

Inoculación con consorcios nativos de hongos de micorriza arbuscular en *Agave angustifolia* Haw.*

Inoculation of native arbuscular mycorrhizal fungi consortia in *Agave angustifolia* Haw.

María de Lourdes Robles-Martínez^{1,2}, Celerino Robles^{2§}, Facundo Rivera-Becerril³, María del Pilar Ortega-Larrocea⁴ y Lina Pliego-Marín⁵

¹Programa Doctoral en Ciencias Biológicas y de la Salud. Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco. ²Laboratorio de Suelos. CIIDIR-IPN-OAXACA, Calle Hornos No.1003. Santa Cruz Xoxocotlán, 71230 Oaxaca, México. Tel y fax: +52 951 5170610. (luluroblesmx@hotmail.com; croblesp@ipn.mx.) ³Departamento El Hombre y su Ambiente. Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco. Calzada del Hueso 1100. Col. Villa Quietud. 04960 México, D. F. frivera@correo.xoc.uam.mx. ⁴Departamento de Edafología. Instituto de Geología. Universidad Nacional Autónoma de México. Circuito Exterior S/N. Ciudad Universitaria. 04510 México, D. F. mpol@geologia.unam.mx. ⁵Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. ExHacienda de Nazareno. Santa Cruz Xoxocotlán. 68130 Oaxaca. linapliego@hotmail.com. [§]Autor para correspondencia: croblesp@ipn.mx.

Resumen

El objetivo de éste trabajo fue determinar la compatibilidad funcional de inóculos nativos de hongos de micorriza arbuscular (HMA) en *Agave angustifolia*, utilizando parámetros de crecimiento y nutrición como indicadores. En el invernadero del Laboratorio de Suelos del CIIDIR- Unidad Oaxaca, en 2009, se realizó un experimento bifactorial con arreglo combinatorio con cuatro repeticiones y distribución de tratamientos en bloques aleatorizados completos. Los factores experimentales y sus niveles fueron: factor A: plántulas de maguey propagadas por hijuelos vegetativos (HI) y por bulbilos florales (BU); factor B: seis inóculos de consorcios nativos de HMA provenientes del distrito de Tlacolula, Oaxaca (CN1 a CN6), control positivo *Glomus intraradices* (GI) y control absoluto sin inocular (CON). Las variables de respuesta fueron: altura de la planta, área foliar por planta, longitud y distribución de raíces y biomasa a la cosecha (pesos fresco y seco de hojas, tallo y raíces), concentración y contenido de N y P en hojas y colonización micorrízica. En HI se registró el mayor grado de compatibilidad con el inóculo CN2. En BU se registró compatibilidad con los inóculos CN4, CN6 y GI. Las plantas que fueron inoculadas con CN2 registraron los más altos

Abstract

The aim of this work was to determine the functional compatibility of native inoculums of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in *Agave angustifolia*, using parameter of growing and nutrition as indicators. In the greenhouse from the Soil Laboratory Unit CIIDIR in Oaxaca, during 2009, an experiment was conducted a two-factor with a combine array with four replications and distribution of treatments in randomized complete blocks. The experimental factors and their levels were: factor A: maguey seedlings propagated by vegetative tillers (HI) and by floral bulbils (BU), factor B, six native inoculums of AMF consortia from the district of Tlacolula, Oaxaca (CN1 to CN6), positive control *Glomus intraradices* (GI) and uninoculated absolute control (CON). The response variables were: plant height, leaf area per plant, root length and distribution and biomass at harvest (fresh and dry weight of leaves, stem and roots), concentration and content of N and P in leaves and mycorrhizal colonization. In HI was recorded the highest degree of compatibility with the inoculum CN2. BU recorded compatibility with inoculums CN4, CN6 and GI. The plants that were inoculated with CN2 recorded the highest values in compatibility indicator variables, followed closely by those receiving the inoculum

* Recibido: diciembre de 2012
Aceptado: marzo de 2013

valores en las variables indicadoras de compatibilidad, seguidas cercanamente por las que recibieron el inóculo CN3. Independientemente de su origen, las plántulas de *A. angustifolia* mostraron mejor compatibilidad funcional con inóculos nativos que con el inóculo de la especie introducida.

Palabras clave: *Agave angustifolia*, *Glomus intraradices*, biofertilizantes, compatibilidad funcional.

Introducción

Los hongos endomicorrízicos arbusculares (HMA) son constituyentes esenciales de la microbiota nativa del suelo en ecosistemas y agroecosistemas, probablemente colonicen más tejidos que ningún otro organismo en la naturaleza. Por eso, en agrosistemas es preciso realizar estudios previos del estado micorrízico del sistema así como de su actividad, y si es necesario, reforzar la población natural de HMA con inoculaciones apropiadas (Allen *et al.*, 1992; Requena *et al.*, 1996).

Las asociaciones micorrízicas son cosmopolitas, por su presencia en la mayoría de los hábitats naturales terrestres, y ubicuas, por el amplio número de familias de plantas susceptibles de ser micorrizadas (Hernández *et al.*, 2003). Estos hongos no se asocian con especies vegetales específicas; sin embargo, el efecto que tienen sobre ellas sí puede ser diferente de acuerdo con la especie vegetal de que se trate; es decir, no son específicos pero sí tienen una efectividad diferencial. Como el nivel de colonización que distintos hongos MA pueden tener para un mismo hospedero son diferentes, se puede inferir que existe un cierto grado de especificidad en la simbiosis, lo que lleva al concepto de compatibilidad (Barea, 1991). Smith y Gianinazzi-Pearson (1988) acuñaron el término "compatibilidad funcional" para indicar la expresión fenotípica de un hongo MA como resultado de la influencia del ambiente sobre la expresión genotípica de ambos simbiosis, planta y hongo.

Aunque en sistemas experimentales las incompatibilidades de las combinaciones planta-HMA son escasas, ello suele ser más frecuente en condiciones naturales. La razón es que generalmente un determinado hongo está adaptado a condiciones ambientales determinadas y su introducción en ecosistemas diferentes puede provocar "inadaptaciones" al medio (Brundrett, 1991; Rillig y Mummey, 2006).

CN3. Regardless of its origin, seedlings of *A. angustifolia* showed better functional compatibility with native inoculums than with inoculum of the introduced species.

Key words: *Agave angustifolia*, *Glomus intraradices*, biofertilizers, functional compatibility.

Introduction

Arbuscular endomycorrhizal fungi (AMF) are essential constituents of the indigenous soil microbiota in ecosystems and agroecosystems, probably colonize more tissues than any other organism in nature. So, it is necessary to make previous research in agroecosystems of the mycorrhizal status, thus as their activity, and if necessary, strengthen the natural population of AMF with appropriate inoculations (Allen *et al.*, 1992, Requena *et al.*, 1996).

Mycorrhizal associations are cosmopolitan, by its presence in most terrestrial habitats, and ubiquitous, for the large number of plant families that can be susceptible to mycorrhizal (Hernández *et al.*, 2003). These fungi are not associated with specific plant species, however, the effect on them may be different according to the plant species in question; i.e. are not specific but they have differential effectiveness. As the levels of colonization that different AMF may have on the same host are different, it can be inferred that there is some degree of specificity in the symbiosis, which leads to the concept of compatibility (Barea, 1991). Smith and Gianinazzi-Pearson (1988) coined the term "functional compatibility" to indicate the phenotypic expression of a MA fungus as result of the influence from environment over phenotypic expression of symbionts, plant and fungus.

Although in experimental systems the incompatibilities of plant-AMF combinations are rare, it is usually more common in natural conditions. The reason is that a specific fungus is adapted to a specific environment and its introduction into different ecosystems can cause "maladjustments" to the medium (Brundrett, 1991; Rillig and Mummey, 2006).

Agave angustifolia known regionally in Oaxaca (Mexico) as "maguey sprat" and is a cultivated species of great socio-economic value in this entity. It is estimated in more than 15500 ha planted of the species in the "mescal region" of Oaxaca (Figure 1), corresponding to the district of Tlacolula over 50% of this surface (Chagoya-Méndez,

Agave angustifolia, planta conocida regionalmente en Oaxaca (México) como “maguey espadín”, es una especie cultivada de gran valor socioeconómico en esta entidad. Se estima en más de 15 500 ha la superficie plantada de la especie en la “región del mezcal” de Oaxaca (Figura 1), correspondiendo al distrito de Tlacolula más de 50% de ésta superficie (Chagoya-Méndez, 2004). Las nuevas plantaciones de la especie se establecen con plántulas obtenidas por hijuelos rizomatosos y bulbilos aéreos, en proporción 4:1 (Enríquez-del Valle, 2008). La investigación enfocada al manejo agronómico de la especie es escasa. Se ha generado muy poca información relacionada al manejo de la fertilidad de los suelos y la nutrición de las plantas.

Arredondo *et al.* (2001) concluyeron que la mejor respuesta del crecimiento del maguey espadín cultivado en la región de los Valles Centrales de Oaxaca se presentó cuando se aplicaron simultáneamente las fertilizaciones orgánica, mineral y biológica, significando la última la aplicación de cinco kg por hectárea de “micorriza”. El inoculante utilizado por los autores fue producido y distribuido por el programa “Alianza para el Campo” de la SAGARPA en el año 1999, aunque no se reportó la especie o especies de hongos presentes ni los métodos utilizados para su producción. Se han descrito las condiciones de la fertilidad de los suelos cultivados con *A. angustifolia* en el distrito de Tlacolula, Oaxaca, de acuerdo a las variaciones topográficas de los agrosistemas y a la edad de las plantas (Bautista-Cruz *et al.*, 2007), concluyendo que, en general, los suelos son pobres en materia orgánica, nitrógeno y fósforo, condiciones en las que es factible esperar una respuesta positiva a la inoculación con cepas eficientes y competitivas de HMA (Alarcón *et al.*, 2002; Azcón-Aguilar *et al.*, 2003).

El objetivo del trabajo fue registrar los efectos de la inoculación con consorcios nativos de HMA sobre el crecimiento y absorción de nutrientes de plántulas de *A. angustifolia* obtenidas de hijuelos rizomatosos y de bulbilos aéreos.

Materiales y métodos

Diseño experimental

Se realizó un experimento bifactorial completo con arreglo combinatorio, con cuatro repeticiones. La distribución de tratamientos fue en bloques aleatorizados completos, dando

2004). New plantings of the species are established with seedlings obtained by rhizomatous tillers and aerial bulbils in proportion 4:1 (Enríquez-del Valle, 2008). The research focused on agronomic management of the species is scarce. It has generated very little information related to the management of soil fertility and plant nutrition.

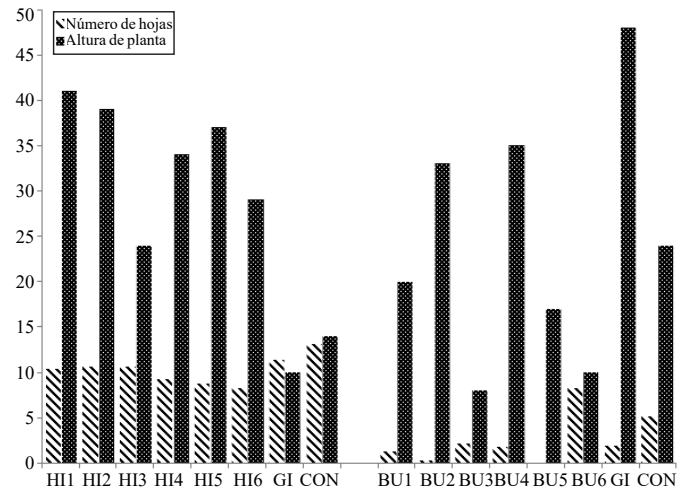


Figura 1. Número de hojas desplegadas y altura de planta (cm) en maguey espadín (*Agave angustifolia* Haw.) de dos orígenes de planta, hijuelos rizomatosos (HI) o bulbilos florales (BU), que recibieron inoculación con seis consorcios multicepa de suelos naturales del distrito de Tlacolula, México. (CN1 a CN6), una cepa de *Glomus intraradices* (GI) o no fueron inoculadas (CON), y crecieron en invernadero durante 14 semanas después de ser trasplantadas.

Figure 1. Number of leaves unfolded and plant height (cm) in sprat maguey (*Agave angustifolia* Haw.) of two origins of plant rhizomatous tillers (HI) or floral bulbils (BU), that received inoculation of six multi strain consortia of natural soils from the district of Tlacolula, Mexico. (CN1 to CN6), a strain of *Glomus intraradices* (GI) or were not inoculated (CON), and grown in a greenhouse for 14 weeks after transplantation.

Arredondo *et al.* (2001) concluded that the best growth response from sprat maguey grown in the region of the Central Valleys of Oaxaca was presented when applied simultaneously organic, mineral and biological fertilization, meaning the last application of five kg per hectare of "mycorrhiza". The inoculum used by the authors was produced and distributed by the "Alliance for the Countryside" of SAGARPA in 1999, but did not report the specie or species of fungi present, nor the methods used to produce them. It has been described the conditions of fertility for soils cultivated with *A. angustifolia* in the district of Tlacolula, Oaxaca, according

un total de 16 tratamientos y 64 unidades experimentales. Los factores experimentales y sus niveles se anotan en el Cuadro 1.

Desarrollo experimental

La unidad experimental fue una plántula de *A. angustifolia* establecida en maceta de polietileno rígido de forma troncocónica, con capacidad para 1 200 g de sustrato. Este fue una mezcla de suelo franco y arena de río en proporción 1:1 (v/v), esterilizada por autoclave a 120 °C durante tres horas. Los inoculantes micorrízicos fueron desarrollados en macetas con *Sorghum vulgare* como planta trampa, en arena de río como sustrato, de acuerdo a lo descrito por Santiago-Soriano (2005). La aplicación de los inoculantes micorrízicos se realizó a una dosis de 8 g por maceta, colocado en el centro de la maceta y sobre el mismo se colocaron las plántulas. El crecimiento ocurrió totalmente en invernadero (temperatura diurna 26-30 °C; temperatura nocturna 18-20 °C; fotoperiodo 14 h iluminación, 10 h oscuridad). El riego se realizó a discreción con agua potable. El periodo de crecimiento evaluado fue de 14 semanas después del trasplante.

Variables de respuesta

Altura de la planta, área foliar por planta (al cumplirse 6, 10 y 14 semanas), longitud y distribución de raíces, biomasa (pesos fresco y seco de hojas, tallo y raíces), concentración y contenido de nutrientes en hojas, N, método microKjeldahl; P, acenización a 500 °C, determinación por el método de vanadomolibdato (Lachica *et al.*, 1973), colonización micorrízica por clareo y tinción con azul de tripano (Phillips y Hayman, 1970) y determinación de colonización por observación microscópica de segmentos de raíz teñidos (McGonigle *et al.*, 1990) (al cumplirse 14 semanas).

Análisis estadísticos

Los datos fueron sometidos a análisis de la varianza y prueba de rango múltiple para separación de medias (diferencia significativa honesta de Tukey- DSH) a un nivel de significancia $p < 0.05$. Los datos registrados como porcentaje fueron transformados, previos al análisis, por el procedimiento arcCos para satisfacer el requisito de la distribución normal (Steel y Torrie, 1980). En todos los casos se utilizó el software Statgraphics Centurion XVI (Statistical Graphics Corporation, 2009).

to topographic variations from agroecosystems and plant age (Bautista-Cruz *et al.*, 2007), concluding that in general, soils are poor in organic matter, nitrogen and phosphorus, conditions in which to expect a positive response to inoculation with efficient and competitive strains of AMF (Alarcón *et al.*, 2002; Azcon-Aguilar *et al.*, 2003).

The objective was to record the effects of inoculation with native AMF consortia on growth and nutrient uptake of seedlings of *A. angustifolia* obtained from rhizomatous tillers and aerial bulbils.

Materials and methods

Experimental Design

An experiment was conducted, a two-factor with a combine array with four replications. The distribution of treatments was randomized complete block, giving a total of 16 treatments and 64 experimental units. The experimental factors and their levels are noted in Table 1.

Cuadro 1. Descripción de tratamientos ensayados experimentalmente con plantas de *Agave angustifolia*, en un experimento bifactorial completo con arreglo combinatorio.

Table 1. Description of treatments tested experimentally with *Agave angustifolias* plants in a complete two-factor experiment under combination array.

Tratamiento	Factor A (origen de plántula)	Factor B (inóculo micorrízico)
1	BU	CN1
2		CN2
3		CN3
4		CN4
5		CN5
6		CN6
7	HI	GI
8		CON
9		CN1
10		CN2
11		CN3
12		CN4
13		CN5
14		CN6
15		GI
16		CON

BU- bulbilos aéreos; HI- hijuelos de raíz; CN- consorcio nativo del distrito de Tlacolula, Oaxaca; GI- *Glomus intraradices*; CON- control sin inocular.

Resultados y discusión

El origen de las plantas influyó sobre las variables de crecimiento, pero no sobre las de nutrición (Cuadro 2). Las plantas originadas de hijuelos se comportaron con mayor vigor que las de bulbilos aéreos, logrando mayor producción de biomasa, tanto aérea como de raíces, aunque la concentración de los macronutrientes N y P no fue significativamente diferente ($p \leq 0.05$) entre ambos.

Cuadro 2. Peso seco aéreo (PSA), peso seco de raíces (PSR), concentración de N y P en tejido aéreo y colonización micorrizica en plantas de maguey espadín (*Agave angustifolia* Haw.) de dos orígenes, hijuelos rizomatosos (HI) o bulbilos florales (BU), que recibieron inoculación con seis consorcios multicepa de suelos naturales del distrito de Tlacolula, Oaxaca. (CN1 a CN6), una cepa de *Glomus intraradices* (GI) o no fueron inoculadas (CON), y crecieron en invernadero durante 14 semanas después de ser trasplantadas. n= 64.

Table 2. Aerial dry weight (PSA), root dry weight (RDW), N and P concentration in aerial tissue and mycorrhizal colonization in sprat maguey (*Agave angustifolia* Haw) from two origins, rhizomatous tillers (HI) or floral bulbils (BU), receiving inoculation of six multi strain consortia of natural soils from the district of Tlacolula, Oaxaca. (CN1 to CN6), a strain of *Glomus intraradices* (GI) or were not inoculated (CON), and grown in a greenhouse for 14 weeks after transplantation. n= 64.

FV Mic	Niveles	PSA (g)	PSR (g)	(%) N	(%) P	(%) Col
Planta	BU	5.28 a	1.94 a	1.50 a	0.17 a	32.8 b
	HI	7.75 b	3.27 b	1.39 a	0.17 a	27.7 a
Inoc	CN1	5.63 bc	2.45 ab	1.43 a	0.17 ab	32.2 b
	CN2	9.94 d	3.80 b	1.45 a	0.18 ab	36.6 b
	CN3	7.71 cd	2.10 a	1.49 a	0.17 ab	35.5 b
	CN4	6.47 bc	2.52 ab	1.56 a	0.20 b	32.1 b
	CN5	2.24 a	1.71 a	1.36 a	0.16 b	33.1 b
	CN6	3.85 ab	2.24 ab	1.34 a	0.16 b	32.5 b
	GI	9.75 d	3.00 ab	1.58 a	0.20 b	32.1 b
	CON	6.52 bc	3.01 ab	1.38 a	0.14 a	8.0 a

Medias seguidas por la misma letra son significativamente iguales entre sí (Tukey 0.05).

La colonización MA se comportó de manera inversa, registrando las plantas de hijuelos un valor significativamente menor que las de bulbilos. La respuesta a la inoculación registró un comportamiento similar, con las variables de crecimiento resultando buenas indicadoras, no así la absorción de nutrientes. A pesar de no registrar diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre ninguno de los inoculantes aplicados para la colonización micorrizica, los inoculantes CN2 y GI promovieron que las plantas acumularan significativamente ($p \leq 0.05$) más biomasa aérea que la que acumularon las plantas no inoculadas, mientras que en la producción de biomasa radical no se registró diferencia significativa entre estos mismo tratamientos y el control.

Experimental development

The experimental unit was a seedling of *A. angustifolia* established in a pot rigid polyethylene shaped conical, with a capacity of 1 200 g of substrate. This was a mixture of loam soil and river sand in a 1:1 proportion (v/v), sterilized by autoclaving at 120 °C for three hours. Mycorrhizal inoculants were developed in pots with *Sorghum vulgare* as trap plant, in river sand as substrate, according to that described by Santiago-Soriano (2005). Applying the

mycorrhizal inoculants was performed at a dose of 8 g per pot, placed in the center of the container and over the same placed the seedlings. The growth occurred entirely in greenhouse (day temperature 26-30 °C; night temperature 18-20 °C; photoperiod 14 h light, 10 h dark). Irrigation was performed at discretion with potable water. The growth period evaluated was 14 weeks after transplantation.

Response variables

Plant height, leaf area per plant (at 6, 10 and 14 weeks), length and distribution of root, biomass (fresh and dry weight of leaves, stem and roots), concentration and nutrient content in leaves, N, micro Kjeldahl method; P, ashes to

CN2 es un inoculante multicepa obtenido de la propagación de las especies nativas de HMA existentes en suelo rizosférico de una parcela cultivada con maguey mezcalero proveniente de la población Santiago Matatlán, Oaxaca por la técnica de la "planta trampa" (Sieverding, 1991). GI es un inoculante obtenido de la propagación de una cepa exótica de *Glomus intraradices* donada por el Banco Europeo de Glomales (BEG-72). Esta especie ha sido reportada como de alta eficiencia para promover el crecimiento de numerosas especies vegetales (Robles, 1999). Ha sido común registrar mejores comportamientos de organismos benéficos nativos que exóticos en la promoción del crecimiento vegetal (Pérez-Solis, 2001), así como de consorcios multicepa en comparación con inoculantes unicepa (Bashan *et al.*, 2005).

Éstas diferencias se deben a la adaptación de los organismos nativos a las condiciones ambientales (clima y suelo) locales que no poseen o son de mayor dificultad para los organismos exóticos (Allen, 1996; Kabir *et al.*, 1996), así como al efecto sinérgico que ejercen los organismos nativos, particularmente las bacterias rizosféricas (Chanway *et al.*, 1989).

La variable altura de la planta se comportó de manera inversa a la producción de biomasa, para el factor origen de plántula (Figura 1). Las plantas provenientes de bulbilos, sometidos a los tratamientos control e inoculado con GI registraron la mayor ganancia en altura, seguidos muy de cerca por un grupo formado por las plantas inoculadas con CN1, CN2 y CN3, en tanto que en plantas de hijuelos, aquellas que se inocularon con CN6 registraron la mayor ganancia en altura, seguido por el control. La variable número de hojas, contrariamente a la variable altura, tuvo mayor ganancia por el tipo de planta hijuelos y menor en bulbilos florales, mostrando que las plantas originadas de diversos tipos de propagación en su etapa juvenil gastan su energía de diferente forma, unas en altura y otras en incrementar el número de hojas y la producción de biomasa.

No hay reportes que expliquen este comportamiento del crecimiento para la especie de *A. angustifolia*; sin embargo, varios autores hacen mención de esta diferencia en henequén, *A. fourcroydes* Lem. La FAO (1969) concluye que los bulbilos son mejores como material de propagación porque produce hojas mayores y mejor rendimiento en fibra. Contrariamente, Lock (1969) afirma que las plantas obtenidas de hijuelos dan un rendimiento significativamente mayor en fibra que las obtenidas a partir de bulbilos. Sin

500 °C, determined by the method of vanadomolybdate (Lachica *et al.*, 1973), clearcut mycorrhizal colonization and trypan blue staining (Phillips and Hayman, 1970) and determining colonization by microscopic observation of root segments stained (McGonigle *et al.*, 1990) (at 14 weeks).

Statistical analyzes

The data was subjected to analysis of variance and multiple range test for separation of means (Tukey's honestly significant difference-HSD) at a significance level of $p < 0.05$. The data recorded as percentage were transformed before analysis by the procedure arcCos to meet the requirement of normal distribution (Steel and Torrie, 1980). In all cases was used Statgraphics Centurion XVI software (Statistical Graphics Corporation, 2009).

Results and discussion

The origin of the plants influenced the growth variables, but not on nutrition (Table 2). The plants originated from tiller behaved with greater vigor than the aerial bulbils, achieving greater biomass production, both aerial and root, although the concentration of macronutrients N and P was not significantly different ($p \leq 0.05$) between the two.

AM colonization behaved inverse, recording tiller plants a significantly value lower than bulbils. The response to inoculation recorded a similar pattern, with growth variables resulting good indicators, but not like this absorption of nutrients. Despite not registering significant difference ($p \leq 0.05$) between any of the inoculants applied to mycorrhizal colonization, inoculants CN2 and GI promoted that plants accumulating significantly ($p \leq 0.05$) more aerial biomass than non-inoculated plants accumulated, while on root biomass production was not recorded significant difference between these treatments and control.

CN2 is a multi strain inoculant obtained from the propagation of existing HMA of native species in rhizospheric soil of a cultivated plot of maguey mezcal from Santiago Matatlán, Oaxaca by the technique of "trap plant" (Sieverding, 1991). GI is an inoculant obtained from the propagation of an exotic strain of *Glomus intraradices* donated by the European Bank of Glomales (BEG-72). This species has been reported as high efficiency to promote the growth of many plant species (Robles, 1999). It has been

embargo, Bequer *et al.* (1990) no encontraron diferencias significativas en los rendimientos agroindustriales ni en los parámetros de calidad de la fibra de plantas originadas de bulbilo y el hijuelo.

Para la variable número de raíces (Figura 2) destacó para hijuelos el tratamiento CN2 en raíces secundarias y terciarias. Comportamiento similar se registró en la variable longitud de raíz mayor (Figura 3). El crecimiento y distribución de raíces no ha sido una variable muy estudiada como respuesta vegetal a la inoculación con HMA, aun cuando se reconoce con frecuencia que la presencia de la micorriza incrementa la biomasa y volumen de la raíz (Berta *et al.*, 1993; Agúin *et al.*, 2004). Sheng *et al.* (2009) reportaron, para maíz creciendo en mezcla de suelo y arena, incrementos significativos en biomasa, longitud y volumen radical cuando recibieron inoculación con el HMA *Glomus mosseae* comparadas con plantas que no fueron inoculadas. En especies arbóreas también han sido reportadas modificaciones en la morfología del sistema radical por influencia de la inoculación micorrizica (Hooker *et al.*, 1992; Berta *et al.*, 1995).

common to record behaviors of beneficial native organisms that exotic in promoting plant growth (Pérez-Solis, 2001), as well as multi strain consortia compared with unistain inoculants (Bashan *et al.*, 2005).

These differences are due to the adaptation of native organisms to local environmental conditions (climate and soil) that do not have or are more difficult for exotic organisms (Allen, 1996; Kabir *et al.*, 1996), thus the effect synergistic effect that native organisms exert, particularly rhizospheric bacteria (Chanway *et al.*, 1989).

The variable height of plant behaved inverse to biomass production, for seedling origin factor (Figure 1). Plants from bulbils, subject to the control and inoculated treatments with GI recorded the highest gain in height, followed closely by a group of plants inoculated with CN1, CN2 and CN3, while plants from tillers, those that were inoculated with CN6 recorded the highest gain in height, followed by the control. The variable number of leaves, unlike the variable height, had higher gain on the type of plant tillers and less in floral bulbils, showing that plants originated from different types

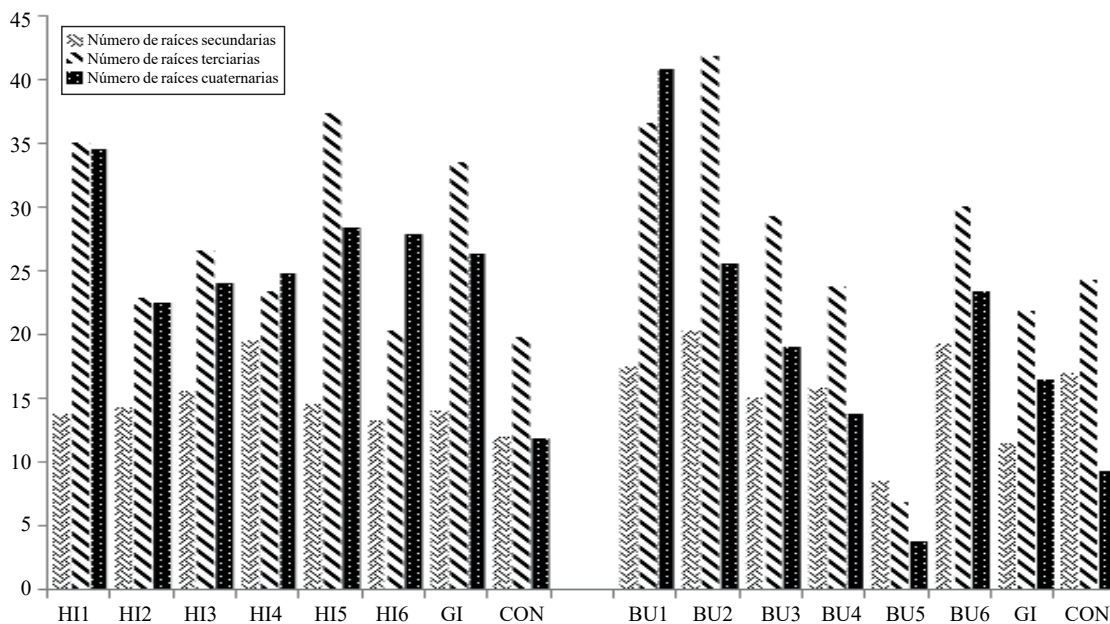


Figura 2. Número de raíces secundarias, terciarias y cuaternarias obtenidas por plantas de maguey espadín (*Agave angustifolia* Haw.) de dos orígenes de planta, hijuelos rizomatosos (HI) o bulbilos florales (BU), que fueron inoculados con seis consorcios multicépa de suelos naturales del distrito de Tlacolula, México. (CN1 a CN6), una cepa de *Glomus intraradices* (GI) o no fueron inoculadas (CON), y crecieron en invernadero durante 14 semanas después de ser trasplantadas.

Figure 2. Number of secondary, tertiary and quaternary roots obtained by maguey sprat plants (*Agave angustifolia* Haw.) from two origins of plant, rhizomatous tillers (HI) or floral bulbils (BU), which were inoculated with six multi strain consortia of natural soil from the district of Tlacolula, Mexico. (CN1 to CN6), a strain of *Glomus intraradices* (GI) or were not inoculated (CON), and grown in a greenhouse for 14 weeks after transplantation.

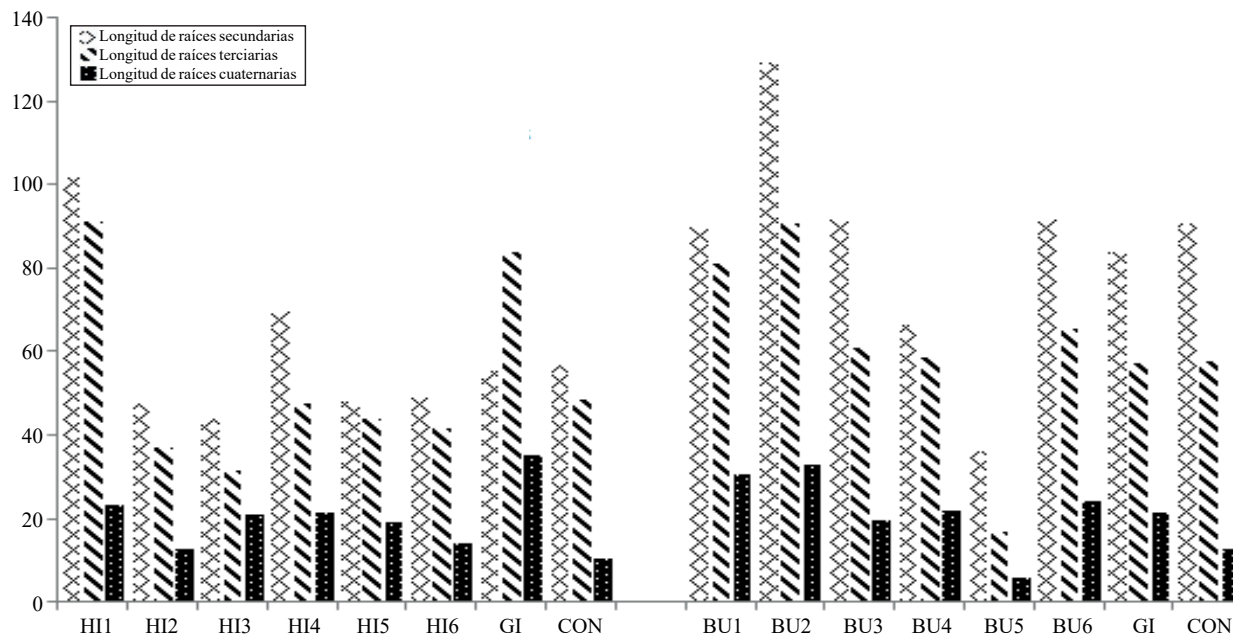


Figura 3. Longitud de raíces secundarias, terciarias y cuaternarias obtenidas por plantas de maguey espadín (*Agave angustifolia* Haw.) de dos orígenes de planta, hijuelos rizomatosos (HI) o bulbilos florales (BU), que recibieron inoculación con seis consorcios multicepa de suelos naturales del distrito de Tlacolula, Oaxaca. (CN1 a CN6), una cepa de *Glomus intraradices* (GI) o no fueron inoculadas (CON), y crecieron en invernadero durante 14 semanas después de ser trasplantadas.

Figure 3. Length of secondary, tertiary and quaternary roots obtained by maguey sprat plants (*Agave angustifolia* Haw.) of two origins of plant, rhizomatous tillers (HI) or floral bulbils (BU), which received inoculation with six multi strain consortia of natural soil from the district of Tlacolula, Oaxaca. (CN1 to CN6), a strain of *Glomus intraradices* (GI) or were not inoculated (CON), and grown in a greenhouse for 14 weeks after transplantation.

Conclusiones

Se registraron patrones de crecimiento diferenciados de las plántulas de *A. angustifolia* según su origen, las que provienen de hijuelos de raíz destinan su energía a la formación de nuevas hojas y formación de biomasa, en tanto las que provienen de bulbilos aéreos lo hacen para el incremento en altura de la planta. En ambos tipos de plántulas se observó respuesta a la aplicación de inoculantes multicepa nativos, con un cierto nivel de compatibilidad funcional diferenciado según el origen de la plántula. Por primera vez se reporta, para esta especie vegetal, efecto de la inoculación micorrízica en el incremento del número y longitud de raíces.

Agradecimientos

El trabajo fue financiado por la Secretaría de Investigación y Posgrado del Instituto Politécnico Nacional y la Fundación Produce Oaxaca.

of propagation in its juvenile stage, spend their energy in different ways, some in height and other on increasing leaf number and biomass production.

There are no reports explaining the growth behavior for the species of *A. angustifolia*, however, several authors mention this difference in sisal, *A. fourcroydes* Lem. FAO (1969) concludes that the bulbils are better as propagation material because it produces larger leaves and better fiber yield. Conversely, Lock (1969) states that plants grown from tillers give a significantly better yield in fiber than those obtained from bulbils. However, Becher *et al.* (1990) found no significant differences on agro industry yields, neither in quality parameters of fiber from plants originated of bulbilb and tiller.

For the variable number of roots (Figure 2) highlighted for tillers the CN2 treatment in secondary and tertiary roots; similar behavior is recorded in variable length of larger root (Figure 3). The growth and root distribution has not been a widely studied variable as plant response to AMF inoculation, although often recognized that the presence of

Literatura citada

- Aguín, O.; Mansilla, J. P.; Vilariño, A. and Sainz, M. J. 2004. Effects of mycorrhizal inoculation on root morphology and nursery production of three grapevine rootstocks. *Am. J. Enol. Vitic.* 51:108-111.
- Alarcón, A.; Davies, Jr., F. T.; Egilla, J. N.; Fox, T. C.; Estrada-Luna, A. and Ferrera-Cerrato, R. 2002. Short term effects of *Glomus claroideum* and *Azospirillum brasilense* on growth and root acid phosphatase activity of *Carica papaya* L. under phosphorus stress. *Rev. Latamer. Microbiol.* 44(1):31-37.
- Allen, M. F.; Clouse, S. D.; Winbaum, B. S.; Jenkins, S. L.; Friese, C. F. and Allen, E. B. 1992. Mycorrhiza and the integration of scales: from molecules to ecosystem. *In: mycorrhizal functioning: an integrative plant-fungal process.* Allen, M. F. (Ed.). Chapman and Hall. New York, USA. 488-515 pp.
- Allen, M. F. 1996. The ecology of arbuscular mycorrhizas: a look back into the 20th century and a peek into the 21st. *Mycol. Res.* 100:769-782.
- Arredondo, C.; Contreras, R. y Canseco, A. 2001. Evaluación de la respuesta del maguey mezcalero (*Agave angustifolia* Haw.) a la fertilización en plantaciones comerciales. VI Foro Estatal de Investigación Científica y Tecnológica. Oaxaca, México. 105-107 pp.
- Azcón-Aguilar, C.; Palenzuela, J.; Roldán, A.; Bautista, S.; Vallejo, R. and Barea, J. M. 2003. Analysis of the mycorrhizal potential in the rhizosphere of representative plant species from desertification-threatened Mediterranean shrublands. *Appl. Soil Ecol.* 22:29-37.
- Barea, J. M. 1991. Vesicular-arbuscular mycorrhizae as modifiers of soil fertility. *Adv. Soil Sci.* 15:1-40.
- Bautista-Cruz, A.; Carrillo-González, R.; Arnaud-Viñas, M. R.; Robles, C. and de León-González, F. 2007. Soil fertility properties on *Agave angustifolia* Haw. plantations. *Soil Till. Res.* 96:342-349.
- Bashan, Y.; Puente, M. E. y Salazar, B. 2005. Uso de los microorganismos del desierto como recurso para recuperar suelos erosionados. *In: Resúmenes de 1^{er} Simposium Nacional de Modelos Microbianos.* CICM-ICUAP. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP). Puebla, México.
- Bequer, G.; Vinent, E. y Valdés, C. 1990. El bulbillo. Una alternativa para la propagación del henequén en Cuba. Ministerio de Agricultura. La Habana, Cuba. 45 p.
- Berta, G.; Fusconi, A. and Trotta, A. 1993. VA mycorrhizal infection and the morphology and function of root systems. *Environ. Exp. Bot.* 33:159-173.
- Berta, G.; Trotta, A.; Fusconi, A.; Hooker, J. E.; Munro, M. and Atkinson, D. 1995. Arbuscular mycorrhiza induced changes to plant growth and root system morphology in *Prunus cerasifera*. *Tree Physiol.* 15(5):281-293.
- Brundrett, M. 1991. Mycorrhizas in natural ecosystems. *In: advances in ecological research.* MacFayden, A.; Begon, M. and Fitter, A. H. (Eds.) Academic Press. London. 21:171-313 pp.
- Chagoya-Méndez, V. M. 2004. Diagnóstico de la cadena productiva del sistema producto maguey-mezcal. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) Delegación Oaxaca, Oaxaca.
- Chanway, C. P.; Hynes, R. K. and Nelson, L. M. 1989. Plant growth-promoting rhizobacteria: effects on growth and nitrogen fixation of lentil (*Lens esculenta* Moench.) and pea (*Pisum sativum* L.). *Soil Biol. Biochem.* 21:511-517.
- mycorrhizae increases biomass and root volume (Berta *et al.*, 1993; Aguín *et al.*, 2004). Sheng *et al.* (2009) reported maize growing in a mixture of soil and sand, significant increases in biomass and root length and volume when received inoculation with AMF *Glomus mosseae* compared with plants which were not inoculated. Tree species have also been reported with changes in the morphology of the root system under the influence of mycorrhizal inoculation (Hooker *et al.* 1992; Berta *et al.*, 1995).

Conclusions

Differentiated growth patterns were recorded from the seedlings of *A. angustifolia* according to its origin those from root tillers spend their energy to the formation of new leaves and biomass formation, while those from aerial bulbils do to the increase in plant height. In both types of seedlings was observed response to the application of native multi strain inoculants with a certain level of functional compatibility differentiated according to the origin of the seedling. For the first time reported for this plant species, the effect of mycorrhizal inoculation in increasing the number and length of roots.

End of the English version



- Enríquez-del Valle, J. R. 2008. La propagación y crecimiento de agaves. Fundación Produce Oaxaca- Instituto del Valle de Oaxaca. Oaxaca (ITVO). México, D. F. 46 p.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 1969. Informe sobre actividades de investigación. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. 9 pp.
- Hernández, L.; Castillo, S.; Guadarrama, P.; Martínez, Y.; Romero, M. A. y Sánchez, I. 2003. Hongos micorrizógenos arbusculares del Pedregal de San Ángel. Facultad de Ciencias-Universidad Autónoma de México (UNAM). México, D. F. 82 p.
- Hooker, J. E.; Munro, M. and Atkinson, D. 1992. Vesicular- arbuscular mycorrhizal fungi induced alteration in poplar root system morphology. *Plant Soil* 145(2):207-214.
- Kabir, Z.; O'Halloran, L.P. and Hamel, C. 1996. The proliferation of fungal hyphae in soils supporting mycorrhizal and non-mycorrhizal plants. *Mycorrhiza* 6:477-480.
- Lachica, M.; Aguilar, A. y Yáñez, J. 1973. Análisis foliar. Métodos analíticos utilizados en la Estación Experimental del Zaidín. *Anal. Edafol. Agrobiol.* 32:1033-1047.
- Lock, G. W. 1969. Sisal, thirty years of research in Tanzania. Longmans. London. 365 p.
- McGonigle, T. P.; Miller, M. H.; Evans, D. G.; Fairchild, G. L. and Swan, J. A. 1990. A new method which gives an objective measure of colonization of roots by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytol.* 115:495-501.

- Phillips, J. M. and Hayman, D. S. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 55:158-161.
- Pérez-Solís, E. 2001. Prospección y aplicación de micorrizas en especies vegetales autóctonas del matorral, para favorecer la revegetación de ecosistemas mediterráneos degradados. Tesis Doctoral. Universidad de Granada. Granada, España. 156 p.
- Requena, N.; Jiménez, I. and Barea, J.M. 1996. Assessment of natural mycorrhizal potential in a desertified semi-arid ecosystem. *Appl. Environ. Microbiol.* 62:842-847.
- Rillig, M. C. and Mummey, D. L. 2006. Mycorrhizas and soil structure. *New Phytol.* 171:141-153.
- Robles, C. 1999. Modificaciones en las propiedades físicas, químicas y biológicas de suelos en respuesta a la actividad de organismos simbióticos y rizosféricos, en el contexto de una agricultura sostenible. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España. 165 p.
- Santiago-Soriano, E. 2005. Producción experimental de inoculantes a base de hongos de micorriza arbuscular (HMA). Tesis Profesional. Universidad Autónoma "Benito Juárez" de Oaxaca. 165 p.
- Smith, S. E. and Gianninazzi-Pearson, V. 1988. Physiological interactions between symbionts in vesicular-arbuscular mycorrhizal plants. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 39:221-244.
- Sheng, M.; Tang, M.; Chen, H.; Yang, B.; Zhang, F. and Huang, Y. 2009. Influence of arbuscular mycorrhizae on the root system of maize plants under salt stress. *Can. J. Microbiol.* 55(7):879-886.
- Sieverding, E. 1983. Manual de métodos para la investigación de la micorriza vesículo-arbuscular en el laboratorio. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia. 77 pp.
- Statistical Graphics Corporation (SGC). 2009. Statgraphics Centurion XVI. Manugistics, Inc. Rockville, M.D. www.statgraphics.com.
- Steel, R. G. y Torrie, J. H. 1988. Bioestadística: principios y procedimientos. McGraw-Hill. México, D. F. 453 p.