

## Micorriza arbuscular en sorgo bajo diferente manejo agrotecnológico y ambiental\*

### Arbuscular mycorrhiza in sorghum under different agro-technological and environmental management

Arturo Díaz Franco<sup>1§</sup>, Héctor Manuel Cortinas Escobar<sup>1</sup>, Manuel de la Garza Caballero<sup>2</sup>, Juan Valadez Gutiérrez<sup>3</sup> y María de los Ángeles Peña del Río<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Campo Experimental Río Bravo- INIFAP. Carretera. Matamoros-Reynosa, km 61, Río Bravo, Tamaulipas, 88700. <sup>2</sup>Sitio Experimental Las Adjuntas- INIFAP. <sup>3</sup>Campo Experimental Las Huastecas- INIFAP. <sup>4</sup>Campo Experimental General Terán- INIFAP. <sup>§</sup>Autor para correspondencia: diaz.arturo@inifap.gob.mx.

#### Resumen

La relación simbiótica entre los hongos micorrízicos arbusculares (HMAS) y las plantas inducen a mejorar la nutrición y sanidad de los vegetales. La aplicación biotecnológica de los HMAS en los sistemas de producción, dependerá de la efectividad de la cepa en el entorno agroecológico, así como su adopción con las prácticas y maquinaria existentes. Se determinó la efectividad de *Glomus intraradices* (cepa INIFAP) inoculado a la semilla de sorgo (*Sorghum bicolor*), bajo diferente manejo agronómico y de ambiente en Tamaulipas durante 2007-2009. Se establecieron 21 parcelas comerciales, 13 en seco y ocho en riego (0.25-1ha), donde se comparó la semilla con y sin el inoculante *G. intraradices*, el manejo agronómico fue el utilizado por los productores. En seco no se adicionaron fertilizantes inorgánicos, mientras que en riego se utilizaron diferentes dosis de N y P, solamente en un sitio se incorporó gallinaza (2 t ha<sup>-1</sup>). Se midió la longitud de la panoja, la biomasa fresca radical y el rendimiento de grano. Se estimó la rentabilidad de la producción (costo-beneficio) en cada sitio. En el promedio de seco y riego se observó que *G. intraradices* incrementó ( $p \leq 0.01$ ) la biomasa radical, la longitud de la panoja y el rendimiento de grano en 7.6 g, 3.3 cm y 524 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente; la rentabilidad de la producción se acrecentó 17%. Los resultados demostraron una consistente respuesta

#### Abstract

The symbiotic relationship between arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and plants induce to improve nutrition and plant health. The biotechnological application of AMF in production systems will depend on the effectiveness of the strain on the agro ecological environment, as well as its adoption with existing practices and equipment. It was determined the effectiveness of *Glomus intraradices* (strain from INIFAP) inoculated the seed of sorghum (*Sorghum bicolor*) under different agricultural and environmental management in Tamaulipas during 2007-2009. 21 commercial plots were established, 13 under rainfed and eight under irrigation (0.25-1ha), where the seed was compared with and without the inoculant *G. intraradices*, the agronomical management was used by the producers. Under rainfed weren't added inorganic fertilizers, while under irrigation was used in different doses of N and P, only in one site manure was incorporated (2 t ha<sup>-1</sup>). Measurements made were, length of panicle, radical fresh biomass and grain yield. The cost of production was estimated (cost-benefit) at each site. On average under rainfed and irrigation was found that *G. intraradices* increased ( $p \leq 0.01$ ) root biomass, panicle length and grain yield of 7.6 g, 3.3 cm and 524 kg ha<sup>-1</sup>, respectively and the profitability of production grew 17%. The results proved a consistent promoting response that

\* Recibido: julio de 2012  
Aceptado: febrero de 2013

promotora que tuvo el inoculante micorrízico en sorgo, comparada con semilla no inoculada, a pesar de la variabilidad de genotipos, suelos, prácticas agronómicas y ambientes.

**Palabras clave:** *Sorghum bicolor*, *Glomus intraradices*, productividad.

## Introducción

La asociación mutualista que se establece entre las plantas y grupos específicos de hongos habitantes del suelo y en la rizósfera, es referida como simbiosis micorrízica. Dentro de estos grupos, uno que tiene particular importancia son los hongos micorrízicos arbusculares (HMAS), con distribución cosmopolita y cuya simbiosis sucede en más del 80% del total de plantas terrestres conocidas (Smith y Read, 2008). Esta simbiosis ha demostrado ser fundamental en los agroecosistemas debido a que éstos interactúan con el suelo, planta, patógenos y otros microorganismos del suelo, y así mejoran la nutrición y la sanidad de la planta (Jeffries *et al.*, 2003; Smith y Read, 2008).

Esa respuesta es atribuida a diferentes mecanismos originados de la simbiosis, como el que las hifas sean capaces de explorar mayor volumen de suelo y alcanzar sitios donde la raíz no puede penetrar; disminuir los efectos abióticos adversos para la planta; estimular el crecimiento vegetal por la producción de fitohormonas; facilitar la asimilación de nutrimentos, como P y elementos menores; producir glomalina que adhiere partículas del suelo; e inducir biocontrol contra algunos patógenos del suelo (González *et al.*, 2004; Aseri *et al.*, 2008; Cornejo *et al.*, 2008).

Sin embargo, múltiples factores edafoclimáticos pueden afectar la funcionalidad de los HMAS, lo que origina la selección de organismos aptos para tolerar condiciones ambientales adversas, los cuales también pueden ser sujetos de manipulación para la producción de inoculante utilizado como 'biofertilizante' (Jeffries *et al.*, 2003; Ferrera-Cerrato y Alarcón, 2008). González (2002) indicó que aunque la aplicación biotecnológica de los HMAS tiene factibilidad en los sistemas de producción, su uso extensivo no ha sido posible debido a la indisponibilidad del producto comercial.

En México, el estado de Tamaulipas representa el mayor productor de sorgo para grano [*Sorghum bicolor* (L.) Moench], con una producción aproximada de 2.4 millones

the mycorrhizal inoculant had on sorghum, compared with non-inoculated seed, despite the variability of genotypes, soils, agronomical and environmental practices.

**Keywords:** *Sorghum bicolor*, *Glomus intraradices*, productivity.

## Introduction

The mutualistic association established between plants and specific groups of fungi living in the soil and in the rhizosphere, is referred to as mycorrhizal symbiosis. Within these groups, one that has particular relevance is the arbuscular mycorrhizal fungi (AMF), with a cosmopolitan distribution and whose symbiosis occurs in over 80% of all known terrestrial plants (Smith and Read, 2008). This symbiosis has proven critical in agro ecosystems because interacts with soil, plant pathogens and other microorganisms in the soil, and thus improve the nutrition and health of the plant (Jeffries *et al.*, 2003, Smith and Read, 2008).

This response is attributed to different mechanisms originated from symbiosis, as well as hyphae are capable of exploring greater volume of soil and reach places where the root cannot penetrate; to reduce the adverse abiotic effects to the plant, to stimulate plant growth by phytohormone production, facilitate the assimilation of nutrients such as P and trace elements; produce glomalina that adheres to soil particles, and to induce bio control against some soil pathogens (González *et al.*, 2004; Aseri *et al.*, 2008; Cornejo *et al.*, 2008).

However, many edaphoclimatic factors can affect the AMF functionality, resulting in the selection of suitable organisms to withstand adverse environmental conditions, which may also be subject to manipulation for the production of inoculants used as 'biofertilizers' (Jeffries *et al.*, 2003; Ferrera-Cerrato and Alarcón, 2008). González (2002) indicated that although the biotechnological application of AMF has feasibility in the production systems, its extensive use has not been possible due to the unavailability of the commercial product.

In Mexico, the state of Tamaulipas is the largest producer of sorghum grain [*Sorghum bicolor* (L.) Moench], producing approximately 2.4 million tons and an average yield of 2.2 t

de toneladas y un rendimiento medio de 2.2 t ha<sup>-1</sup>, donde 70 % de ésta se obtiene bajo condiciones de secano o temporal (Gobierno de Tamaulipas, 2010). Con la conducción del cultivo mecanizado, las siembras se establecen desde las regiones áridas y semiáridas del norte y centro del estado, hasta la región sur con clima predominantemente tropical.

No obstante, la mayor superficie de siembra se ubica en la región norte, con cerca de 650 mil hectáreas, donde el sorgo constituye un monocultivo. Debido a la baja productividad que registra este cereal (2.2 t ha<sup>-1</sup>), la fertilización inorgánica es una práctica poco común por el productor de secano, dada la errática humedad en el suelo, así como el alto costo que le representa su aplicación (Williams *et al.* 2006; Díaz *et al.*, 2007). Salinas (2002) destacó que la producción del sorgo en la entidad se encuentra en los niveles críticos de rentabilidad.

Ante este escenario, Díaz *et al.* (2007) y Williams *et al.* (2006) enfatizaron la necesidad de desarrollar prácticas agronómicas que eleven la rentabilidad de la producción de sorgo y promuevan un equilibrio en los agroecosistemas. Tal es el caso de la inoculación del hongo micorrízico arbuscular (HMA) *Glomus intraradices* Schenk *et* Smith, cepa regional, que en otros estudios con sorgo se han documentado incrementos en biomasa foliar y radical, colonización micorrízica, pigmentos fotosintéticos, y rendimiento de grano en diferentes condiciones de humedad y texturas del suelo, fertilización química y genotipos (Díaz *et al.*, 2007; Díaz y Garza, 2007; Magallanes *et al.*, 2008).

Este inoculante, a base de suelo y raíces, se ha utilizado aplicado a la semilla. Sylvia (1998) señaló, por un lado, que la efectividad de una cepa de HMA debe ser probada bajo las condiciones de producción del cultivo ya que otros HMA nativos, patógenos, niveles de fertilización y otros factores edáficos pueden ser determinantes en la efectividad; por otro lado, para que un inoculante pueda ser incorporado dentro de los sistemas agrícolas, éste deberá de implementarse y operar con la maquinaria y las prácticas existentes (o con ligeras modificaciones de las mismas). González (2002) puntualizó que son diferentes los métodos de aplicar los inoculantes, inclusive a través de sistemas de siembra automatizados o de inyección, sin embargo no se tienen experiencias al respecto.

Por lo anterior, el presente estudio tuvo como objetivo determinar la efectividad de la práctica de inoculación a la semilla de sorgo con la cepa regional del HMA *G.*

ha<sup>-1</sup>, where 70% of this is obtained under rainfed conditions (Government of Tamaulipas, 2010). Under the leadership of mechanized farming, crops are established from the arid and semi-arid regions north and center of the state, to the south regions with predominantly tropical climate.

However, the largest sowing area is located in the northern region, with close to 650 000 hectares, where sorghum is a monoculture. Due to the low productivity that records this grain (2.2 t ha<sup>-1</sup>), inorganic fertilization is an uncommon practice for a rainfed producer, given the erratic soil moisture and the high cost that represents its application (Williams *et al.* 2006; Díaz *et al.*, 2007). Salinas (2002) noted that the sorghum production in the state is at critical levels of profitability.

Given this scenario, Díaz *et al.* (2007) and Williams *et al.* (2006) emphasized the need to develop agronomic practices that increases the profitability of sorghum production and promotes a balance in the agro ecosystems. Such is the case of inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) *Glomus intraradices* Schenk *et* Smith, regional strain, which in other studies with sorghum have documented increases in leaf and root biomass, mycorrhizal colonization, photosynthetic pigments, and grain yield under different moisture and soil textures conditions, chemical fertilization and genotypes (Díaz *et al.*, 2007; Díaz and Garza, 2007; Magallanes *et al.*, 2008).

This inoculant based on soil and roots, has been used applied to the seed. Sylvia (1998) pointed out, first, that the effectiveness of a strain of AMF must be tested under the conditions of crop production since other native AMF, pathogens, fertilization levels and other soil factors may be decisive in effectiveness; on the other hand, for an inoculant to be incorporated into farming systems, this should be implemented and operated with the existing practices and machinery (or with slight modifications thereof). González (2002) pointed out that there are different methods to apply inoculants, even through automated or injection seeding systems, however there are no experiences regarding it.

Therefore, the present study aimed to determine the effectiveness of the inoculation practice to sorghum seed with a regional strain of AMF *G. intraradices* (Mycorrhiza INIFAP™), technology under different agricultural management and agro-ecological environments in the state of Tamaulipas.

*intraradices* (Micorriza INIFAP<sup>MR</sup>), tecnología sometida a diferente manejo agronómico y ambientes agroecológicos en el estado de Tamaulipas.

## Materiales y métodos

### Localidades y condiciones del estudio

El estudio se desarrolló en diferentes ambientes de provincias agronómicas del estado de Tamaulipas comprendidas en ocho municipios durante 2007 a 2009. Los municipios comprendidos en la región norte del estado fueron: Reynosa, Río Bravo, Matamoros y Valle Hermoso; en el centro, Abasolo; y en la región sur: Mante y Altamira. En estas regiones la rotación consiste de sorgo-descanso, esto es, un cultivo anual seguido por periodo de barbecho, para retener la humedad en el suelo. En total se establecieron 21 parcelas y el criterio para la selección de los sitios fue que presentaran uniformidad de relieve y suelo, manifestado en el cultivo anterior. En los ciclos agrícolas otoño-invierno o primavera-verano, se condujeron 13 parcelas con productores en condiciones de secano, de las cuales la fecha de siembra, el híbrido de sorgo para grano utilizado, la sembradora (mecánicas y de precisión son comunes) y otras prácticas agronómicas, fueron las que realiza el productor.

En ningún caso se adicionaron fertilizantes inorgánicos (Cuadro 1). En otoño-invierno de 2008 y 2009, se sumaron ocho parcelas en condiciones de riego (dos riegos de auxilio), dos en el centro del estado (Abasolo, Tam.) y seis en la región norte; a diferencia de la condición de secano, los productores aplicaron fertilización química a base de nitrógeno y fósforo, con dosis de 80 a 100 kg ha<sup>-1</sup> de N y de 0 a 40 kg ha<sup>-1</sup> de P, excepto en Valle Hermoso, Tam., donde el productor adicionó solamente gallinaza (o pollinaza). La mitad del N y todo el P se aplicaron en presiembra y la otra mitad del N en el riego de floración. En la mayoría de los casos la siembra se hizo con sembradora de precisión (Cuadro 2).

### Manejo de la inoculación

En las parcelas de las diferentes localidades involucradas en el estudio y con la colaboración de los productores, el trabajo consistió en sembrar una superficie de 0.25 a 1 ha con semilla de sorgo inoculada con *Glomus intraradices* (Micorriza INIFAP<sup>MR</sup>), comparada con la semilla sin inocular (testigo). Ambos tratamientos fueron conducidos con el mismo híbrido y de acuerdo al manejo utilizado por el productor,

## Material and methods

### Locations and conditions of the study

The study was conducted in eight municipalities under different environments of agricultural provinces from the state of Tamaulipas during 2007-2009. The municipalities included in the upstate region were: Reynosa, Río Bravo, Matamoros and Valle Hermoso, in the center, Abasolo, and in the southern region: Mante and Altamira. In these regions the rotation consists of sorghum-break, that is, an annual crop followed by a fallow period, to retain moisture in the soil. A total of 21 plots were established and the criteria for selection of the sites were to present relief and soil uniformity, expressed in previous crop. In the agricultural cycles of autumn-winter and spring-summer, 13 plots were conducted with farmers under rainfed conditions, of which the planting date, the grain sorghum hybrid used, the planter (mechanical and precision are common) and other agronomical practices were carried out by the producer.

In any case were added inorganic fertilizers (Table 1). In autumn-winter of 2008 and 2009, were added eight plots under irrigation (two irrigations), two in the center of the state (Abasolo, Tamaulipas) and six in the northern; unlike rainfed condition, farmers applied chemical fertilizers based on nitrogen and phosphorus, with doses of 80 to 100 kg N ha<sup>-1</sup> and 0 to 40 kg ha<sup>-1</sup> of P, except in Valle Hermoso, Tamaulipas, where the producer only added gallinaza (or manure). Half of N and all the P were applied before planting and the other half of N in the irrigation at flowering. In most cases the planting was done with precision seeder (Table 2).

### Handling inoculation

In the plots from the different localities involved in the study and with the collaboration of producers, the work consisted of planting an area of 0.25 to 1 ha with sorghum seed inoculated with *Glomus intraradices* (Mycorrhiza INIFAP<sup>TM</sup>), compared with uninoculated seed (control). Both treatments were conducted with the same hybrid and according to the management used by the producer, with the objective to compare the effect of the technology. The amount of sorghum seed used ranged from 6-8 kg ha<sup>-1</sup> under rainfed and 7-9 kg ha<sup>-1</sup> under irrigation. Some farmers used seed treated (marketed) with insecticides Poncho<sup>®</sup> (clothianidin, 150 g ia to 50 kg<sup>-1</sup>) and Cruiser<sup>®</sup>

con la finalidad de contrastar el efecto de la tecnología. La cantidad de semilla de sorgo utilizada fluctuó de 6 a 8 kg ha<sup>-1</sup> en seco y de 7 a 9 kg ha<sup>-1</sup> en condiciones de riego. Algunos productores utilizaron semilla tratada (comercializada) con los insecticidas Poncho® (clothianidin, 150 g i.a. 50 kg<sup>-1</sup>) y Cruiser® (thiamethoxam, 90 g i.a. 50 kg<sup>-1</sup>), los cuales protegen contra el pulgón *Rhopalosiphum maidis* (Fitch) en el estado de plántula (Cuadros 1 y 2) (Nauen *et al.*, 2003; Vivas *et al.*, 2009).

(thiamethoxam, 90 g i.a. to 50 kg<sup>-1</sup>), which protect against the *Rhopalosiphum maidis* aphid (Fitch) in the seedling stage (Tables 1 and 2) (Nauen *et al.*, 2003; Vivas *et al.*, 2009).

The inoculation of the seed for a hectare consisted to moisten it when mixed with a suspension of 0.5-0.6 L of water and 60 mL of carboxy methyl cellulose as an adherent, after that, was added and mixed with 0.5 kg of mycorrhizal inoculum, with

**Cuadro 1. Características de las parcelas de sorgo en condiciones de secano en el estado de Tamaulipas, donde se incluyó el tratamiento con inoculación del HMA *G. intraradices* durante 2007-2009.**

**Table 1. Characteristics of the plots of sorghum under rainfed conditions in the state of Tamaulipas, where was included the treatment with AMF inoculation of *G. intraradices* during 2007-2009**

Localidad	Municipio	Fecha de siembra	Híbrido	Sembradora (M/P) <sup>§</sup>
		2007		
Est. Cuauhtémoc	Altamira	21-jul.	D-47	M
Ej. La Esperanza	Abasolo	18-ago.	D-47	M
Rancho Sosa	Abasolo	25-ago.	D-47	M
Ej. El Porvenir	Mante	7-sep.	D-47	M
		2008		
Ej. Francisco Villa	San Fernando	21-ene.	P-83G15	M
El Vaso (1)	Matamoros	14-ene.	DKS-40 <sup>c</sup>	M
Ej. Cárdenas	Matamoros	19-ene.	DKS-39 <sup>c</sup>	M
Ej. Ángel Flores	Reynosa	5-feb.	D-47	M
Brecha 119-E	Río Bravo	7-feb.	D-47	M
El Vaso (2)	Matamoros	15-feb.	D-47 <sup>c</sup>	M
		2009		
El Vaso	Matamoros	19-ene.	DKS-40 <sup>c</sup>	M
Ej. Cárdenas	Matamoros	19-ene.	D-47 <sup>c</sup>	M
Brecha 119-E	Río Bravo	6-feb.	D-47	M

<sup>§</sup>M, tipo mecánica o P, de precisión; <sup>c</sup>Semilla tratada con clothianidin.

**Cuadro 2. Características de las parcelas de sorgo en condiciones de riego en el estado de Tamaulipas, donde se incluyó el tratamiento con inoculación del HMA *G. intraradices* durante 2008-2009.**

**Table 2. Characteristics of the sorghum plots under irrigation in the state of Tamaulipas, where was included the treatment with AMF inoculation *G. intraradices* during 2008-2009.**

Localidad	Municipio	Fecha de siembra	Híbrido	Fertilización	Tipo de sembradora (M/P) <sup>§</sup>
		2008			
Las Adjuntas (1)	Abasolo	9-feb.	Ámbar	100-40-00	M
Las Adjuntas (2)	Abasolo	9-feb.	Encino	100-40-00	M
Brechas 119-E	Río Bravo	13-feb.	D-47	100-30-00	P
Rancho San Miguel	Río Bravo	19-feb.	P-82G63 <sup>T</sup>	100-00-00	P
Rancho El Jardín	Río Bravo	21-feb.	P-82G63 <sup>T</sup>	80-30-00	P
		2009			
Rancho García	Valle Hermoso	3-feb.	D-47 <sup>c</sup>	Gallinaza (2 t ha <sup>-1</sup> )	P
Brecha 109-N	Río Bravo	5-feb.	D-47 <sup>c</sup>	100-40-00	P
Brecha 119-E	Río Bravo	10-feb.	D-47 <sup>c</sup>	100-30-00	P

<sup>§</sup>M, tipo mecánica o P, de precisión. <sup>T</sup><sup>c</sup>Semilla tratada con thiamethoxam ó clothianidin, respectivamente.

La inoculación de la semilla para una hectárea consistió en humedecerla al mezclarla con una suspensión de 0.5-0.6 L de agua y 60 mL de carboxi metil celulosa como adherente, posterior a esto, se adicionó y se mezcló con 0.5 kg del inoculante micorrízico, con una cantidad de inoculo mínimo de 220 esporas  $g^{-1}$ . Para mezclar la semilla se utilizó bolsas de plástico o tanque dicéntrico para tratamiento de semilla. La semilla inoculada se sembró inmediatamente, y en los casos donde la siembra se hizo días después, se extendió en lona para secarla en sombra (Díaz *et al.*, 2008).

El hongo HMA *G. intraradices* es propagado en el Campo Experimental General Terán, INIFAP, General Terán, N. L., cuyo hospedero es el pasto Sudán (*Urochloa brizantha* C. Hoch. Ex A. Rich.), el inoculante a base de raíces y suelo es triturado y molido (comercializado por diferentes instituciones, así como organizaciones de productores).

### **Variables medidas y análisis de la información**

Para conocer las características de algunos de los suelos antes de las siembras, se tomaron muestras dentro de los primeros 30 cm de profundidad en nueve parcelas de secano y cuatro de riego, las cuales se procesaron para medir las propiedades físicas y químicas. En el Cuadro 3 se destacan las variaciones de las características de suelo medidas entre los sitios estudiados. El pH se determinó en solución acuosa (1:2); la conductividad eléctrica (C. E.) con el porcentaje de saturación; la materia orgánica (M.O.) se midió con dicromato de potasio; el N inorgánico ( $NO_3-N$ ) se determinó mediante la reducción de cadmio; el P disponible se midió con el método de Olsen; y el K intercambiable por capacidad de intercambio catiónico (SEMARNAT, 2002).

Para medir el efecto de la inoculación micorrízica arbuscular en la semilla de sorgo, en cada parcela se tomaron 30 plantas en madurez fisiológica en forma aleatoria. La extracción de las plantas fue con todo y raíz, utilizando una pala. De estas plantas se midió la longitud de la panoja; las raíces se cortaron desde la base del tallo, se lavaron para eliminar los residuos de suelo y se secaron antes de pesar la biomasa fresca radical. El rendimiento de grano total ( $kg\ ha^{-1}$ ) se estimó al cosechar las panojas de seis subparcelas de dos surcos de 5 m de longitud. Las panojas se secaron bajo sol y se trillaron; el rendimiento de grano se ajustó a 14% de humedad.

a minimum amount of inoculum of 220 spores  $g^{-1}$ . To mix the seed were used plastic bags or a tank for seed treatment. The inoculated seed was sown immediately, and in cases where the sowing was made days later, it was spread out on canvas to dry in shade (Díaz *et al.*, 2008).

The AMF *G. intraradices* is propagated in the Experimental Field General Terán, INIFAP, General Terán, N. L., whose host is Sudan grass (*Urochloa brizantha* C. Hoch. Ex A. Rich.), the inoculum based on roots and soil is crushed and grinded (marketed by different institutions, as well as producer organizations).

### **Measured variables and data analysis**

To know the characteristics of some of the soils before sowing, samples were taken within the first 30 cm depth in nine rainfed and four irrigation plots, which were processed to measure the physical and chemical properties. Table 3 highlights the variations in soil characteristics measured between the sites studied. The pH was determined in aqueous solution (1:2), the electrical conductivity (EC) with the percent of saturation, and organic matter (OM) was measured with potassium dichromate; inorganic N ( $NO_3-N$ ) was determined by cadmium reduction, available P was measured by the Olsen method and exchangeable K by cation exchange capacity (SEMARNAT, 2002).

To measure the effect of arbuscular mycorrhizal inoculation in sorghum seed, in each plot were taken 30 plants at physiological maturity randomly. Plant extraction was complete with root, using a shovel. From these plants was measured panicle length, the roots were cut from the stem, washed to remove soil residues and dried before weighing radical fresh biomass. Total grain yield ( $kg\ ha^{-1}$ ) was estimated by harvesting the panicles of six subplots of two rows of 5 m long. The panicles were dried under sun and threshed; the grain yield was adjusted to 14% moisture.

With the collected data were made statistical comparisons, with the treatments with and without mycorrhizal inoculation through the t-student test and calculation of standard deviations. In 13 of the 21 plots, the sowings coincided with the hybrid 'D-47' (Tables 1 and 2), so it was performed an analysis of variance with the data of the hybrid when considering each location as repetition.

**Cuadro 3. Características químicas y físicas de los suelos en presiembra de algunas de las localidades utilizadas en el estudio.**  
**Table 3. Chemical and physical characteristics of soils in pre sowing of some locations used in the study**

Localidad	pH	C. E. (mS cm <sup>-1</sup> )	M.O. (%)	N (mg kg <sup>-1</sup> )	P (m kg <sup>-1</sup> )	K (m kg <sup>-1</sup> )	Textura
Secano							
2007							
Est. Cuauhtémoc	7.9	0.5	3.5	23.0	18.0	350	Franco-arcilloso
Rancho Sosa	8.0	0.9	3.1	40.0	17.5	570	Franco-arcilloso
Ej. El Porvenir	7.9	0.8	2.7	18.1	10.9	371	Arcilloso
2008							
Ej. Fco. Villa	8.0	0.7	2.0	17.8	13.9	407	Franco-arcilloso
Ej. Ángel Flores	6.8	1.6	1.9	10.0	1.6	420	Franco-arenoso
Brecha 119-E	8.1	0.7	1.9	29.0	19.0	480	Arcilla-franco
El Vaso (2)	8.0	0.5	1.8	12.1	13.5	340	Franco-arcilloso
2009							
El Vaso	8.0	0.8	1.6	17.0	12.4	468	Franco-arcilloso
Brecha 119-E	8.1	0.9	1.7	22.0	17.0	425	Arcilloso
Riego							
2008							
Brecha 119-E	8.1	0.7	1.2	6.8	11.0	480	Franco-arcilloso
Las Adjuntas (1)	7.8	0.8	1.6	27.5	12.5	550	Franco-arcillo-arenoso
2009							
Brecha 109-N	8.0	0.7	2.1	28.7	15.3	372	Franco-arcillo-arenoso
Rancho García	8.1	1.0	1.8	35.0	15.5	350	Arcilla-franco

Con la información obtenida se hicieron comparaciones estadísticas, con los tratamientos con y sin inoculación micorrízica, a través de la prueba de t-student y el cálculo de las desviaciones estándar. En 13 de las 21 parcelas, las siembras coincidieron con el híbrido 'D-47' (Cuadros 1 y 2), por lo que se realizó un análisis de varianza con los datos de dicho híbrido al considerar cada localidad como repetición.

También se hicieron comparaciones estadísticas (t-student) de las variables al separar las parcelas según la condición de humedad, ocho de riego y 13 de secano. El rendimiento promedio de sorgo obtenido en secano se sometió a análisis económico comparativo mediante la relación costo-beneficio [precio del sorgo \$2700.00 t<sup>-1</sup>; costo de producción \$3000.00 ha<sup>-1</sup> (para Tamaulipas); costo de la inoculación micorrízica \$70.00 ha<sup>-1</sup>]; de igual forma, para la condición de riego, cuyo costo de producción es de \$5000.00 (para Tamaulipas) (SAGARPA, 2008), los valores se ajustaron al considerar los conceptos reales de costo-beneficio promedio estimados en función a las dosis o tipo de fertilización aplicadas (urea \$6.50 kg, fosfato monoamónico \$5.50 kg y gallinaza \$500 t<sup>-1</sup>). En los casos donde la semilla llevó el tratamiento con insecticida se adicionó el costo (\$80 ha<sup>-1</sup>).

Statistical comparisons were made (t-student) of variables by separating the plots according the moisture condition, eight irrigation and 13 rainfed. The average yield obtained of sorghum under rainfed was subjected to comparative economic analysis using the relationship cost-benefit [sorghum price \$ 2 700.00 t<sup>-1</sup>; production cost \$ 3 000.00 ha<sup>-1</sup> (for Tamaulipas), cost of mycorrhizal inoculation \$ 70.00 ha<sup>-1</sup>]; likewise for the irrigated condition, whose production cost is \$ 5 000.00 (for Tamaulipas) (SAGARPA, 2008), the values were adjusted to consider the real concepts of cost-benefit average, estimated according to the dose or type of fertilizer applied (urea \$ 6.50 kg, monoammonium phosphate \$ 5.50 kg and manure \$ 500 t<sup>-1</sup>). In cases where the seed had the insecticide treatment was added the cost (\$ 80 ha<sup>-1</sup>).

## Results and discussion

### Response of sorghum in the localities

Planting of sorghum seed inoculated with AMF was successful with precision and mechanical seeder. Is important to mention that the latter are used plastic disks,

## Resultados y discusión

### Respuesta del sorgo en las localidades

La siembra de semilla de sorgo inoculada con el HMA se realizó satisfactoriamente con las sembradoras de precisión y mecánicas. Es importante destacar que en éstas últimas se emplean platos de plástico, material que con el tiempo y la fricción ejercida por el inoculante, a base de suelo y raíces, sufre desgaste prematuro. Sin embargo, el Sr. Daniel Pérez (agricultor de Valle Hermoso, Tamaulipas) ha solucionado el problema de fricción al adicionar una taza (60 g) de talco agrícola (silicato de magnesio) en cada bote de la sembradora el cual actúa como lubricante (Díaz *et al.*, 2008).

Resultó evidente el impacto promotor de la inoculación del HMA *G. intraradices* en la biomasa radical, la longitud de la panoja y el rendimiento de grano de sorgo, comparado con testigo y bajo el mismo manejo agronómico. En la biomasa radical, con excepción de la localidad Brecha 119-E (2009), en todos los casos se registraron incrementos significativos con el HMA, los cuales fluctuaron entre 3.1 y 12.5 g sobre el testigo. Para la longitud de panoja del sorgo, en todas las localidades también se observó mayor tamaño con el HMA, la longitud se incrementó entre 2.5 y 5.4 cm. De manera similar, solamente en tres localidades [Ej. Cárdenas (2008), El Vaso (2) y Ej. Cárdenas (2009), en seco] el rendimiento de grano fue estadísticamente semejante entre el HMA y el testigo, en el resto de las localidades el HMA aumentó ( $p \leq 0.05$  ó  $0.01$ ) de la producción de grano fluctuó en un rango de 289 a 749 kg ha<sup>-1</sup>.

No obstante que en las localidades donde los valores de biomasa radical y rendimiento de grano entre el HMA y el testigo no fueron significativos, se observaron aumentos numéricos a favor del HMA; lo que demostró que 94.7% de los casos el HMA impactó significativamente en el incremento de la biomasa radical, 100% de los casos en la longitud de la panoja y 85.7% en el rendimiento de grano (Cuadro 4).

Los resultados en cada una de las parcelas demostraron la consistente respuesta promotora que tuvo *G. intraradices* en las variables evaluadas en sorgo, a pesar de la variabilidad de genotipos, suelos, prácticas agronómicas y ambientes. Lo anterior valida los estudios anteriores donde se demostró que *G. intraradices* fue capaz de estimular el crecimiento y la productividad del sorgo con diferentes híbridos, texturas de suelo, condición hídrica y fertilización química (Díaz *et al.*, 2007; Díaz y Garza, 2007; Magallanes *et al.*, 2008).

material that with time and friction exerted by the inoculant based soil and roots, suffer premature wear. However, Mr. Daniel Pérez (farmer from Valle Hermoso, Tamaulipas) has solved the problem of friction by adding a cup (60 g) of agricultural talc (magnesium silicate) in each planter pot which acts as a lubricant (Díaz *et al.*, 2008).

It was evident the promoting impact of AMF inoculation with *G. intraradices* in root biomass, panicle length and grain yield of sorghum, compared with control and under the same agronomic management. In root biomass, except the location of the Brecha 119-E (2009), in all cases there were significant increases with AMF, which ranged between 3.1 and 12.5 g over the control. For panicle length, at all locations was also observed a larger size with AMF, the length was increased from 2.5 to 5.4 cm. Similarly, only in three localities [Ejido Cárdenas (2008), El Vaso (2) and Ejido Cárdenas (2009), under rainfed] grain yield was statistically similar between AMF and control, in the rest of the localities AMF increased ( $p \leq 0.05$  or  $0.01$ ) grain production which fluctuated in a range of 289 to 749 kg ha<sup>-1</sup>.

Although in the localities where the values of root biomass and grain yield between AMF and control were not significant, numerical increases were observed in favor of AMF, which showed that 94.7% of cases, AMF significantly impacted the increase of root biomass, 100% of the cases in panicle length and 85.7% in grain yield (Table 4).

The results in each of the plots showed, that the promoting response that *G. intraradices* had on the variables evaluated in sorghum was consistent, despite the variability of genotypes, soils, agronomic practices and environments. This validates previous studies which showed that *G. intraradices* was able to stimulate the growth and productivity of sorghum with different hybrids, soil textures, moisture condition and chemical fertilization (Díaz *et al.*, 2007; Díaz and Garza, 2007; Magallanes *et al.*, 2008).

Has particular relevance the locality of Rancho García, where added 2 t ha<sup>-1</sup> of manure, it was observed a positive sign with AMF, considering that the practice incorporates organic matter. On the other hand, in eight localities the sorghum seed used was treated with thiamethoxam or clothianidin insecticide and in all were observed significant increases in root biomass, panicle length and grain yield with AMF, except for the localities of Ejido Cárdenas (2008 and 2009)



**Cuadro 4. Respuesta del sorgo a la inoculación de semilla con micorriza arbuscular *G. intraradices* en parcelas establecidas en el estado de Tamaulipas en condiciones de secano y de riego, 2007-2009.**

**Table 4. Response of sorghum to seed inoculation with arbuscular mycorrhizal *G. intraradices* in plots, established in the state of Tamaulipas under rainfed and irrigation, 2007-2009.**

Localidad	Biomasa radical (g)		Longitud de panoja (cm)		Rendimiento de grano (kg ha <sup>-1</sup> )	
	Micorriza	Testigo	Micorriza	Testigo	Micorriza	Testigo
Secano						
2007						
Est. Cuauhtémoc	--	--	24.1 ± 1.10*	21.6 ± 0.91	3745 ± 330**	3300 ± 293
Ej. La Esperanza	29.6 ± 3.42*	22.2 ± 3.00	--	--	2429 ± 280*	2140 ± 276
Rancho Sosa	37.6 ± 2.03*	34.6 ± 1.96	--	--	3657 ± 306*	3224 ± 189
Ej. El Porvenir	--	--	20.7 ± 0.70**	17.3 ± 1.30	1206 ± 105*	829 ± 71
2008						
Ej. Francisco Villa	13.1 ± 0.63*	9.3 ± 0.86	30.2 ± 2.50**	26.5 ± 1.81	2798 ± 190**	2291 ± 163
El Vaso (1)	22.8 ± 4.06**	13.5 ± 2.31	26.5 ± 1.02**	22.3 ± 0.91	3198 ± 192*	2797 ± 181
Ej. Cárdenas	24.5 ± 3.63**	16.4 ± 2.49	28.5 ± 0.93**	24.8 ± 1.10	3459 ± 403 <sup>NS</sup>	3043 ± 346
Ej. Ángel Flores	14.9 ± 2.07**	11.6 ± 1.10	22.7 ± 0.30*	21.0 ± 0.42	1995 ± 173*	1528 ± 80
Brecha 119-E	30.4 ± 5.18**	18.0 ± 2.29	27.5 ± 1.57**	23.1 ± 0.75	1925 ± 185*	1564 ± 190
El Vaso (2)	25.7 ± 2.78**	15.7 ± 2.31	29.5 ± 0.32**	24.1 ± 0.91	3329 ± 301 <sup>NS</sup>	2805 ± 318
2009						
El Vaso	16.6 ± 0.91**	18.7 ± 0.39	24.6 ± 1.06**	22.5 ± 0.98	2805 ± 139*	2084 ± 297
Ej. Cárdenas	22.9 ± 3.33**	11.5 ± 2.02	26.0 ± 0.88**	22.0 ± 0.93	2189 ± 114 <sup>NS</sup>	1759 ± 180
Brecha 119-E	14.6 ± 3.35 <sup>NS</sup>	12.2 ± 3.25	25.8 ± 0.43**	23.3 ± 0.49	2686 ± 277**	1979 ± 177
Riego						
2008						
Las Adjuntas (1)	21.5 ± 4.58**	8.4 ± 3.72	25.0 ± 0.79**	22.5 ± 0.90	5726 ± 361**	4977 ± 289
Las Adjuntas (2)	14.7 ± 2.89**	10.0 ± 1.79	27.6 ± 1.03*	25.0 ± 1.01	2539 ± 205**	1912 ± 195
Brecha 119-E	29.9 ± 1.84**	24.1 ± 1.91	31.3 ± 1.00**	28.1 ± 1.32	5327 ± 315*	4833 ± 189
Rancho San Miguel	23.2 ± 2.65**	18.6 ± 2.09	32.8 ± 1.01**	29.2 ± 0.27	4851 ± 183**	4125 ± 163
Rancho El Jardín	22.5 ± 3.87**	13.8 ± 2.65	33.2 ± 1.63**	28.4 ± 1.15	5122 ± 242**	4418 ± 382
2009						
Rancho García	22.4 ± 6.57**	9.9 ± 3.08	29.2 ± 0.84**	26.0 ± 0.33	5216 ± 218**	4841 ± 242
Brecha 109-N	19.3 ± 4.51**	10.3 ± 2.82	27.9 ± 0.57**	24.5 ± 1.03	5013 ± 269**	4641 ± 283
Brecha 119-E	31.9 ± 6.32**	17.8 ± 2.45	26.8 ± 0.41**	23.7 ± 0.44	4068 ± 122*	3652 ± 258

NS, \*\* No significativo o significativo a nivel de  $p \leq 0.05$  y  $0.01$ , respectivamente. ± Desviación estándar.

Tiene particular relevancia la localidad Rancho García, en donde no obstante que se adicionaron 2 t ha<sup>-1</sup> de gallinaza, se observó una manifestación positiva con el HMA, considerando que la práctica incorpora no solo materia orgánica. Por otro lado, en ocho localidades la semilla de sorgo utilizada estuvo tratada con los insecticidas thiamethoxam o clothianidin y en todas se observaron incrementos significativos de biomasa radical, longitud de panoja y rendimiento de grano con el HMA, excluyendo las localidades del Ej. Cárdenas (2008 y 2009) donde el rendimiento fue semejante al testigo (Cuadro 4). No existen precedentes sobre la influencia de dichos insecticidas sobre los HMA, aunque otros resultados de campo, Com. Pers. M. C. Luis Castañón Nájera, Fundación Produce Tamaulipas,

where the yield was similar to the control (Table 4). There is no precedent for the influence of these insecticides on AMF, although other field results, Personal Communication M. C. Luis Castañón Nájera Produce Foundation Tamaulipas, A. C. showed a synergistic effect with the combination of insecticides-AMF in sorghum seed under high populations of aphids (*R. maidis*) at seedling stage.

Are also common other pesticides like carbofuran (Furadan<sup>®</sup>) and thiodicarb (Semevin<sup>®</sup>), that are used by the producer in seed treatment for protection against the soil pest complex; however these insecticides when combined in the seed with mycorrhizal inoculation, have no effect on *G. intraradices* (Díaz *et al.*, 2008). This also coincides with

A. C. indicaron efecto sinérgico con la combinación de los insecticidas-HMA en la semilla de sorgo, bajo altas poblaciones de pulgones (*R. maidis*) en estado de plántula.

También son comunes otros plaguicidas como carbofuran (Furadan®) y thiodicarb (Semevin®), que utiliza el productor en el tratamiento de semilla para la protección contra el complejo de plagas del suelo, sin embargo estos insecticidas cuando se combinan en la semilla con la inoculación micorrízica, no tienen efecto sobre *G. intraradices* (Díaz *et al.*, 2008). Lo anterior también coincide con Collins y Pfleger (1992), quienes indicaron que los insecticidas del grupo de los carbamatos, no presentan efectos negativos sobre la funcionalidad de los hongos micorrizógenos.

### Respuesta del sorgo 'D-47' a la inoculación del HMA

Los resultados obtenidos de las trece localidades en donde se sembró el híbrido de sorgo 'D-47', indicaron diferencias ( $p \leq 0.01$ ) en los efectos producidos por la inoculación de la semilla con el hongo micorrizógeno. La inoculación de *G. intraradices* impactó en la biomasa radical al incrementar el peso promedio en 6 g sobre el testigo. También la longitud de la panoja se acrecentó 3 cm y el rendimiento de grano aumentó en 471 kg ha<sup>-1</sup>. Estos resultados demuestran la estabilidad de la relación simbiótica HMA-genotipo en diferentes condiciones ambientales, así como de prácticas agronómicas (Cuadro 5).

#### Cuadro 5. Respuesta del híbrido de sorgo para grano 'D-47' inoculado con micorriza arbuscular *G. intraradices* en trece parcelas establecidas en el estado de Tamaulipas, 2007-2009.

Table 5. Response of sorghum hybrid 'D-47' for grain, inoculated with arbuscular mycorrhizal *G. intraradices* in thirteen plots established in the state of Tamaulipas, 2007-2009.

Tratamiento	Biomasa radical (g)	Longitud de panoja (cm)	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )
Micorriza	23.2	26.6	3405
Testigo	17.2	23.6	2934
P>F	0.001	0.001	0.001
C.V. (%)	13.9	4	2.8
Tukey (0.05)	2.8	0.95	75.8

### El HMA en sorgo bajo condición de riego y secano

Al agrupar las parcelas de las regiones de secano y las irrigadas, se observaron diferencias significativas entre la inoculación con el HMA y el testigo. En secano, el HMA incrementó ( $p \leq 0.01$ ) la biomasa radical en 47% y 14% la longitud de la panoja, mientras que para el rendimiento de grano el aumento ( $p \leq 0.05$ ) fue 20% sobre el testigo; en cuanto a la rentabilidad, el costo-beneficio aumentó 17%. De

Collins and Pfleger (1992), who indicated that insecticides from the carbamate group have no negative impact on the functionality of mycorrhizal fungi.

### Response of sorghum 'D-47' to the inoculation of AMF

The results of the thirteen localities where planted sorghum hybrid 'D-47', indicated differences ( $p \leq 0.01$ ) on the effects of seed inoculation with mycorrhizal fungi. Inoculation with *G. intraradices* had impact in root biomass by increasing the average weight in 6 g over the control. Also panicle length was increased 3 cm and grain yield increased by 471 kg ha<sup>-1</sup>. These results demonstrate the stability of the symbiotic relationship AMF-genotype under different environmental conditions and agronomic practices (Table 5).

### AMF in sorghum under irrigation and rainfed condition

By grouping the plots from rainfed and irrigated locations, significant differences were observed between inoculation with AMF and control. On rainfed, the AMF increased ( $p \leq 0.01$ ) root biomass in 47% and 14% the panicle length, whereas grain yield increased ( $p \leq 0.05$ ) 20% over the control; in terms of profitability, the cost-benefit increased 17%. Similarly under irrigated conditions, increases ( $p \leq 0.01$ ) with mycorrhizal treatment were 50% in root biomass, 13% in panicle length, and 14% for grain yield; whereas the cost-benefit improved 16% compared with the control. The overall average of the

variables in the 21 plots of sorghum established in Tamaulipas, indicated that the AMF promoted increases ( $p \leq 0.01$ ) in root biomass in 7.6 g, the panicle length in 3.3 cm, grain yield in 524 kg ha<sup>-1</sup>, and the cost-benefit for production in 17%, compared with the control (Table 6).

Both rainfed as in irrigation conditions, significant beneficial effects were observed with mycorrhizal inoculation on plant characteristics and grain production of sorghum. Apparently,

manera semejante en la condición de riego, los incrementos ( $p \leq 0.01$ ) con el tratamiento micorrízico fueron de 50% en la biomasa radical, 13% en la longitud de la panoja, y 14% para el rendimiento de grano; en tanto que el costo-beneficio se mejoró 16% con respecto al testigo. El promedio general de las variables en las 21 parcelas de sorgo establecidas en Tamaulipas, indicó que el HMA promovió aumentos ( $p \leq 0.01$ ) en la biomasa radical en 7.6 g, la longitud de la panoja en 3.3 cm, el rendimiento de grano en 524 kg ha<sup>-1</sup>, y el costo-beneficio de la producción 17%, con relación al testigo (Cuadro 6).

neither fertilization nor the auxiliary irrigations applied in the situation of irrigation or rainfed conditions influenced the favorable manifestation of *G. intraradices* in sorghum. Magallanes *et al.* (2008) used fertilized (60-40-00) and unfertilized soil with sorghum inoculated with a mycorrhizal consortium and *G. intraradices*, concluded that the effectiveness of both inoculants was similar in the two soil conditions.

Collins and Pflieger (1992) mentioned that it is not possible to generalize the effects of inorganic fertilizers on AMF, due to the complex functionality of these fungi and their interaction

**Cuadro 6. Características generales de plantas de sorgo con inoculación de semilla mediante micorriza arbuscular *G. intraradices* en parcelas establecidas en Tamaulipas bajo condiciones de secano (n= 13) y de riego (n= 8).**

**Table 6. General characteristics of sorghum plants with seed inoculation with arbuscular mycorrhizal *G. intraradices* in plots established in Tamaulipas under rainfed (n= 13) and irrigation (n= 8) conditions.**

Condición	Biomasa radical (g)		Longitud de panoja (cm)		Rendimiento de grano (kg ha <sup>-1</sup> )		
	Micorriza	Testigo	Micorriza	Testigo	Micorriza	Testigo	
Secano	22.9 ± 3.68**	15.5 ± 2.33	26.0 ± 1.27**	22.8 ± 0.93	2724 ± 270*	2256 ± 254	
Riego	23.1 ± 2.85**	15.3 ± 1.90	29.2 ± 0.88**	Costo-beneficio=	2.39	2.03	
					25.8 ± 1.02	4731 ± 239**	4150 ± 250
Promedio total	23.0**	15.4	27.6**	Costo-beneficio=	2.33	2.00	
					24.3	3727**	3203
				Costo-beneficio=	2.36	2.01	

\*\*\* Significativo a nivel de  $p \leq 0.05$  y  $0.01$ , respectivamente. ± Desviación estándar.

Tanto en las condiciones de secano como en las de riego, se observaron efectos benéficos significativos de la inoculación micorrízica en las características de planta y en la producción de grano de sorgo. Al parecer, ni la fertilización, ni los riegos de auxilio aplicados en la situación de irrigación, o las condiciones de secano, influyeron en la manifestación favorable de *G. intraradices* en sorgo. Magallanes *et al.* (2008) utilizaron suelo fertilizado (60-40-00) y sin fertilizar con sorgo inoculado con un consorcio micorrízico y *G. intraradices*, concluyeron que la efectividad de ambos inoculantes fue similar en las dos condiciones de suelo.

Collins y Pflieger (1992) mencionaron que no es posible generalizar los efectos de los fertilizantes inorgánicos sobre los HMAS, debido a la compleja funcionalidad de estos hongos y su interacción con los múltiples factores inherentes del suelo, no obstante, señalaron a *G. intraradices* como insensible a la fertilización. Al respecto, Stewart *et al.* (2005) concluyeron que tanto la colonización radical como

with the multiple inherent factors from the soil, however, pointed to *G. intraradices* as insensitive to fertilization. Regarding this, Stewart *et al.* (2005) concluded that both root colonization and plant productivity in strawberry, increased in plants inoculated with *G. intraradices* compared to uninoculated, in a soil high in phosphorus.

Information on the benefits contributed by AMF in sorghum is wide; various greenhouse and field studies have indicated that these microorganisms increase biomass, P uptake, chlorophyll, water extraction from the soil to the plant, length and root biomass, and grain yield (Singh and Tilak, 1992; Osonubi, 1994; Bressan *et al.*, 2001; Díaz *et al.*, 2007, Díaz *et al.*, 2010).

Similarly in sorghum has been observed more effectiveness with native strains of AMF from arid and semi-arid regions, by increasing water acquisition, growth and assimilation of N<sup>+</sup> and K<sup>+</sup>, compared with the inoculation

la productividad en plantas de fresa, se incrementaron en plantas inoculadas con *G intraradices* comparadas con las no inoculadas, en un suelo con alto contenido de fósforo.

La información sobre los beneficios que aportan los HMA en sorgo es amplia; diversos estudios de invernadero y campo han señalado que estos microorganismos incrementan la biomasa, la absorción de P, la clorofila, la extracción de agua del suelo a la planta, la longitud y biomasa de la raíz, y el rendimiento de grano (Singh y Tilak, 1992; Osonubi, 1994; Bressan *et al.*, 2001; Díaz *et al.*, 2007; Díaz *et al.*, 2010).

Igualmente en sorgo se ha observado mayor efectividad con cepas de HMAS nativas procedentes de zonas áridas y semiáridas, al incrementar la adquisición de agua, el crecimiento y la asimilación de N<sup>+</sup> y K<sup>+</sup>, comparado con la inoculación de especies exóticas (Harris *et al.*, 2009). Otra ventaja de la micorriza INIFAP aplicada en campo, se refleja en el impacto económico favorable en sorgo. Díaz *et al.* (2007) demostraron que la inoculación con *G. intraradices* (INIFAP) resultó una práctica rentable, la cual le representó al productor un ingreso adicional de \$783.20 ha<sup>-1</sup> en función al no inoculado; de igual forma, Valadez y Díaz (2008) informaron incremento de la rentabilidad con el HMA, con una relación costo-beneficio de 1.30, comparado con el obtenido por el productor sin HMA, que fue de 0.96.

El presente estudio demostró la efectividad de la micorriza INIFAP en la productividad del sorgo cultivado bajo diferente manejo agronómico, edáfico y ambiental del estado de Tamaulipas. La siembra de la semilla inoculada se puede realizar con los implementos y el manejo agronómico utilizados por los productores. Es importante destacar que para el agricultor la inoculación de la semilla le representa una práctica adicional (no tradicional), y las variantes en su procedimiento dependerán principalmente del volumen de semilla empleada para la siembra.

Al respecto, los productores han utilizado desde tanques dicéntricos, batidores electromecánicos para masa, hasta revolventoras para cemento de diferentes capacidades; también han utilizado las máquinas mezcladoras de empresas de semillas que las ofrecen para el tratamiento de insecticidas. Lo anterior refleja el grado de adopción y la factibilidad de esta biotecnología en los sistemas de producción comercial.

of exotic species (Harris *et al.* 2009). Another advantage of the mycorrhiza INIFAP applied at field is reflected in the favorable economic impact on sorghum. Díaz *et al.* (2007) demonstrated that inoculation with *G. intraradices* (INIFAP) resulted a profitable practice, which represented to the producer an additional income of \$ 783.20 ha<sup>-1</sup> according to uninoculated; similarly, Valadéz and Díaz (2008) reported increased profitability with AMF, with a cost-benefit ratio of 1.30, compared with that obtained by the producer without AMF, which was 0.96.

The present study demonstrated the effectiveness of the mycorrhizal INIFAP in the productivity of sorghum grown under different agricultural management, soil and environments from the state of Tamaulipas. The planting of the inoculated seed can be done with the implements and agricultural management used by producers. It is important to mention that for a farmer seed inoculation will represent an additional practice (non-traditional), and the variations in its procedure will depend mainly on the volume of seed used for planting.

In this regard, farmers have used from tanks, electromechanical dough mixers, cement mixers for different capacities; they have also used seed mixers that seed companies offer for insecticide treatment. This reflects the degree of adoption and feasibility of this biotechnology in commercial production systems.

## Conclusion

Planting of sorghum seed with the inoculant based of mycorrhizal fungus *G. intraradices*, INIFAP strain, it could be performed conveniently with mechanical and precision planters used by producers. Of 21 plots established with different agro-technology and environmental management, where the seed was compared with or without inoculant, only in three the increase of grain yield was not significant; in 20 root biomass increased, and in all cases increased the panicle length. In 13 locations planted with sorghum hybrid "D-47", the inoculated seed treatment promoted an increase of 6 g to the weight of the root biomass, 3 cm in panicle length and 471 kg ha<sup>-1</sup> grain yield over the control. The results obtained in both under irrigated and rainfed indicated

## Conclusiones

La siembra de semilla de sorgo con el inoculante a base del hongo micorrizógeno *G. intraradices*, cepa INIFAP, se pudo realizar convenientemente con las sembradoras tipo mecánicas y de precisión utilizadas por los productores. De 21 parcelas establecidas con diferente manejo agrotecnológico y de ambiente, donde se comparó la semilla con o sin inoculante, solo en tres el incremento en rendimiento de grano no fue significativo; en 20 se incrementó la biomasa radical; y en todos los casos aumentó la longitud de la panoja. En 13 localidades sembradas con el híbrido de sorgo 'D-47', el tratamiento con la semilla inoculada promovió incremento de 6 g en el peso de la biomasa de raíz, 3 cm la longitud de la panoja y de 471 kg ha<sup>-1</sup> el rendimiento de grano, sobre el testigo. Los resultados obtenidos tanto en condiciones de riego como de secano indicaron que el HMA acrecentó significativamente la biomasa radical en 7.6 g, la longitud de la panoja en 3.3 cm, el rendimiento de grano en 524 kg ha<sup>-1</sup>, y la rentabilidad de la producción 17%, con relación al testigo.

## Agradecimientos

Al apoyo otorgado por la Fundación Produce Tamaulipas, A. C., por el Patronato para la Investigación, Fomento y Sanidad Vegetal de Tamaulipas, y del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

## Literatura citada

- Aseri, G. K.; Jain, N.; Panwar, J.; Rao, A. and Meghwal, P. R. 2008. Biofertilizers improve plant growth, fruit yield, nutrition, metabolism and rhizosphere enzyme activities of pomegranate (*Punica granatum* L.). *Sci. Hort.* 117:130-135.
- Bressan, W.; Siqueira, J. O.; Vasconcellos, C. A. and Purcino, A. A. 2001. Mycorrhizal fungi and phosphorus on growth, yield and nutrition of intercropped grain sorghum and soybean. *Pesquisa Agrop. Brasileira* 36:315-323.

that the AMF grew significantly by 7.6 g root biomass, panicle length in 3.3 cm, grain yield in 524 kg ha<sup>-1</sup>, and the profitability of production 17%, compared to the control.

*End of the English version*



- Collins, J. N. and Pflieger, F. L. 1992. Vesicular-arbuscular mycorrhizae and cultural stresses. *In: mycorrhizae in sustainable agriculture*. Bethlenfalvay, G. J. and Linderman, R. G. (eds.). Am. Soc. Agron. Special Publ. Núm. 54. 71-99 pp.
- Cornejo, P.; Rubio, R.; Castillo, C.; Azcón, R. and Borie, F. 2008. Mycorrhizal effectiveness on wheat nutrient acquisition in an acidic soil from southern Chile as affected by nitrogen sources. *J. Plant Nutr.* 31:1555-1569.
- Díaz, F. A. y Garza, C. I. 2007. Crecimiento de genotipos de sorgo y cártamo asociados a la colonización micorrizica arbuscular en suelo con baja fertilidad. *Univ. Ciencia* 23:15-20.
- Díaz, F. A.; Salinas, G. J.; Peña, R. A. y Montes, G. N. 2008. Productividad del sorgo con inoculación de micorriza arbuscular. *Campo Experimental Río Bravo, INIFAP. Río Bravo, Tamaulipas, México.* Folleto Núm. 18. 21 p.
- Díaz, M. R.; Díaz, F. A.; Garza, C. I. y Ramírez, L. A. 2007. Brassinoesteroides e inoculación de micorriza arbuscular (*Glomus intraradices*) en el crecimiento y producción de sorgo en campo. *Terra Latinoamer.* 25:77-83.
- Ferrera-Cerrato, R. y Alarcón, A. 2008. Biotecnología de los hongos micorrizicos arbusculares. *In: la biofertilización como tecnología sostenible*. Díaz, F. A. y Mayek, P. N. (eds.). Plaza y Valdés-CONACYT. 25-38 pp.
- Gobierno del estado de Tamaulipas. 2010. [www.agrotamaulipas.gob.mx/información/sector/agricultura.htm](http://www.agrotamaulipas.gob.mx/información/sector/agricultura.htm). (consultado enero, 2010).
- González, Ch. M. 2002. Producción y control de calidad de inoculantes de hongos micorrizicos arbusculares. *In: producción y control de calidad de inoculantes agrícolas y forestales*. Pérez, M. J.; Alvarado, L. J. y Ferrera, C. R. (eds.). Comité Mexicano de Inoculantes Agrícolas y Forestales/Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. 36-46 pp.

- González, Ch. M.; Gutiérrez, C. M. y Wright, S. 2004. Hongos micorrízicos arbusculares en la agregación del suelo y su estabilidad. *Terra Latinoamer.* 22:507-514.
- Harris, V. C.; Esqueda, E. M.; Valenzuela, S. y Castellanos, A. 2009. Tolerancia al estrés hídrico en la interacción planta-hongo micorrízico arbuscular: metabolismo energético y fisiología. *Rev. Fitotec. Mex.* 32:265-271.
- Jeffries, P.; Gianinazzi, S.; Perotto, S.; Turnau, K. and Baera, J. 2003. The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility. *Biol. Fert. Soils* 37:1-16.
- Magallanes, E. A.; Díaz, F. A. y Olalde, P. V. 2008. Rentabilidad del sorgo mediante la inoculación de simbiontes en suelo con y sin fertilización química. *In: la biofertilización como tecnología sostenible.* Díaz, F. A. y Mayek, P. N. (eds.). Plaza y Valdés-CONACYT. 224-227 pp.
- Nauen, R.; Kintscher, U.; Salgado, V. and Kausmann, M. 2003. Thiamethoxam is a neonicotinoid precursor converted to clothianidin in insects and plants. *Pest. Biochem. Physiol.* 76:55-69.
- Osonubi, O. 1994. Comparative effects of vesicular-arbuscular mycorrhizal inoculation and phosphorus fertilization on growth and phosphorus uptake of maize and sorghum plants under drought-stressed conditions. *Biol. Fert. Soils* 18:55-59.
- Salinas, G. J. 2002. Labranza para la conservación de suelo y agua en el norte de Tamaulipas. *Campo Experimental Río Bravo.* INIFAP. Publicación especial Núm. 25. Río Bravo, Tamaulipas, México. 20 p.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2008. Costos de producción de sorgo. SAGARPA. Delegación Estatal en Tamaulipas. Resumen Ejecutivo. Cd. Victoria, Tamaulipas. 4 p.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2002. Norma Oficial Mexicana, NOM-021-SEMARNAT, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudios, muestreo y análisis. *Diario Oficial.* Martes 31 de diciembre. 1-75 pp.
- Silva, S. M.; Medina, G. G.; Ruiz, C. J.; Serrano, A. V.; Díaz, P. G. y Cano, G. M. 2007. Estadísticas climatológicas básicas del estado de Tamaulipas (periodo 1961-2003). *Campo Experimental Río Bravo.* INIFAP. Libro técnico Núm. 2. 315 p.
- Singh, M. and Tilak, K. 1992. Inoculation of sorghum (*Sorghum bicolor*) with *Glomus versiforme* under field conditions. *Trop. Agr.* 69:323-326.
- Smith, S. E. and Read, D. J. 2008. Mycorrhizal symbiosis. 3<sup>th</sup> edition. Academic Press, New York, USA.
- Stewart, L.; Hamel, C.; Hegue, R. and Mostoglis, P. 2006. Response of strawberry to inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi under very high soil phosphorus conditions. *Mycorrhiza* 15:612-619.
- Sylvia, D. M. 1998. Applications and Technologies for AM Fungi. *In: avances de la investigación micorrízica en México.* Zulueta, R. R.; Escalona, A. M. y Trejo, A. D. (eds.). Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz, México. 21-26 pp.
- Valadéz, G. J. y Díaz, F. A. 2008. Biofertilización como alternativa para incrementar rendimiento, sostenibilidad y rentabilidad del sorgo para grano en el sur de Tamaulipas. *In: memorias XI Congreso Internacional en Ciencias Agrícolas.* Encinas, F. R.; Damián, C. F.; Vargas, R. R. y Soto, O. R. (eds.). Universidad Autónoma de Baja California y el Instituto de Ciencias Agrícolas. Mexicali, B. C. México. 395-400 pp.
- Vivas, L.; Astudillo, D. and Campos, L. 2009. Insecticide thiamethoxam 25% for the control of the sogata insect in rice. *Agron. Trop.* 59:89-98
- Williams, A. H.; Montes, G. N. y Pecina, Q. V. 2006. Sorgo. *In: Campo Experimental Río Bravo: 50 Años de Investigación Agropecuaria en el Norte de Tamaulipas.* Rodríguez del Bosque, L. (ed.). Libro técnico Núm. 1. Campo Experimental Río Bravo, INIFAP. Río Bravo, Tamaulipas, México. 287 p.