón con niveles bajos de insumos. Con ello se estaría promoviendo la agricultura sustentable y se minimizaría la dependencia de insumos agrícolas, especialmente fertilizantes químicos, con su consecuente reducción en el daño al ambiente y se contribuiría a garantizar la seguridad alimentaria del país.

## Literatura citada

- Caravaca, F., M.M. Alguacil, J.M. Barea y A. Roldán. 2005. Survival of inocula and native AM fungi species associated with shrubs in a degraded mediterranean ecosystem. *Soil Biol. Biochem.* 37:227-238.
- Cheng, X. y K. Baumgartner. 2004. Survey of arbuscular mycorrhizal fungal communities in northern California vineyards and mycorrhizal colonization potential of grapevine nursery stock. *HortScience* 39:1702-1706.
- CORPOZULIA-CIPLAT. 2002. Un nuevo mecanismo de financiamiento en el cultivo plátano. p. 31-51. En: I Jornadas Nacionales de Plátano y Banano. Libro de resúmenes. Santa Bárbara de Zulia-Venezuela.
- Cuenca, G., R. Herrera y E. Meneses. 1990. Effects of VA mycorrhiza on the growth of cacao seedlings under nursery conditions in Venezuela. *Plant Soil* 126:71-78.
- Cuenca, G., R. Herrera y E. Meneses. 1991. Las micorrizas vesículo-arbusculares y el cultivo de cacao en Venezuela. *Acta Cient. Venez.* 42:153-159.
- Cuenca, G., A. Cáceres, G. Oirdobro, Z. Hasmy y C. Urdaneta. 2007. Las micorrizas arbusculares como alternativa para una agricultura sustentable en áreas tropicales. *Interciencia* 32(1):23-29.
- Declerck, S., B. Devos, B. Delvaux y C. Plenchette. 1994. Growth response of micropropagated banana plants to VAM inoculation. *Fruits* 49(2):103-109.
- Declerck, S., C. Plenchette y D.G. Strullu. 1995. Mycorrhizal dependency of banana (*Musa acuminata*, AAA group) cultivar. *Plant Soil* 176:183-187.
- Douds, D.D., L. Galvez, G. Bécard y Y. Kapulnik. 1998. Regulation of arbuscular mycorrhizal development by plant host and fungus species in alfalfa. *New Phytol.* 138: 27-35.
- Elsen, A., H. Baimey, R. Swennen y D. Waele. 2003. Relative mycorrhizal dependency and mycorrhizal-nematode interaction in banana

- cultivars (*Musa* spp.) differing in nematode susceptibility. *Plant Soil* 256:303-313.
- Espinosa, J., S. Belalcazar, A. Chacón, D. Suárez. 1995. Fertilización del plátano en densidades altas. p. 1-9. En: Belalcazar, S. y O. Jaramillo (Eds.). Segundo Informe Técnico Regional nueve. Armenia, Colombia.
- Estrada, G. Y M. Sánchez. 1995. Dependencia del café *Coffea arabica* L. Var. Colombia por la micorriza vesículo-arbuscular. *Acta Agronómica* 45:85-88.
- Estrada-Luna, A.A. y F.T. Davies. 2003. Arbuscular mycorrhizal fungi influence water relations, gas exchange, abscisic acid and growth of micropropagated chile ancho pepper (*Capsicum annuum*) plantlets during acclimatization and post acclimatization. *J. Plant Physiol.* 160:1073-1083.
- FAO. 2006. Boletín trimestral FAO de estadística. Disponible en: <http://www.fao.org>.
- Feng, G., F. Zhang, X. Li, Ch. Tian, C. Tang y Z. Rengel. 2002. Uptake of nitrogen from indigenous soil pool by cotton plant inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 33 (19 y 20):3825-3836.
- Gazey, C., L.K. Abbott y A.D. Robson. 2004. Indigenous and introduced arbuscular mycorrhizal fungi contribute to plant growth in two agricultural soil from south-wester Australia. *Mycorrhiza* 14:355-362.
- González- Chávez, M.C. y R. Ferrera-Cerrato. 1993. Influencia de la endomicorriza vesículo-arbuscular en cuatro variedades de café. p. 100-112. En: Pérez, M.J. y R. Ferrera-Cerrato (Eds.). Avances de investigación. Sección de Microbiología de suelos. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México.
- Hayman, D.S. y B. Mosse. 1979. Improved growth of white clover in hill grasslands by mycorrhizal inoculation. *Annals Appl. Biol.* 93:141-148.
- Hernández, G., G. Cuenca y A. García. 2000. Behavior of arbuscular-mycorrhizal fungi on *Vigna luteola* growth and its effect on the exchangeable ( $^{32}\text{P}$ ) phosphorus of soil. *Biol. Fert. Soils* 31:232-236.
- Hodge, A., C.D. Campbell y A.H. Fitter. 2001. An arbuscular mycorrhizal fungus accelerates decomposition and acquires nitrogen directly from organic material. *Nature.* 413:297-299.
- Jansa, J., A. Mozafar, G. Kuhn, T. Anken, R. Ruh, I.R. Sanders y E. Frossard. 2003. Soil tillage affects the community structure of mycorrhizal fungi in maize roots. *Ecol. Applic.* 13:1164-1176.
- Jin, H., P.E. Pfeffer, D.D. Douds, E. Piotrowski, P.J. Lammers y Y. Shachar-Hill. 2005. The uptake, metabolism, transport and transfer of nitrogen in an arbuscular mycorrhizal symbiosis. *New Phytol.* 168:687-696.
- Johnson, N.C., J.H. Graham y F.A. Smith. 1997. Functioning of mycorrhizal associations along the mutualism-parasitism continuum. *New Phytol.* 135:575-586.
- Kim, K.Y., Y.S. Cho, B.K. Sohn, R.D. Park, J.H. Shim, S.J. Jung, Y.W. Kim y K.Y. Seong. 2002. Cold-storage of mixed inoculum of *Glomus intraradices* enhances root colonization, phosphorus status and growth of hot pepper. *Plant Soil* 238:267-272.
- Klironomos, J.N., J. McCune, M.M. Hart y J. Neville. 2000. The influence of arbuscular mycorrhizae on the relationship between plant diversity and productivity. *Ecol. Letters* 3:137-141.



- Marschner, H. y B. Dell. 1994. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant Soil* 154:89-102.
- Martin, Ch.A. y J.C. Stutz. 2004. Interactive effects of temperature and arbuscular mycorrhizal fungi on growth, P uptake and root respiration of *Capsicum annuum* L. *Mycorrhiza* 14:241-244.
- McGonigle, T.P., M.H. Millar, D.G. Evans, G.L. Fairchild y J.A. Swan. 1990. A new method which gives an objective measure of colonization of roots by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytol.* 115:495-501.
- Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (M.A.R.N.R.). 1981. Estudio de los suelos semidetallado. Sector Río Mucujepe «Río Escalante zona Sur del Lago de Maracaibo». Serie informes técnicos zona 5-IT-156. 118 p.
- Morton, J.B., S.P. Bentivenga y W.W. Wheeler. 1993. Germplasm in the international collection of arbuscular and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi (INVAM) and procedures for culture development, documentation and storage. *Mycotaxon* 48:491-528.
- Munkvold, L., R. Kjoller, M. Vestberg, S. Resendahl y I. Jakobsen. 2004. High functional diversity within species of arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytol.* 164:357-364.
- Murphy, J. y J.P. Riley. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphore in natural waters. *Anal. Chim. Acta* 27:31-36.
- Nava, C. 1997. El plátano, su cultivo en Venezuela. Ediciones Astro Data. S.A. Maracaibo. 122p.
- Newsham, K.K., A.H. Fitter y A.R. Watkinson. 1995. Arbuscular mycorrhiza protect an annual grass from root pathogenic fungi in the field. *J. Ecol.* 83:991-1000.
- Phillips, J.M. y D.S. Hayman. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 55:158-161.
- Rillig, M. 2004. Arbuscular mycorrhizae, glomalin, and soil aggregation. *Can. J. Soil Sci.* 84: 355-363.
- Ruiz-Lozano, J.M. y R. Azcón. 1995. Hyphal contribution to water uptake in mycorrhizal plants as affected by the fungal species and water status. *Physiol. Plant* 95:472-478.
- Sanders, I.R. y A.H. Fitter. 1992a. The ecology and function of vesicular-arbuscular mycorrhizas in co-existing grassland species. II. Nutrient uptake and growth of vesicular-arbuscular mycorrhizal plants in a semi-natural grassland. *New Phytol.* 120:525-533.
- Sanders, I.R. y A.H. Fitter. 1992b. Evidence for differential responses between host fungus combinations of vesicular arbuscular mycorrhizas from a grassland. *Mycol. Res.* 96:415-419.
- Sieverding, E. 1991. Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems. Technical Cooperation, Federal Republic of Germany. 371 p.
- Smith, S.E. y D.J. Read. 1997. *Mycorrhizal symbiosis*. Academic Press, Cambridge. 605 p.
- Smith, S.E., F.A. Smith y I. Jakobsen. 2004. Functional diversity in arbuscular mycorrhizal (AM) symbioses: the contribution of the mycorrhizal P uptake pathway is not correlated with mycorrhizal responses in growth or total P uptake. *New Phytol.* 162:511-524.

- Stover, R.H. 1987. Producción de plátano en presencia de la Sigatoka negra. U.P.E.B. Informe mensual 11 (82):50-56.
- Taylor, J. y L. Harrier. 2000. A comparison of nine species of arbuscular mycorrhizal fungi on the development and nutrition of micropropagated *Rubus idaeus* L. cv. Glen Prosen (red raspberry). Plant Soil 225:53-61.
- van der Heijden, M.G.A., T. Boller, A. Wiemken y I.R. Sanders. 1998. Differential arbuscular mycorrhizae species are potential determinants of plant community structure. Ecology 79:2082-2091.