

## Micorriza arbuscular como alternativa en la producción de sorgo en Tamaulipas, México

### Arbuscular mycorrhizal as alternative in sorghum production in Tamaulipas, Mexico

Arturo Díaz Franco<sup>1\*</sup>, Héctor Manuel Cortinas Escobar<sup>1</sup>, Juan Valadez Gutiérrez<sup>2</sup>, María de los Ángeles Peña del Río<sup>3</sup>

Díaz Franco, A., Cortinas Escobar, H. M., Valadez Gutiérrez, J., Peña del Río, M. A., Micorriza arbuscular como alternativa en la producción de sorgo en Tamaulipas, México. Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes. Número 62: 56-68, mayo-agosto 2014.

#### RESUMEN

Tamaulipas ocupa la mayor superficie de siembra de sorgo en México, en su mayoría como monocultivo y presenta crítica productividad. La inoculación microbiana o biofertilización es una práctica que promueve una agricultura sostenible. Se describen algunos resultados de estudios realizados principalmente con inoculación micorrízica en sorgo en Tamaulipas. La simbiosis micorrízica con *Rhizophagus intraradices* (micorriza INIFAP) originó mayor producción de sorgo en las dos texturas de suelo. La productividad de sorgo con *R. intraradices* o *Asospirillum brasilense* inoculados de forma individual fue superior a la coinoculación de ambos. Durante cinco años consecutivos el rendimiento con *R. intraradices* igualó al de la fertilización química (60-20-00); después de cinco años, el hongo micorrízico incrementó la actividad biológica del suelo, sin alterar las propiedades químicas del mismo. Se identificaron algunas cepas microbianas nativas con efectividad en la productividad de sorgo. Bajo diferentes sistemas agrotecnológicos, *R. intraradices*

acrecentó la biomasa radical, la longitud de panoja y el rendimiento del sorgo.

#### ABSTRACT

Tamaulipas occupies the largest area of planting of sorghum in Mexico, mostly as monoculture and presents critical productivity. Microbial inoculation or biofertilization is a practice that promotes sustainable agriculture. We describe some of the results of studies conducted mainly with mycorrhizal inoculation in sorghum in Tamaulipas. With *Rhizophagus intraradices* (mycorrhiza INIFAP) symbiosis, originated increased production of sorghum in two soil textures. The productivity of sorghum with *R. intraradices* or *Asospirillum brasilense* individually inoculated was superior to the co-inoculation of both. For five consecutive years the yield of *R. intraradices* was equaled to chemical fertilization (60-20-00); after five years, mycorrhizal fungus increased the biological activity of soil, without altering the chemical properties of the same. We identified the effectiveness of some native microbial strains in sorghum productivity. Under different agrotechnological systems, *R. intraradices* increased radical biomass, panicle length and sorghum yield.

**Palabras clave:** inoculantes microbianos, *Sorghum bicolor*, prácticas agronómicas.

**Keywords:** microbial inoculants, *Sorghum bicolor*, agronomic practices.

**Recibido:** 30 de abril de 2013, **aceptado:** 30 de septiembre de 2013

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Río Bravo.

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Las Huastecas.

<sup>3</sup> Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental General Terán.

\* Autor para correspondencia: diaz.arturo@inifap.gob.mx

#### INTRODUCCIÓN

Los inoculantes microbianos o *biofertilizantes* poseen en la actualidad gran relevancia ecológica y económica en la agricultura, por lo que su importancia se ha incrementado dentro de la conservación y la fertilidad de los suelos (Adesemoye y Kloepper, 2009; Hungría et al., 2010; Sharma et al., 2012). Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y las bacterias pro-

motoras de crecimiento vegetal (BPCV), son de los microorganismos más estudiados. Dentro de la actividad simbiótica, los HMA manifiestan diferentes mecanismos que inducen a una mayor exploración del suelo a través de las hifas, disminuyen los efectos de condiciones abióticas adversas para la planta, producen fitohormonas que estimulan el crecimiento de la planta, facilitan la absorción de nutrimentos, producen glomalina que adhiere las partículas del suelo e induce acción protectora contra algunos fitopatógenos del suelo. El grupo de BPCV puede estimular a las plantas a través de producción de fitohormonas, fijación de N, o biocontrol de fitopatógenos mediante compuestos antifúngicos como sideróforos o enzimas líticas (Glick et al., 1999; Vasey, 2003; Smith y Read, 2008).

Numerosos estudios se han enfocado en conocer los efectos de los microorganismos benéficos del suelo utilizados para incrementar la producción (Aseri et al., 2008; Russo y Perkins, 2010; Díaz et al., 2011; Sharma et al., 2012), sustituir o disminuir la fertilización química (Saini et al., 2004; Carpio et al., 2005; Adesemoye et al., 2009), conferir tolerancia contra patógenos del suelo (Jetiyanon et al., 2003; Ferrera y Alarcón, 2008), para biorremediación de suelos contaminados (Franco et al., 2007), así como proveer tolerancia a otros factores abióticos (Al-Karaki et al., 2004; Díaz et al., 2011). No obstante, algunas cepas de microorganismos benefician en mayor grado a un determinado hospedero comparado con otros, además de que su funcionalidad puede ser alterada bajo determinadas condiciones edáficas y climáticas (Klironomos, 2003; Rodríguez, Y. et al., 2004, Hungría et al., 2010; Montero et al., 2010).

Tiene relevancia la utilización de cepas nativas eficientes, con mayor capacidad de adaptación y efectividad en sitios y climas específicos (Varela y Trejo, 2001; Plenchette et al., 2005; Hungría et al., 2010; Tchabi et al., 2010.). Tal es el caso del hongo micorrízico *Rhizophagus intraradices* (micorriza INIFAP) cepa regional (Peña del Río et al., 2007), que en otros estudios ha promovido mayor biomasa y rendimiento en sorgo (Díaz, M. et al., 2007; Díaz et al., 2011).

En México, el estado de Tamaulipas representa el mayor productor de sorgo para grano (*Sorghum bicolor*), con una producción de 2.4 millones de toneladas y un rendimiento medio de 2.2 t ha<sup>-1</sup>, donde 70 % de éste se obtiene bajo condiciones de secano

o temporal (Gobierno del estado de Tamaulipas, 2010). No obstante, la mayor superficie de siembra se ubica en la región norte, con cerca de 650,000 ha, donde el sorgo constituye un monocultivo. Debido al alto costo que representa la fertilización inorgánica, es una práctica poco común y cuando se aplica por lo general se utilizan dosis bajas de fertilizantes (Williams et al., 2006; Díaz et al., 2011). Ante este escenario, Díaz et al. (2011) 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. El presente trabajo tiene como objetivo describir el estado actual del conocimiento sobre la biofertilización del sorgo en Tamaulipas, a través de la conjunción experiencias y resultados de estudios realizados con inoculantes microbianos, principalmente con *R. intraradices*.

### **Interacción entre *R. intraradices* y brasinoesteroide en dos texturas de suelo**

Los brasinoesteroides son un grupo de compuestos biológicamente activos con estructura esteroideal, con capacidad de modular la elongación y la división celular y promover el crecimiento y desarrollo de las plantas, aún en condiciones adversas de producción (Sasse, 1997; Utria et al., 2004). Con la aplicación foliar de los brasinoesteroides se han demostrado incrementos de rendimiento en melón, frijol, soya y trigo (Mandava, 1988; Sasse, 1997; Sairam, 1994). Por lo anterior, se estudió el efecto de la inoculación de la semilla con *R. intraradices* (1 kg ha<sup>-1</sup>) (micorriza INIFAP), la aspersion de brasinoesteroide (CIDEF-4®, 20 g i.a. ha<sup>-1</sup>) y la adición de 44 kg ha<sup>-1</sup> y 33 kg ha<sup>-1</sup> de N y P, respectivamente, en la producción de sorgo ('DK-55') de temporal. El estudio experimental incluyó la evaluación de los tratamientos en dos texturas de suelo de localidades aledañas en Matamoros, Tamaulipas: arcilloso (localidad "El Vaso") (A) y migajón arcillo arenoso (localidad Ej. Cárdenas) (MAA) (Tabla 1). Se midieron características de planta y de grano.

*R. intraradices* y su combinación con brasinoesteroide impactaron positivamente en la altura de planta, biomasa radical, peso de grano y rendimiento en ambos suelos. En rendimiento, los mismos tratamientos superaron en promedio 29.5% al testigo. La mayor colonización micorrízica se obtuvo con *R. intraradices* y/o brasinoesteroide, comparada con la fertilización química y el testigo. En suelo A las plantas exhibieron mayor altura,

biomasa seca, peso de grano y rendimiento. En el suelo MAA se observaron incrementos en diámetro de tallo y biomasa radical (Tabla 2). Los resultados demostraron que la simbiosis micorrícica con *R. intraradices* promovió mayor productividad de sorgo en las dos texturas de suelo. De forma contraria, Chamizo et al. (2009) concluyeron que el tipo de suelo fue un factor determinante para el beneficio en alfalfa (*Medicago sativa*) con la inoculación de un consorcio micorrícico.

**Tabla 1.** Características físicas y químicas de suelos de las localidades del Municipio de Matamoros, Tamaulipas, México (Díaz et al., 2007)

Determinación	Localidades	
	El Vaso	Ej. Cárdenas
pH	8.0	8.1
MO (%)	1.7	2.5
N de nitratos (mg kg <sup>-1</sup> )	13.5	13.0
P disponible (mg kg <sup>-1</sup> )	14.3	14.8
K (mg kg <sup>-1</sup> )	320	470
Textura	Arcilloso	Migajón arcillo arenoso

Estudios en campo con tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa*) inoculado con *R. intraradices* (Velasco et al., 2001), y en diferentes leguminosas con *Funneliformis mosseae* y *Rhizophagus fasciculatum* (Tarafdar y Rao, 1997), también observaron

incrementos en la colonización de HMA, comparados con las plantas sin inoculación. Bressan et al. (2001), en condiciones de invernadero, y Singh y Tilak (1992), en campo, han demostrado incrementos en el rendimiento de grano de sorgo, con la inoculación de varias especies de HMA. En ensayos de campo con sorgo inoculado con *R. intraradices*, Díaz et al. (2008b) obtuvieron aumentos en el rendimiento de sorgo de 18% a 36%, comparados con los testigos.

La efectividad de *R. intraradices* observada en sorgo de secano (sequía) y suelos pobres en N y P, en el presente estudio, constata lo anteriormente citado (Díaz y Garza, 2007) y se demuestra la capacidad de respuesta simbiótica del hongo bajo condiciones adversas de producción. Una posible explicación a esa respuesta observada es que en plantas de sorgo colonizadas con HMA y en estrés de sequía, ocurre una mayor extracción de agua comparativamente con plantas no micorrizadas (Osonubi, 1994). Bressan et al. (2001) reportaron beneficios en sorgo con HMA, los cuales incrementaron la absorción mineral, con relación a las plantas no colonizadas.

No obstante que con solo la inoculación micorrícica se obtuvo óptima productividad de sorgo, los tratamientos con brasinoesteroide también tuvieron impacto. Aunque para tener mejor conocimiento de su efectividad, será necesario

**Tabla 2.** Características de planta y de grano de sorgo ('DK-55') asociadas con la inoculación con *R. intraradices* y la aplicación de brasinoesteroide, en dos localidades de Matamoros, Tamaulipas, México (Díaz et al., 2007)

Factor	Altura de planta	Biomasa seca	Biomasa radical	Colonización micorrícica	Peso de 1000 granos	Rendimiento
	(cm)	(g)	(g)	(%)	(g)	(kg ha <sup>-1</sup> )
Tratamientos (T)						
44-37-00	112.8b*	34.5	12.2 c	40.9 b	21.9 b	3434 ab
Brasinoesteroide (B)	113.1b	35.7	14.2 b	56.2 a	21.2 b	3522 ab
B + R	114.5ab	38.8	18.0 a	53.9 a	23.1 a	3740 a
<i>R. intraradices</i> (R)	117.3a	40.9	17.0 a	57.8 a	23.2 a	3719 a
Testigo	113.1b	34.9	14.0 b	48.2 ab	21.0 b	2878 b
Significancia F	0.01	0.09	0.02	0.01	0.008	0.03
Tex. de suelo (S)						
Arcilloso	124.0	39.6	11.0	48.4	23.8	4583
Mig. arc. arenoso	102.3	34.4	19.1	54.4	20.7	2334
Significancia F	0.001	0.05	0.001	0.11 <sup>NS</sup>	0.001	0.001
T x S	NS	NS	NS	NS	NS	NS
C.V. (%)	7.5	17.3	19.5	22.6	6.4	15.7

\*Valores unidos con la misma letra no difieren a nivel de  $P < 0.05$ , según DMS. N=8.

<sup>NS</sup> No significativa.

realizar estudios mediante el uso de diferentes dosis y épocas de aplicación, tal como lo indican Aguilera et al. (2003), así como determinar su factibilidad económica. En ambos tipos de suelo, se demostró que los tratamientos biológicos *R. intraradices* y/o brasinoesteroide manifestaron efecto benéfico en el rendimiento de sorgo.

### Interacción entre *R. intraradices* y *Azospirillum brasilense*

La rizobacteria *Azospirillum brasilense* ha beneficiado la productividad de diversos cultivos (Dobbelaere et al., 2001 en Irizar et al., 2003; Loredó et al., 2004). Particularmente en sorgo, *A. brasilense* fue capaz de incrementar el rendimiento de grano en condiciones semiáridas (Mendoza et al., 2004 en Díaz y Mayek, 2008). No obstante, se ha puesto interés a los efectos que produce la combinación entre *A. brasilense* y los HMA. Esta importancia obedece a la sinergia originada con ambos inoculantes (Sarig et al., 1988; Irizar et al., 2003; Widada et al., 2007).

Para esclarecer la interacción *A. brasilense*-*R. intraradices* en sorgo se realizó un estudio para evaluar el efecto individual y combinado de los simbiontes *R. intraradices* y *A. brasilense* (CBG-IPN), en la productividad de sorgo en condiciones de secano. El experimento se condujo en la localidad "El Vaso", Matamoros, Tamaulipas, en un suelo de textura arcillosa. Los tratamientos fueron: a) la inoculación de semilla de sorgo con *R. intraradices* (R), a razón de 1 kg ha<sup>-1</sup> de sustrato micorrízico en semilla (7 kg), mezcla hecha con 60 ml de carboximetilcelulosa como adherente y 500 ml de agua (Díaz et al., 2008b); b) la inoculación de la

semilla con la RPC *A. brasilense* (A), a razón de 0.4 kg de turba en la misma cantidad de semilla (Mendoza et al., 2004 en Díaz y Mayek, 2008); c) coinoculación en la semilla con R+A; d) multicepa de *A. brasilense* (CBG-IPN), misma dosis; y e) testigo absoluto.

Los simbiontes influyeron en las características de la planta, en el rendimiento y en la proteína de grano de sorgo (Tabla 3). Para la altura de planta, solamente *R. intraradices* fue capaz de incrementarla 8 cm sobre el testigo. El mayor peso de biomasa seca foliar, radical, longitud de la panoja y contenido de proteína en grano fue registrado con *R. intraradices*, seguido y con promedios similares, por *A. brasilense* y la combinación de ambos (R+A). Los mayores rendimientos de grano se obtuvieron de manera semejante, con la inoculación independiente de *R. intraradices* ó *A. brasilense*, los cuales promediaron 4,030 kg ha<sup>-1</sup>. El contenido de proteína en el grano fue incrementado por la micorriza (17%), en relación con el testigo. Por el contrario, la multicepa de *A. brasilense* no mostró una aportación significativa en las características de planta y de grano de sorgo (Tabla 3).

Resultados obtenidos en maíz (*Zea mays*) (Díaz et al., 2005) indicaron que *R. intraradices* o *A. brasilense* inoculados en semilla de forma individual incrementaron significativamente la producción de elote y de grano, e inclusive igualaron o superaron al tratamiento testigo con fertilización inorgánica. Similarmente, Mendoza et al. (2004 en Díaz y Mayek, 2008) reportaron en sorgo incremento mayor en el rendimiento con la inoculación independiente de los mismos simbiontes, comparada con la inoculación

**Tabla 3.** Características de planta y productividad del sorgo 'DK-52' inoculado con simbiontes. Localidad "El Vaso", Matamoros, Tamaulipas, 2003 (Díaz et al., 2011)

Tratamientos	Altura de planta	Biomasa (g)		Longitud de	Grano	
	(cm)	Foliar	Radical	panoja (cm)	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )	Proteína (%)
<i>R. intraradices</i> (R)	110 a <sup>‡</sup>	130 a	14.7 a	22.7 a	4089 a	10.0 a
<i>A. brasilense</i> (A)	103 b	104 b	10.4 bc	21.2 ab	3971 a	8.8 b
R + A	103 b	102 b	12.1 b	21.3 ab	3683 bc	9.4 ab
Mulicepa-Ab	97 b	88 c	8.9 c	19.4 c	3398 c	9.0 b
Testigo	102 b	85 c	8.8 c	20.2 bc	3510 bc	8.5 b
Significancia	*	**	*	*	*	*
CV (%)	7.7	22.1	17.3	5.4	15.7	4.8

<sup>‡</sup> Valores unidos con la misma letra son semejantes (DMS,  $p \leq 0.05$ ).

\*, \*\* Significancia en el ámbito de  $p \leq 0.05$  ó 0.01, respectivamente.

dual. Por el contrario, diferentes investigaciones señalan una mejor respuesta de los cultivos o sinergia con la simbiosis doble entre HMA-A. *brasiliense* (ó BPCV) (Widada et al., 2007; Olalde y Serratos, 2008; Aguirre, 2009; Chamizo et al., 2009). Los resultados indicaron que en condiciones semiáridas de Tamaulipas, *R. intraradices* o *A. brasiliense* fueron capaces de incrementar el rendimiento de grano de sorgo.

#### Fertilización inorgánica vs. micorrización en secano

Está documentado que en suelo no fertilizado la inoculación micorrízica incrementa la productividad del sorgo, aunque también es competitiva cuando se compara con la fertilización inorgánica (Díaz et al., 2007; Díaz et al., 2011). Sin embargo, poco se conoce sobre la efectividad de los HMA en los cultivos en función del tiempo. La funcionalidad de los HMA influye directa e indirectamente, parcial o totalmente en las modificaciones de las propiedades físicas y químicas del suelo a través del tiempo, y las variaciones dependen de las características del suelo y a su capacidad amortiguadora nutrimental en la interacción suelo-planta-HMA (Baera, 1991; Mader et al., 2000). Algunos productores del norte de Tamaulipas han incorporado la práctica de micorrización al manejo agronómico del sorgo durante 6 años a 7 años consecutivos y sin el uso de fertilización inorgánica, por lo que el propósito del estudio fue comparar entre el manejo del sorgo con inoculación de *R. intraradices* y fertilización inorgánica mediante: a) el rendimiento de grano y la rentabilidad de la producción en 5 años; y b) determinar algunas características de suelo y planta

después de 5 años sucesivos, entre ambos manejos del cultivo.

En un estudio de 5 años en secano se planteó el objetivo de medir algunas características de suelo y planta en sorgo cultivado mediante inoculación de semilla con *R. intraradices* (0.5 kg ha<sup>-1</sup>) y comparado con la fertilización inorgánica (60-20-00) como testigo. El experimento se condujo con una rotación anual cultivo sorgo-descanso, que significa un cultivo de sorgo por año (ciclo otoño-invierno), seguido por un periodo de barbecho (ciclo primavera-verano), y el híbrido de sorgo utilizado fue el Pioneer 82G63. El tipo de suelo fue Vertisol, con una textura arcillosa y pH de 7.9. Los tratamientos se establecieron en el mismo sitio (espacio y tiempo), la siembra fue mecanizada, con humedad residual, y entre finales de enero y principios de febrero en cada año.

El rendimiento de grano se estimó anualmente y se obtuvo la relación beneficio-costo (B/C) a través de la ecuación:  $B/C = RG \times P/C$ , donde RG fue el rendimiento de grano; P el precio; y C el costo (Micorriza INIFAP, \$45.00 ha<sup>-1</sup>; precio del sorgo, \$1,920.00 t<sup>-1</sup>; producción por hectárea con inoculación, \$2,274.00 ha<sup>-1</sup>; y fertilización inorgánica, \$3,200.00 ha<sup>-1</sup>). En el quinto año, 2006, se midieron algunas características de planta y de suelo. En floración, se cuantificó el índice de clorofila a través del determinador Minolta SPAD 502, hecho en la parte central de la hoja bandera; en madurez se registró la altura de planta, biomasa foliar fresca y seca, y biomasa radical. Al final del ciclo del cultivo, se hicieron muestreos de suelo a profundidad de

**Tabla 4.** Rendimiento de grano (t ha<sup>-1</sup>) y beneficio-costo (B/C) comparativo entre micorrización y fertilización inorgánica en sorgo. Díaz et al (2012)

Año	<i>R. intraradices</i>		60-20-00 (testigo)	
	t ha <sup>-1</sup>	B/C	t ha <sup>-1</sup>	B/C
2002	2.84 a <sup>‡</sup>	2.5	2.80 a	1.9
2003	3.78 a	3.4	3.90 a	2.6
2004	4.96 a	4.4	5.24 a	3.6
2005	2.58 a	2.3	2.73 a	1.9
2006	4.47 a	4.5	4.84 a	4.3
Promedio	3.72 a	3.4	3.90 a	2.8

P>F

Años (A)	0.001
Trat. (T)	0.165
A x T	0.858

<sup>‡</sup> Letras diferentes en la misma fila muestran diferencias significativas (P<0.05); n=9.



hasta 30 cm, en total fueron dos muestras compuestas de cada parcela. Éstas a su vez se dividieron en tres submuestras, una mantenida en hielera para la determinación de CO<sub>2</sub> y las otras dos destinadas para el recuento de esporas y el análisis químico.

El rendimiento de sorgo entre *R. intraradices* y la fertilización inorgánica fue semejante entre los años y en el promedio de los cinco años. Esto propició que la práctica con micorización superara en la relación B/C a la fertilización inorgánica (60-20-00) en todos los años. En promedio de 2002-2006 registró un incremento de la rentabilidad con el hongo micorrízico en 17.7%, con relación a la fertilización inorgánica (Tabla 4).

Se concluye que la productividad del sorgo a través de la inoculación micorrízica dio como resultado un manejo agrícola más rentable y sostenible. Lo anterior refleja lo experimentado por algunos productores de sorgo que han utilizado el hongo micorrízico por 6 o más años y sin la adición de fertilizantes.

Después de los 5 años los valores del índice de clorofila, la altura de planta, la biomasa foliar fresca y seca, no mostraron diferencias entre el sorgo cultivado con la micorización y el que llevó la fertilización inorgánica. Por el contrario, la inoculación acrecentó con 10.2 g la biomasa radical, comparada con el manejo fertilizado (Tabla 5). El análisis químico de los suelos indicó que los valores de pH, materia orgánica, conductividad eléctrica, P y K, se mantuvieron semejantes entre tratamientos. No obstante, la concentración de N resultó superior con el tratamiento fertilizado (37.8 mg kg<sup>-1</sup>) (Tabla 4).

La cuantificación de esporas de HMA fue mayor con la micorización, que registró una promoción de 874 esporas g<sup>-1</sup> sobre la fertilización inorgánica. El mismo tratamiento incrementó la emisión de CO<sub>2</sub>, superaron en 77% a la fertilización (Tabla 6). Diferentes estudios han demostrado que la biomasa microbiana en el suelo es un indicador sensible de calidad del mismo dentro de una variedad de prácticas agronómicas (Ndiaye et al., 2000; Roldán et al., 2006). Harinikumar y Bagyaraj (1989) compararon la secuencia en la rotación de diferentes cultivos con y sin fertilización química en condiciones semiáridas y demostraron que en ausencia del fertilizante se observó una mayor actividad micorrízica arbuscular nativa. La menor cantidad de N en el suelo con el



**Figura 1.** Sorgo cultivado en condiciones de temporal en San Fernando, Tamaulipas. Surcos de lado izquierdo sin inoculación (testigo), surcos de lado derecho con inoculación micorrízica (*Rhizophagus intraradices*). Fotografía de Arturo Díaz.

inoculado puede ser una indicación de la consunción del elemento por la falta de su reposición. Aunque este desequilibrio fue tangible, no se manifestó a través del índice de clorofila, la biomasa foliar, ni en el rendimiento de grano. Bressan et al. (2001) y Singh y Tilak (1992) informaron que los HMA en sorgo y soya contribuyeron en el incremento de biomasa y a una mayor absorción de N, P, K, Zn y Cu por la planta.

En un estudio hecho con maíz en macetas, por cinco ciclos consecutivos, Robles y Baera (2004) concluyeron que los valores de las variables

**Tabla 5.** Comparación de características de planta de sorgo obtenidas después de 5 años consecutivos con inoculación micorrízica de semilla o fertilización inorgánica. Díaz et al (2012)

Variable	<i>R. intraradices</i>	60-20-00 (testigo)	P>F
Clorofila (SPAD) (n=75)	48.2	51.2	0.651
Altura de planta (cm) (n=30)	112.6	115.0	0.326
Biomasa foliar fresca (g) (n=30)	135.3	141.6	0.412
Biomasa foliar seca (g) (n=30)	86.0	88.7	0.321
Biomasa radical (g) (n=30)	41.2	31.0	0.023

**Tabla 6.** Comparación de características químicas y biológicas de suelo cultivado con sorgo después de 5 años consecutivos utilizando inoculación con *R. intraradices* o fertilización inorgánica. Díaz et al. (2012)

Variable*	<i>R. intraradices</i>	60-20-00 (testigo)	P>F
pH	8.1	8.0	0.537
Materia orgánica (%)	2.1	2.0	0.911
Conductividad eléctrica (mmhos cm <sup>-1</sup> )	0.66	0.71	0.234
N (mg kg <sup>-1</sup> )	31.1	37.8	0.042
P (mg kg <sup>-1</sup> )	14.9	15.9	0.867
K (mg kg <sup>-1</sup> )	370	407	0.848
Esporas de HMA (No. 100 g <sup>-1</sup> suelo)	5404	4530	0.041
Emisión de CO <sub>2</sub> (moles de CO <sub>2</sub> g suelo <sup>-1</sup> )	0.0042340	0.0023875	0.006

\*N=6.

medidas en la planta se redujeron con el tiempo en el tratamiento inoculado, comparado con el fertilizado, al parecer debido al agotamiento de la fertilidad del suelo por la extracción continua de nutrimentos por el cultivo. Por el contrario, Díaz et al. (2008a) compararon maíz de secano, inoculado con *R. intraradices* y un testigo con la fórmula 60-20-00, y registraron que en 3 años sucesivos tanto el contenido de clorofila como la producción de grano fue semejante en ambos tratamientos, variables que correlacionaron positivamente ( $r=0.93$ ). En un estudio similar Salinas et al. (2005) reportaron que después de 2 años los niveles de materia orgánica, N, P y K en tres profundidades del suelo fueron semejantes cuando se comparó el frijol (*Phaseolus vulgaris*) fertilizado (40-20-00) o con *R. intraradices* no fertilizado. El impacto que tuvo *R. intraradices* en sorgo en condiciones de secano en Tamaulipas fue manifestado con el beneficio en la productividad y rentabilidad bajo un sistema de producción sostenible.

### Cepas de hongos micorrícicos en sorgo en condiciones de riego y secano

Muchos estudios se han enfocado en conocer los efectos de inoculantes micorrícicos para incrementar la producción en los cultivos. No obstante, algunas cepas de microorganismos benefician en mayor grado a un determinado hospedero comparado con otros, en función de su efectividad y las condiciones de suelo y clima (Klironomos, 2003; Rodríguez et al., 2004; Montero et al., 2010). Diversos inoculantes son preparados a partir de cepas micorrícicas introducidas o extranjeras, aunque se le ha dado énfasis en la utilización de cepas nativas, con mayor capacidad de adaptación y efectividad en sitios y climas específicos (Plenchette et al., 2005; Ferrera y

Alarcón, 2008; Tchabi et al., 2010). En Tamaulipas se siembran más de 750,000 ha de sorgo, de las cuales una tercera parte corresponde a condición de riego y las restantes a secano. Por ello, el objetivo del trabajo fue evaluar cepas de HMA nativas para conocer su impacto en las características de planta y rendimiento de sorgo en condición de riego y secano.

El híbrido DK-345 se sembró en la localidad Santo Domingo, Río Bravo, Tamaulipas, área de riego y en la localidad "El Vaso", Matamoros, Tamaulipas, área de secano. En Santo Domingo la fertilización inorgánica fue de 80-00-00, mientras que en "El Vaso" no se fertilizó. Las cepas nativas de HMA evaluadas del Campo Experimental General Terán, INIFAP, son provenientes de regiones áridas y semiáridas del noroeste de México (Peña del Río et al., 2007), las cuales fueron: 3 (*Funneliformis mossae*), 20 (*Gigaspora* sp.), 32 (*F. mossae*), 35 (*F. mossae*), 39 (*F. mossae*), 55 (*Gigaspora* sp.), micorriza INIFAP (*R. intraradices*) y testigo sin inoculación. La semilla utilizada fue de 7 kg ha<sup>-1</sup> y 8 kg ha<sup>-1</sup>, en secano y riego, respectivamente. Las cepas micorrícicas se inocularon a razón de 0.5 kg ha<sup>-1</sup> mediante agua y adherente. En ambas localidades se midió el índice de clorofila (SPAD) en hoja bandera, en floración (50%) y al término de floración; en madurez se estimó la altura de planta, la biomasa seca y el rendimiento de grano.

La respuesta de la planta de sorgo a la combinación cepa micorrícica-condición de humedad indicó que el índice de clorofila en hoja bandera mostró interacción cepa-condición, la misma variable al final de la floración fue mayor con la micorriza INIFAP, y las cepas 55, 20 y 35. La biomasa seca del testigo fue superada similarmente por la inoculación de todos los

hongos micorrícicos, mientras que para el rendimiento de grano, la micorriza INIFAP y la cepa 55 fueron las que registraron el mayor rendimiento, seguidas por las cepas 39, 20 y 35 (Tabla 7).

Los resultados obtenidos demostraron que, con excepción de la lectura de clorofila en estado de hoja bandera, los valores de las variables evaluadas fueron superiores en la condición de riego, como era de esperarse. No obstante, independientemente de la condición de riego o seco, las cepas micorrícicas fueron capaces de promover mejores características de planta y rendimiento de grano. La micorrización ha demostrado incrementos en la productividad de numerosos cultivos en suelos con diferente estrés hídrico, tal es el caso del trigo (*Triticum aestivum*), sandía (*Citrullus lanatus*) y maíz, de los cuales la micorrización acrecentó el rendimiento, tanto en sequía como en niveles de humedad (Sylvia et al., 1993; Kaya et al., 2003; Al-Karaki et al., 2004).

Se encontraron algunas correlaciones positivas entre las variables como clorofila al final de floración con rendimiento ( $r=0.69^{**}$ ), clorofila en floración con rendimiento ( $r=0.62^*$ ), la altura de planta con biomasa seca ( $r=0.88^{**}$ ), la altura de planta con rendimiento ( $r=0.60^*$ ) y biomasa seca con rendimiento ( $r=0.65^*$ ).

Las variaciones de respuesta entre cepas en el sorgo se puede explicar tal como lo señalan Wani y Lee (2002), quienes indicaron que los inoculantes microbianos, al ser agentes biológicos, se encuentran sujetos a la influencia de condiciones ambientales hostiles, de manera que su efectividad en la planta hospedera se encuentra gobernada por múltiples factores.

### Efecto de la inoculación con *R. intraradices* en sorgo bajo diferentes manejos agronómicos en Tamaulipas

El estudio se desarrolló en diferentes ambientes del estado de Tamaulipas comprendidos 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 la uniformidad de relieve y suelo, manifestado en el desarrollo del cultivo anterior. En los ciclos agrícolas otoño-invierno o primavera-verano se condujeron 13 parcelas con productores en condiciones de seco, de las cuales la fecha de siembra, el híbrido de sorgo

**Tabla 7.** Características de planta y rendimiento de sorgo influenciados por cepas de hongos micorrícicos en condiciones de riego y seco

Variable	Índice de clorofila (SPAD)			Altura de planta (cm)	Biomasa seca (g)	Kg ha <sup>-1</sup>
	Hoja bandera	Floración	Final de floración			
Cepa						
Micorriza INIFAP	39.5 a*	39.6	34.4 a	109.5	54.2 a	3760 a
32 (F. mossae)	37.7 b	38.6	31.2 b	109.1	53.5 a	2999 c
3 (F. mossae)	39.0 a	39.0	31.4 b	107.8	50.1 a	2909 c
55 (Gigaspora sp.)	39.5 a	38.8	35.1 a	107.8	53.9 a	3616 ab
39 (F. mossae)	38.0 b	40.1	31.6 b	106.3	52.0 a	3223 bc
20 (Gigaspora sp.)	37.7 b	38.4	32.0 ab	106.0	54.2 a	3377 b
35 (F. mossae)	39.9 a	38.1	33.0 ab	108.9	49.2 ab	3514 b
Testigo	33.9 c	37.1	26.5 c	105.8	44.6 b	2886 c
P>F	0.004	0.345	0.003	0.202	0.026	0.001
Condición						
Secano ('El Vaso')	40.1 a	32.2 b	24.0 b	99.4 b	45.0 b	3069 b
Riego (Santo. Domingo)	36.3 b	44.8 a	39.8 a	115.9 a	57.9 a	3565 a
P>F	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Cepa x Condición	0.021	0.200	0.071	0.528	0.624	0.911
CV	4.5	8.4	8.3	3.2	13.1	14.3

\*Tukey nivel 5%.



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.

En otoño-invierno de 2008 y 2009 se sumaron ocho parcelas en condiciones de riego, 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 N y P, 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, Tamaulipas, donde el productor adicionó solamente gallinaza (o pollinaza). La mitad del N y todo el P se aplicó 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.

En las parcelas de las diferentes localidades y con la colaboración de los productores, el trabajo consistió en sembrar una superficie de 0.25 a 1.0 ha con semilla de sorgo inoculada con *R. intraradices* (Micorriza INIFAP), comparada con la semilla sin inocular (testigo). Ambos tratamientos fueron conducidos con el mismo híbrido y de acuerdo al manejo utilizado por el productor, 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 secano y de 7 a 9 kg ha<sup>-1</sup> en condiciones de riego. Algunos productores utilizaron semilla tratada (comercializada) con los insecticidas Poncho® (clothianidín, 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* en el estado de plántula (Tablas 2 y 3) (Nauen et al., 2003; Vivas et al., 2009). La inoculación de la semilla para una hectárea consistió en humedecerla y mezclarla con una suspensión de 0.5 L de agua a 0.6 L de agua y 60 mL de carboximetilcelulosa como adherente. Se adicionó y mezcló con 0.5 kg del inoculante micorrícico. Para mezclar la semilla se utilizaron bolsas de plástico o tanque dicéntrico. La semilla inoculada se sembró inmediatamente, y en los casos en los que la siembra se hizo días después, se extendió en lona para secarla en sombra (Díaz et al., 2008b).

Para medir el efecto de la simbiosis micorrícica en sorgo, en cada parcela se tomaron 30 plantas en madurez fisiológica en forma aleatoria. 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 para después pesar la biomasa fresca radical. El rendimiento de grano

total (kg ha<sup>-1</sup>) se estimó al cosechar las panojas de seis subparcelas de dos surcos de 5 m de longitud. El rendimiento de grano se ajustó a 14% de humedad. Con la información obtenida se hicieron comparaciones estadísticas, con los tratamientos con y sin inoculación micorrícica, a través de la prueba de *t*-student y el cálculo de las desviaciones estándar.

La siembra de semilla de sorgo inoculada con *R. intraradices* se realizó satisfactoriamente con las sembradoras de precisión y mecánicas. Resultó evidente el impacto promotor de *R. 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 con la micorización, los cuales fluctuaron entre 3.1 g y 12.5 g sobre el testigo. Para la longitud de panoja del sorgo, en todas las localidades también se observó mayor tamaño con la micorización; la longitud se incrementó entre 2.5 cm y 5.4 cm. De manera similar, solamente en tres localidades [Ej. Cárdenas (2008), "El Vaso" (2) y Ej. Cárdenas (2009), en secano] el rendimiento de grano fue semejante entre el inoculado y el testigo, en el resto de las localidades el simbionte aumentó la producción de grano en un rango de 289 kg ha<sup>-1</sup> 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 inoculado y el testigo no fueron significativos, se observaron aumentos numéricos a favor de la micorriza; lo que demostró que en el 94.7% de los casos la micorización impactó en el incremento de la biomasa radical, en el 100% de los casos en la longitud de la panoja y en el 85.7% en el rendimiento de grano (Tabla 8). Los resultados en cada una de las parcelas demostraron la consistente respuesta promotora que tuvo *R. intraradices* en las variables evaluadas en sorgo, a pesar de la variabilidad de genotipos, suelos, prácticas agronómicas y ambientes. Lo anterior valida otros estudios donde se demostró que *R. intraradices* fue capaz de estimular el crecimiento y el rendimiento del sorgo (Díaz et al., 2007; Magallanes et al., 2008; Mehraban et al., 2009; Díaz et al., 2011).

Por otro lado, en ocho localidades la semilla de sorgo utilizada estuvo tratada con los insecticidas thiamethoxam ó clothianidín y en todas se observaron incrementos significativos de biomasa radical, longitud de panoja y rendimiento de grano

con la inoculación, excluyendo las localidades del Ej. Cárdenas (2008 y 2009) donde el rendimiento fue semejante al testigo (Tabla 8). No existen precedentes sobre la influencia de dichos insecticidas sobre los HMA, aunque otros resultados de campo<sup>45</sup> 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. Los resultados obtenidos tanto

en condiciones de riego como de secano indicaron que la micorrización 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 en 17%, con relación al testigo.

Los resultados obtenidos demuestran efectos positivos en la producción de sorgo para grano

**Tabla 8.** Respuesta del sorgo a la inoculación de semilla con micorriza arbuscular *R. intraradices* en parcelas establecidas en el estado de Tamaulipas en condiciones de secano y de riego 2007-2009 (Díaz et al., 2013)

Localidad	Biomasa radical (g)		Longitud de panoja (cm)		Rendimiento de grano (kg ha <sup>-1</sup> )	
	Micorriza	Testigo	Micorriza	Testigo	Micorriza	Testigo
<b>Secano</b>						
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
<b>Riego</b>						
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

<sup>NS</sup> \*, \*\* No significativo o significativo a nivel de  $P \leq 0.05$  y  $0.01$ , respectivamente.

± Desviación estándar.

<sup>45</sup> Comunicación personal del M.C. Luis Castañón Nájera, Fundación Produce Tamaulipas, A. C.

mediante la práctica de inoculación del hongo micorrícico en semilla, bajo una diversidad de ambientes y de manejo agronómico del cultivo de sorgo en Tamaulipas. Con la misma práctica, podrían esperarse también efectos de promoción de la productividad de sorgo en otras regiones productoras que presenten condiciones semejantes.

### CONCLUSIONES

La inoculación micorrícica con *Rhizophagus intraradices* (micorriza INIFAP) sola o en combinación con la aspersión de brasinoesteroide incrementó el peso y rendimiento de grano de sorgo en dos texturas de suelo.

En la evaluación del efecto individual y combinado de los simbioses *R. intraradices* y *A. brasilense* en la productividad de sorgo, los mayores rendimientos de grano se obtuvieron de manera semejante, con la inoculación independiente de *R. intraradices* o *A. brasilense*. El contenido de proteína en el grano se incrementó con la micorriza (17%) en relación con el testigo.

Cuando se comparó durante 5 años consecutivos el rendimiento con *R. intraradices* y el de la fertilización química (60-20-00), se demostró que el hongo micorrícico igualó el rendimiento al fertilizado, pero siempre fue superior en la relación beneficio-coste de la producción. Además, incrementó la actividad biológica del suelo, sin alterar las propiedades químicas del mismo.

Cuando se comparó la respuesta del sorgo a seis cepas experimentales de hongos micorrícicos y *R. intraradices*, en condiciones de riego y seco, se destacó que la biomasa seca del testigo fue superada similarmente por la inoculación de todos los hongos micorrícicos, mientras que para el rendimiento de grano, *R. intraradices* y la cepa 55 registraron el mayor rendimiento.

Bajo diferentes manejos agronómicos del sorgo en Tamaulipas destacó que tanto en condiciones de seco como en riego se observaron efectos benéficos significativos por la inoculación micorrícica en las características de planta y en la producción de grano de sorgo. Se pudo demostrar que a escala comercial, la siembra de la semilla inoculada se puede realizar con los implementos y el manejo agronómico utilizados por los productores. La inoculación micorrícica podrá ser combinada con semilla de empresas que la comercializan con tratamiento de insecticidas, que tiene como propósito la prevención al ataque de insectos chupadores. Es importante destacar que para el agricultor de la entidad la inoculación de la semilla 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 diferentes tipos de mezcladoras, inclusive 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 del inoculante micorrícico y la factibilidad de esta biotecnología en los sistemas de producción comercial en Tamaulipas.

### LITERATURA CITADA

- ADESEMOYE, A. O. y KLOPPER, J. W. Plant-microbes interactions in enhanced fertilizer-use efficiency. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85: 1-12, 2009.
- AGUILERA, R. M. et al. Effect of brassinosteroids analogues on rice productivity in saline conditions. *Alimentaria*, 46: 71-75, 2003.
- AGUIRRE, M. F. Los biofertilizantes microbianos: Alternativa para la agricultura en México. Campo Experimental Rosario Izapa, INIFAP. Folleto No. 5. 68 p., 2009.
- AL-KARAKI, B. et al. Field response of wheat to arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress. *Mycorrhiza* 14:263-269, 2004.
- ASERI, G. K. et al. Biofertilizers improve plant growth, fruit yield, nutrition, metabolism and rhizosphere enzyme activities of pomegranate (*Punica granatum* L.). *Science Horticulture* 117:130-135, 2008.
- BAERA, J. M. Vesicular-arbuscular mycorrhizae as modifiers of soil fertility. *Adv. Soil Sci.* 15: 1-40, 1991. Bashan, Y. El uso de inoculantes microbianos como una importante contribución al futuro de la agricultura mexicana. In: DÍAZ FA y MAYEK PN (eds). La Biofertilización como Tecnología Sostenible. Plaza y Valdés, CONACYT. México. Pp:17-23, 2008.
- BRESSAN, W. et al. A. Mycorrhizal fungi and phosphorus on growth, yield and nutrition of intercropped grain sorghum and soybean. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 36:315-323, 2001.
- CARPIO, A. L. et al. Arbuscular mycorrhizal fungi, organic and inorganic controlled-release fertilizers: Effect on growth and lea-

- chate of container-grown bush morning glory (*Ipomoea carnea* ssp. *fistulosa*) under high production temperatures. *Journal of American Society Horticultural Science* 130:131-139, 2005.
- CHAMIZO, A. et al. Inoculación de alfalfa con hongos micorrízicos arbusculares y rizobacterias en dos tipos de suelo. *Terra Latinoamericana*, 27(3): 197-205, 2009.
  - DÍAZ F. A. et al. Fertilización biológica y producción de maíz en la región semiárida del norte de Tamaulipas, México. *Agricultura Técnica en México*, 31: 153-163, 2005.
  - “ DÍAZ, F. A. et al. Arbuscular mycorrhiza in sorghum under different agro-technological and environmental management. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4: 215-228, 2013.
  - “ DÍAZ, F. A. et al. Características de suelo entre sorgo fertilizado versus inoculado con micorriza arbuscular después de seis años. *Memoria XXIV Semana Internacional Agronomía FAZ-UJED*. 398-403, 2012.
  - DÍAZ, F. A. y GARZA, C. I. Crecimiento de genotipos de sorgo y cártamo asociados a la colonización micorrízica arbuscular en suelo con baja fertilidad. *Universidad y Ciencia*, 23: 15-20, 2007.
  - DÍAZ F. A. et al. Impacto de inoculantes microbianos en sorgo cultivado bajo déficit de humedad en el suelo. En: . OSWALD, U. (Ed.), *Retos de la Investigación del Agua en México*, pp:273-281, México:CRIM-UNAM, CONACYT, 2011.
  - DÍAZ, F. A. et al. Impacto de labranza e inoculación micorrízica arbuscular sobre la pudrición carbonosa y rendimiento de maíz en condiciones semiáridas. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 31: 257-263, 2008a.
  - DÍAZ, F. A. et al. Productividad del sorgo con inoculación de micorriza arbuscular. *Campo Experimental Río Bravo, INIFAP. Río Bravo, Tamaulipas, México. Folleto No. 18. 21 p.*, 2008b.
  - DÍAZ, M. R. et al. Brassinoesteroides e inoculación de micorriza arbuscular (*Glomus intraradices*) en el crecimiento y producción de sorgo en campo. *Terra Latinoamericana*, 25: 77-83, 2007.
  - FERRERA, C. R. y ALARCÓN, A. Biotecnología de los hongos micorrízicos arbusculares. En: DÍAZ F., A. y MAYEK P., N. (Eds.), *La Biofertilización como Tecnología Sostenible*, pp. 25-38., México: Plaza y Valdés-CONACYT, 2008.
  - FRANCO, R. A. et al. Arbuscular mycorrhizal fungi in chronically petroleum contaminated soils in Mexico and the effects of petroleum hydrocarbons on spore germination. *Journal of Basic Microbiology*, 47: 378-383, 2007.
  - GLICK, B. R. et al. *Biochemical and genetic mechanisms used by plant growth promoting bacteria*. London: Imperial College Press. 267 pp., 1999.
  - HARINIKUMAR, K. M. y BAGYARAJ, D. J. Effect of cropping sequence, fertilizers and farmyard manure on vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in different crops over three consecutive seasons. *Biology and Fertility Soils*, 7: 173-175, 1989.
  - HUNGRIÁ, M. et al. Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yield of maize and wheat in Brazil. *Plant and Soil*, 331: 413-425, 2010.
  - IRÍZAR, G. M. et al. Respuesta de cultivos agrícolas a los biofertilizantes en la región central de México. *Agricultura Técnica en México*, 29: 213-225, 2003.
  - JETIYANON, K. et al. Broad-spectrum protection against several pathogens by PGPR mixtures under field conditions. *Plant Disease*, 87: 1390-1394, 2003.
  - KAYA, C. et al. Mycorrhizal colonization improves fruit yield and water use efficiency in watermelon (*Citrullus lanatus*) grown under well-watered and water-stressed conditions. *Plant and Soil*, 253: 287-292, 2003.
  - KLIRONOMOS, J. M. Variation in plant response to native and exotic arbuscular mycorrhizal fungi. *Ecology*, 84: 2292-2301, 2003.
  - LOREDO, O. C. et al. Bacterias promotoras del crecimiento vegetal asociadas con gramíneas: Una revisión. *Terra Latinoamericana*, 22: 225-239, 2004.
  - MADER, P. et al. Arbuscular mycorrhizae in long-term field trial comparing low-input (organic, biological) and high-input (conventional) farming systems in a crop rotation. *Biology and Fertility Soils*, 31: 150-156, 2000.
  - MAGALLANES, E. A. et al. Rentabilidad del sorgo mediante la inoculación de simbioses en suelo con y sin fertilización química. En: DÍAZ F., A. y MAYEK P., N. (Eds.), *La Biofertilización como Tecnología Sostenible*, pp. 224-227, México: Plaza y Valdés-CONACYT, 2008.
  - MANDAVA, N. Plant growth-promoting brassinosteroids. *Annals Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 39: 23-52, 1988.
  - MEHRABAN, A. et al. Effect of vesicular-arbuscular mycorrhiza on yield of sorghum cultivars. *Journal Food Agriculture and Environment*, 7: 461-463, 2009.
  - MENDOZA, H. A. et al. Aislamiento, selección y evaluación de un inoculante basado en cepas nativas de *Azospirillum* en el norte de Tamaulipas. En: A DÍAZ F y N MAYEK P (Eds), *La Biofertilización como Tecnología Sostenible*, pp. 137-152, México: Plaza y Valdés/CONACYT, 2008.
  - MONTERO, L. et al. Efectividad de biofertilizantes micorrízicos en el rendimiento de pimiento (*Capsicum annuum*) cultivado en diferentes condiciones de humedad del sustrato. *Cultivos Tropicales*, 31: 11-14, 2010.
  - NAUEN, R. et al. Thiamethoxam is a neonicotinoid precursor converted to clothianidin in insects and plants. *Pesticide and Biochemical Physiology*, 76: 55-69, 2003.
  - NDIAYE, E. L. et al. Integrative biological indicators for detecting change in soil quality. *American Journal of Alternative Agriculture*, 15: 26-36, 2000.



- OLALDE, P. V. y SERRATOS, R. Biofertilizantes: Micorrizas y bacterias promotoras de crecimiento. En: A DÍAZ F y N MAYEK P (Eds.), *La Biofertilización como Tecnología Sostenible*, pp: 55-66, México: Plaza y Valdés/CONACYT, 2008.
  - OSONUBI, O. 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, 1994.
  - PEÑA DEL RÍO, A. et al. Aislamiento e identificación de hongos micorrízicos arbusculares de la región semiárida de Tamaulipas, México. *Libro II Foro Internacional Biológico Agropecuario*. Universidad Veracruzana, Tuxpan, Veracruz, pp: 468-476, 2007.
  - PLENCHETTE, C. et al. Managing arbuscular mycorrhizal fungi in cropping systems. *Canadian Journal of Plant Science*, 85: 31-40, 2005.
  - ROBLES, C. y BAERA, M. J. Respuesta de la planta y del suelo a inoculación con *Glomus intraradices* y rizobacterias en maíz en cultivo intensivo. *Terra Latinoamericana* 22: 59-69, 2004.
  - RODRÍGUEZ, Y. Y. et al. Estudio comparativo de seis cepas de hongos micorrízicos arbusculares en su interacción con el tomate (*Lycopersicon esculentum*). *Ecología Aplicada*, 3: 162-171, 2004.
  - ROLDÁN, A. et al. Soil sustainability indicators following conservation tillage practices under subtropical maize and bean crops. *Soil Tillage Research*, 93: 273-282, 2006.
  - RUSSO, M. V. y PERKINS, V. P. Yield and nutrient content of bell pepper pods from plants developed from seedlings inoculated, or not, with microorganism. *HortScience*, 45: 352-358, 2010.
  - SAINI, V. K. et al. Comparison of crop yield, soil microbial C, N and P, N-fixation, nodulation and mycorrhizal infection in inoculated and non-inoculated sorghum and chickpea crops. *Field Crops Research*, 89: 39-47, 2004.
  - SAIRAM, R. K. Effect of homobrassinolide application on plant metabolism and grain yield under irrigated and moisture-stress conditions of two wheat varieties. *Journal of Plant Growth Regulators*, 14: 173-181, 1994.
  - SALINAS, G. J. et al. Efectos de labranza y biofertilización en propiedades del suelo que afectan a la sostenibilidad de la producción de frijol. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 5: 30-34, 2005.
  - SARING, S. et al. Improvement of the water status and yield of field-grown grain sorghum (*Sorghum bicolor*) by inoculation with *Azospirillum brasilense*. *Journal of Agriculture Science*, 110: 271-277, 1988.
  - SASSE, J. Recent progress in brassinosteroids research. *Physiological Plant*, 100: 697-701, 1997.
  - SHARMA, S. et al. Impact of application of biofertilizers on soil structure and resident microbial community structure and function. En: MAHESHWARI, D.K. (Ed.), *Bacteria in Agrobiolgy: Plant Probiotics*, pp.65-79, New Delhi: Hauz Khas, 2012.
  - SINGH, M. y TILAK, K. Inoculation of sorghum (*Sorghum bicolor*) with *Glomus versiforme* under field conditions. *Tropical Agriculture*, 69: 323-326, 1992.
  - SMITH, S. E. y READ, D. J. *Mycorrhizal Symbiosis*. 3 ed., New York, USA: Academic Press, 2008.
  - SYLVIA, D. M. et al. Field response of maize to VAM fungus and water management. *Agronomy Journal*, 25: 193-198, 1993.
  - TARAFDAR, J. C. y RAO, V. A. Response of arid legumes to VAM fungal inoculation. *Symbiosis*, 22: 265-274, 1997.
  - TCHABI, A. et al. Efficacy of indigenous arbuscular mycorrhizal fungi for promoting white yeam (*Dioscorea rotundata*) growth in West Africa. *Applied Soil Ecology*, 45: 92-100, 2010.
  - UTRIA, B. et al. Respuesta de plántulas de café a la aplicación de brasinosteroides en diferentes concentraciones y épocas de su desarrollo. *Revista Chapingo Serie Hortícola*, 10: 11-14, 2004.
  - VARELA, L. y TREJO, D. Los hongos micorrizógenos arbusculares como componentes de la biodiversidad del suelo en México. *Acta Zoológica Mexicana*, 1: 39-51, 2001.
  - VASSEY, J. K. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil*, 255: 571-586, 2003.
  - VELASCO, U. L. et al. Vermicomposta, micorriza arbuscular y *Azospirillum brasilense* en tomate de cáscara. *Terra*, 19: 241-248, 2001.
  - VIVAS, L. et al. Insecticide thiamethoxam 25 % for the control of the sugarcane borer in rice. *Agronomía Tropical*, 59: 89-98, 2009.
  - WANI, S. P. y LEE, K. Biofertilizers for sustaining cereal crops production. En: KANNAIYAN, S. (Ed.), *Biotechnology of Biofertilizers*, pp: 50-64, India: Narosa Publishing, 2002.
  - WIDADA, J. et al. The interactive effects of arbuscular mycorrhizal fungi and rhizobacteria on the growth and nutrients uptake of sorghum in acid soil. En: VELÁZQUEZ, E. Y RODRÍGUEZ, B. (Eds.), *First International Meeting on Microbial Phosphate Solubilization*, pp. 173-177, 2007.
  - WILLIAMS, A. H. et al. Sorgo. En: RODRÍGUEZ DEL BOSQUE, L. (Ed.), *Campo Experimental Río Bravo: 50 Años de Investigación Agropecuaria en el Norte de Tamaulipas*. Libro Técnico No. 1. Río Bravo, Tamaulipas, México: Campo Experimental Río Bravo, INIFAP. 287 pp., 2006.
- De páginas electrónicas**
- ADESEMOYE, A. O. et al. Plant growth promoting rhizobacteria allow reduced application rates of chemical fertilizers. *Microbiological Ecology*, 2009. doi: 10.1007/s00248-009-9531-y.
  - GOBIERNO DEL ESTADO DE TAMAULIPAS De: [www.agrotamaulipas.gob.mx/información/sector/agricultura.htm](http://www.agrotamaulipas.gob.mx/información/sector/agricultura.htm). 2010. ene. 2010.