

Características de planta y productividad de sorgo con dosis de micorriza arbuscular en Tamaulipas

Plant characteristics and productivity of sorghum with doses of arbuscular mycorrhiza in Tamaulipas

Arturo Díaz-Franco; Florencia Alejandro-Allende*; Flor Elena Ortiz-Cháirez

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Río Bravo, km. 61 Carretera Matamoros-Reynosa. Río Bravo, Tamaulipas, México.

*Autor para correspondencia: alejandra.florencia@inifap.gob.mx tel: 899 166 9967, 01 55 3871 8700

Resumen

La inoculación de la semilla de sorgo con el HMA *Rhizophagus intraradices* (micorriza INIFAP) tiene un impacto positivo en la productividad agrícola en las condiciones áridas y semiáridas del estado de Tamaulipas. Las dosis utilizadas por el productor son heterogéneas, lo que puede traer consigo una práctica ineficiente. El objetivo del trabajo fue evaluar la efectividad y rentabilidad de la producción de sorgo inoculado a diferentes dosis de micorriza INIFAP, comparado con el testigo o el del productor. Tres parcelas experimentales de sorgo (1-2 ha) se establecieron en terrenos de productores de diferentes localidades. La semilla utilizada (7-8 kg·ha⁻¹) se inoculó con micorriza INIFAP a dosis de 250, 500 y 750 g·ha⁻¹. Las variables índice de clorofila (SPAD), biomásas foliar y radical, longitud de la panoja, rendimiento y costo-beneficio fueron estimadas. Los valores de las variables de planta, rendimiento y rentabilidad de sorgo fueron mayores cuando se inocularon las semillas de sorgo que en los casos testigo. Los resultados indican que la inoculación con micorriza INIFAP en dosis de 500 g·ha⁻¹ conlleva a maximizar el rendimiento de grano de sorgo y la relación costo-beneficio.

Palabras clave: *Rhizophagus intraradices*, *Sorghum bicolor*, rendimiento, rentabilidad.

Abstract

Sorghum seed inoculation with the arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) *Rhizophagus intraradices* (mycorrhiza INIFAP) has positive impact on the agricultural productivity in arid and semi-arid areas of Tamaulipas. Inoculant doses used by farmers are heterogeneous, so inoculation may be an inefficient practice. The objective of this study was to evaluate the effects and profitability of sorghum production under the basis of different doses of mycorrhiza INIFAP and controls. Three commercial plots of sorghum were established (1-2 ha) on farmers' fields in different locations. The seed used (7-8 kg·ha⁻¹) was inoculated with mycorrhiza INIFAP at doses of 250, 500 and 750 g·ha⁻¹. Index of chlorophyll (SPAD), foliar and radical biomass, length of the panicle, yield and cost-benefit were estimated. The variable values of plant, yield and profitability of sorghum were higher when sorghum seeds were inoculated compared to the control. The results show that inoculation with INIFAP mycorrhiza in doses of 500 g·ha⁻¹ leads to maximizing sorghum grain yield and cost-benefit ratio.

Keywords: *Rhizophagus intraradices*, *Sorghum bicolor*, yield, profitability.

Introducción

El norte del estado de Tamaulipas, México es una planicie árida y semiárida, donde el sorgo (*Sorghum bicolor*) es el cultivo de mayor importancia ya que es sembrado anualmente en una superficie de 600 a 700 mil hectáreas, principalmente de secano, con un rendimiento medio de grano de 2.4 t·ha⁻¹ (Williams, Montes-García, & Pecina, 2006). La poca productividad, entre otras causas, se ha derivado de la progresiva degradación de los agroecosistemas, lo cual ha originado graves problemas de erosión y desertificación (Díaz-Moreno, Díaz-Franco, Garza & Ramírez-De León, 2007). En general, los suelos de esa región son pobres en materia orgánica y deficientes en nitrógeno y fósforo (Garza-Cano, Pecina-Quintero, Díaz-Franco, Williams-Alanis, & Ramírez-De León, 2005; Salinas, Alvarado-Carrillo, & Sánchez, 2006). La rentabilidad de la producción en esa región se encuentra en una situación crítica en cuanto a la relación costo-beneficio (Salinas-García, 2006). La fertilización química es una práctica de costo elevado en la producción de sorgo de riego y, por lo mismo, es poco común su uso en condiciones de secano (Salinas-García, 2006). Por lo tanto, la implementación de opciones económicas, sustentables y efectivas son necesarias para coadyuvar a la nutrición de las plantas para su desarrollo, aumentar los rendimientos, rentabilidad y competitividad de la producción del sorgo (Williams et al., 2006; Díaz-Franco, Salinas-García, Peña del Río, & Montes-García, 2008). Ante la necesidad de un manejo sostenible de los sistemas agrícolas, la importancia del papel de los microorganismos se ha incrementado de manera prominente dentro de la conservación y la fertilidad de los suelos (Sharma, Gupta, Dugar, & Srivastava, 2012; Berruti, Lumini, Belastrini, & Bianciotto, 2016). Entonces, la preparación de biofertilizantes o inoculantes microbianos que tengan efectividad sobre las plantas y en la agroecología, particularmente aquellos con viabilidad económica, es importante. La inoculación con hongos micorrízicos arbusculares (HMA) ha tenido beneficios en la productividad de diversos cultivos (Al-Karaki & Clark, 1998; Kaya, Higgs, Kirmak, & Tas, 2003; Al-Karaki, McMichael, & Zak, 2004; Díaz-Franco et al., 2007). El impacto de la colonización de los HMA se ha manifestado en un mejor aprovechamiento de agua y de los nutrientes inmóviles del suelo como fósforo, zinc y cobre, en el incremento de longitud y profundidad radical y el desarrollo de hifas externas. Además, los HMA han favorecido a la acción protectora contra algunos patógenos del suelo (Smith & Read, 2008; Jeffries, Gianinazzi, Perotto, Turnau, & Baera, 2003; Berruti et al., 2016). Muchos inoculantes micorrizógenos son preparados a partir de cepas introducidas o extranjeras, aunque actualmente se le ha dado énfasis a la utilización de cepas nativas que puedan ser reintroducidas a través de su inoculación a cultivos, con mayor capacidad de

adaptación y efectividad en sitios y climas específicos (Plenchette, Clermont-Dauphin, Maynard, & Fortin, 2005; Tchabi et al., 2010).

En el estado de Tamaulipas, la inoculación de semilla de sorgo y maíz (*Zea mays*) con el HMA *Rhizophagus intraradices* (micorriza INIFAP) tiene impacto en la productividad en diferentes agroambientes dentro del estado (Carranco-Anaya, 2011) y en otros cultivos de regiones áridas y semiáridas (Amado, Ávila-Marioni, & Ramírez, 2012). Esta cepa proviene de colectas realizadas en regiones semiáridas del estado y aislada a través de plantas trampa (Peña del Río, Díaz-Franco, & Montes-García, 2007). El HMA es propagado de manera masiva en el Campo Experimental General Terán, INIFAP, en sustrato compuesto de suelo y raíces colonizadas con un nivel de inoculo de ≥ 40 esporas por gramo. En función de esa cantidad de inoculo se ha determinado que la dosis del inoculante sugerida es de 0.5 kg·ha⁻¹ para sorgo y maíz (Díaz-Franco, 2008). El manejo a escala comercial de la inoculación de la semilla se realiza mediante mezcladoras manuales o electromecánicas (Díaz-Franco et al., 2008). No obstante, y a criterio de los productores de sorgo, las dosis del inoculante utilizado son heterogéneas, lo que puede traer consigo una práctica ineficiente. Por lo anterior, el objetivo del trabajo consistió en evaluar la efectividad de la inoculación con diferentes dosis del hongo micorrízico a través de las características de la planta, rendimiento y rentabilidad de la producción de sorgo. Esta práctica representa un componente biotecnológico que incrementa la productividad del sorgo en condiciones áridas y semiáridas del norte del estado de Tamaulipas.

Materiales y métodos

El estudio se desarrolló en el ciclo otoño-invierno 2010 en el norte del estado de Tamaulipas, donde tres parcelas de sorgo fueron establecidas en terrenos de productores de diferentes localidades. Previo a la siembra, muestreos de suelo a la profundidad 0-30 cm se hicieron en cada localidad, para determinar las propiedades químicas y físicas (Cuadro 1). Los análisis de suelo se realizaron en el Laboratorio de Agua-Suelo y Planta del Campo Experimental Río Bravo, INIFAP. El pH se determinó en solución acuosa (1:2); la conductividad eléctrica (C.E.) del extracto de saturación se estimó con un potenciómetro; la materia orgánica (M.O.) se midió con dicromato de potasio; el NO₃-N se determinó mediante ácido salicílico; el P disponible se midió con el método de Olsen; y el K intercambiable con acetato de amonio (Plenecassangne, Romero, & López, 1999).

La siembra mecanizada del híbrido de sorgo, así como otras prácticas agronómicas, fueron realizadas por el productor. Las localidades fueron las siguientes: 1) Brecha 109 N/12, Río Bravo, Tamps. (25° 50' 11" N, 98°

Cuadro 1. Características químicas y físicas de los suelos en las localidades del estudio.

Localidad	pH	C.E. (dS·m ⁻¹)	M.O. (%)	N-NO ₃ (mg·kg ⁻¹)	P (mg·kg ⁻¹)	K (mg·kg ⁻¹)	Textura
Brecha 109 N/12	7.15	1.01	1.7	6.76	5.0	1219	Franco arenoso
Brecha 109/0	7.61	1.32	1.85	7.57	8.57	807	Franco
'El Vaso', Ejido Villa Cárdenas	8.50	1.07	2.28	15.7	9.45	888	Franco

01' 51" O, 25 msnm); el híbrido 'D-47' fue sembrado el 10 de febrero, en suelo fertilizado con una dosis de 80 kg·ha⁻¹ de N y en condiciones de riego (solo un riego fue aplicado por restricciones impuestas por la Comisión Nacional del Agua); 2) Brecha 109 N/0, Río Bravo, Tamps. (25° 40' 42" N, 98° 02' 09" O, 23 msnm); el híbrido 'P-82G66' fue sembrado el 15 de marzo en suelo fertilizado con 80 y 40 kg·ha⁻¹ de N y P, respectivamente, en condiciones de riego (solo un riego fue aplicado por restricciones impuestas por la Comisión Nacional del Agua); y 3) Localidad "El Vaso", Ejido Villa Cárdenas, Matamoros, Tamps. (25° 53' 57" N, 97° 48' 49" O, 20 msnm); el híbrido 'D-47' fue sembrado el 8 de marzo en suelo no fertilizado en condición de secano.

En todos los casos la semilla utilizada (7-8 kg·ha⁻¹) se inoculó con la micorriza INIFAP *Rhizophagus intraradices* (Sin. *Glomus intraradices*) a dosis de 250, 500 y 750 g·ha⁻¹ días antes de la siembra. La mezcla se hizo en un trompo electromecánico con 60 ml de carboxi metil celulosa como adherente en 500 mL de agua. Posteriormente, la semilla se extendió sobre una lona en la sombra para secarla (Díaz-Franco et al., 2008). Únicamente en la localidad Brecha 109 N/0 se adicionó la dosis de 1,000 g·ha⁻¹. Además, en la Brecha 109/12 el productor utilizó el inoculante comercial Asia, el cual es una combinación de 1 kg de micorriza arbuscular (*R. intraradices*) y 500 g de la rhizobacteria *Azospirillum brasilense* (tratamiento considerado como testigo).

Las parcelas experimentales ocuparon de 1 a 2 ha donde los tratamientos se distribuyeron en franjas con tres repeticiones. En cada tratamiento, cuatro subparcelas de dos surcos de 6 m de longitud se seleccionaron aleatoriamente. De cada subparcela siete plantas se extrajeron con pala para medir algunas variables. Las

variables medidas en el estado de floración fueron: a) índice de clorofila SPAD (n=25) en la parte central de la hoja bandera, con un determinador portátil Minolta SPAD-502; y b) peso seco de biomasa foliar y radical al hacer uso de una estufa a 60 °C durante tres días. En madurez fisiológica las variables fueron: a) longitud de panoja; y b) rendimiento de grano obtenido de panojas cosechadas y trilladas de los dos surcos y ajustado a 14 % de humedad. Los datos obtenidos se analizaron mediante comparaciones con la prueba de t-Student. Además, la rentabilidad se estimó con base en la teoría económica (Samuelson & Nordhaus, 2009): $CT = P_x X$, donde CT son los costos totales de producción, P_x es el precio del insumo o actividad y X la actividad o insumo; $IT = P_y Y$, donde IT son los ingresos totales, P_y es el precio del producto y Y el rendimiento del cultivo. La utilidad bruta es la diferencia entre los ingresos totales y los costos totales de producción. Como indicador económico de rentabilidad se utilizó el beneficio-costo, el cual indica, los beneficios obtenidos por cada peso invertido en la producción mediante la expresión: $B/C = IT/CT$ (Terrones & Sánchez, 2011; Ugalde-Acosta, Tosquy-Valle, López-Salinas, & Francisco-Nicolás, 2011).

Resultados y discusión

En la localidad Brecha 109 N/12, Río Bravo, Tamps. se observó que, con excepción de la longitud de panoja, las variables mostraron diferencias significativas entre los tratamientos. En general los tratamientos sobresalientes en las características de planta fueron la dosis de 750 y 500 g·ha⁻¹ de micorriza INIFAP y el inoculante Asia (testigo utilizado por el productor) Esos tratamientos impactaron de manera favorable a la biomasa foliar y radical seca y el rendimiento de grano (Cuadro 2).

Cuadro 2. Dosis de inoculante micorriza INIFAP y variables de planta de sorgo ('D-47') y rendimiento de grano en la localidad Brecha 109/12, Río Bravo, Tam.

Dosis (g·ha ⁻¹)	Clorofila (SPAD)	Biomasa (g)		Longitud de panoja (cm)	Rendimiento (kg·ha ⁻¹)
		Foliar	Radical		
500	46.3 a*	74.5 a	10.5 a	25.4	4700 a
Asia [§]	44.1 ab	70.0 a	10.3 a	24.4	4678 a
750	45.2 a	63.5 ab	9.7 a	24.0	4611 a
250	43.1 b	46.0 b	6.4 b	23.8	4120 b

[§]Testigo del productor (1 kg de micorriza arbuscular + 500 g de rhizobacteria; *Valores diferenciados mediante t-student.

En la localidad Brecha 109/0, Río Bravo, Tamps., donde se incluyó adicionalmente la dosis de 1,000 g·ha⁻¹, los resultados indicaron que a la variable clorofila SPAD corresponden diferencias no significativas entre tratamientos. En el caso de la biomasa foliar seca, todos los tratamientos superaron al testigo. A las dosis 500, 750 y 1,000 g·ha⁻¹ de micorriza arbuscular corresponden los valores mayores de las variables biomasa radical seca, longitud de panoja y rendimiento de grano (Cuadro 3).

En la condición de secano (localidad 'El Vaso' del Ej. Cárdenas, Matamoros, Tamps.) se observaron diferencias significativas entre tratamientos en todas las variables. Las dosis de 750 y 500 g·ha⁻¹ destacaron porque les corresponden los valores mayores de las variables (Cuadro 4). Es notorio que los valores de índice de clorofila y rendimiento, fueron menores que los correspondientes a las otras localidades (Cuadros 2 y 3), lo cual se puede asociar al efecto del riego que fue aplicado en esos casos.

En general, la inoculación micorrícica promovió mayores valores en las variables de planta e incrementó el rendimiento de grano de sorgo en comparación con las parcelas testigo-productor. Díaz-Franco, Cortinas-Escobar, Garza, Valadez-Gutiérrez y Peña-del Río (2013) determinaron la efectividad de *R. intraradices* inoculado en sorgo en diferentes condiciones de manejo agronómico y ambiente; ellos concluyeron que el HMA incrementó la biomasa radical, longitud

de panoja y rendimiento en 7.6 g, 3.3 cm y 524 kg·ha⁻¹, respectivamente. Lo anterior puede estar asociado a los mecanismos y efectos simbióticos entre estos microorganismos y las plantas. Los HMA juegan un papel destacado en la fertilidad ya que modifican las propiedades químicas del suelo, las cuales están sujetas a las interacciones entre suelo-planta-HMA, lo que da como resultado su capacidad amortiguadora de fertilidad (Baera, 1991). Marschner y Dell (1994) y Morgan, Bending y While (2005) señalaron que, cuando se establece la interacción planta-HMA, el hongo incrementa la asimilación de nutrimentos con aportaciones de hasta 25 % de N, 80 % de P, 10 % de K, 25 % de Zn y 60 % de Cu, entre otros. Además, los HMA promueven el crecimiento vegetal, el cual es inducido por actividad fitohormonal.

El análisis económico demostró mayor rentabilidad de la producción de sorgo con la inoculación de micorriza INIFAP en dosis de 500 g·ha⁻¹ en las tres localidades (Cuadro 5). En la Brecha 109/12, donde no hubo un tratamiento testigo no inoculado, el incremento de la rentabilidad entre la dosis de 500 g·ha⁻¹ y la dosis inferior de 250 g·ha⁻¹ fue de 12 %; en la localidad Brecha 109/0, donde la utilidad bruta del testigo-productor fue negativo (\$-43.20), la rentabilidad se incrementó 39 %; y en el Ejido Cárdenas, la dosis de 500 g·ha⁻¹ superó a la del testigo-productor en 19 % (Cuadro 5). Estos resultados coinciden con los de Díaz-Franco et al. (2013), quienes utilizaron dosis de 500 g·ha⁻¹ de micorriza INIFAP y concluyeron

Cuadro 3. Dosis de inoculante micorriza INIFAP y variables de planta de sorgo ('P-82G66') y rendimiento de grano en la localidad Brecha 109/0, Río Bravo, Tam.

Dosis (g·ha ⁻¹)	Clorofila (SPAD)	Biomasa (g)		Longitud de panoja (cm)	Rendimiento (kg·ha ⁻¹)
		Foliar	Radical		
1000	47.9	64.5 a*	10.3 a	24.2 ab	4779 ab
750	48.5	60.5 a	11.0 a	24.0 ab	4939 a
500	50.3	64.0 a	10.7 a	25.7 a	5041 a
250	48.9	65.5 a	7.5 b	21.2 c	4615 b
Testigo	46.3	41.5 b	6.6 b	21.3 c	3466 c

*Diferencias mediante t-student.

Cuadro 4. Dosis de inoculante micorriza INIFAP y variables de planta de sorgo ('D-47') y rendimiento de grano en la localidad Ej. Cárdenas, Matamoros, Tam.

Dosis (g·ha ⁻¹)	Clorofila (SPAD)	Biomasa (g)		Longitud de panoja (cm)	Rendimiento (kg·ha ⁻¹)
		Foliar	Radical		
750	40.7 a*	56 a	13.4 a	25.0 a	3525 a
500	40.5 a	59 a	12.7 a	26.2 a	3723 a
250	37.0 b	45 ab	11.7 a	21.9 b	3233 b
Testigo	35.6 b	32 b	8.3 b	21.0 b	3006 b

*Diferencias mediante t-student.

Cuadro 5. Relación beneficio-costo (B/C) de la producción de sorgo al considerar dosis diferentes de micorriza INIFAP en tres localidades del norte de Tamaulipas.

Localidad	Dosis (g·ha ⁻¹)	Rendimiento (kg·ha ⁻¹)	Costo de producción (\$)	Utilidad bruta (\$)	Relación B/C
Brecha 109/12, Río Bravo, Tam.	500	4700	8,393.90	3,356.10	1.40
	Asia	4678	8,602.20	3,092.80	1.36
	750	4611	8,395.70	3,131.80	1.37
	250	4120	8,265.00	2,035.00	1.25
Brecha 109/0, Río Bravo, Tam.	1000	4779	9,032.70	2,914.80	1.32
	750	4939	9,044.30	3,303.20	1.37
	500	5041	9,044.90	3,557.60	1.39
	250	4615	8,945.20	2,592.30	1.29
	Testigo	3466	8,708.20	-43.20	1.00
'El Vaso', Ej. Cárdenas, Matamoros, Tam.	750	3525	4,683.70	4,128.80	1.88
	500	3723	4,702.50	4,605.00	1.98
	250	3233	4,590.70	3,491.80	1.76
	Testigo	3006	4,528.80	2,986.20	1.66

Precio medio rural= \$2,500.00·t⁻¹

que la rentabilidad promedio de la producción del sorgo inoculado en diferentes agroambientes fue de 17 % en relación con el sorgo no inoculado.

El estudio corroboró la efectividad agronómica y económica de la inoculación de la semilla de sorgo con el hongo micorrícico, *R. intraradices*, a 500 g·ha⁻¹ como dosis óptima referente. Por lo tanto, el manejo de alguna cantidad diferente del inóculo referido podría tener implicaciones como práctica ineficiente. Plenchette et al. (2005); Berruti et al. (2016) señalaron que, desde el punto de vista práctico, es importante seleccionar bioinoculantes eficientes que aumenten la productividad de los cultivos, procedan de agroecosistemas particulares y puedan ser incorporados como un elemento biotecnológico dentro del modelo agronómico convencional. Debido a la eficiencia que se obtiene con la bioinoculación en la producción agrícola y que además representa un insumo amigable con el ambiente, su uso se ha acrecentado mundialmente. Lo anterior ha sido enfatizado por diferentes autores quienes establecen que comercialmente el empleo de bioinoculantes ha crecido de forma ascendente durante los últimos años y, aunque revisten de gran importancia aquellos que además de tener efectividad en los cultivos, son accesibles económicamente (Vosátka, Albrechtová, & Patten, 2008; Sharma et al., 2012; Berruti et al., 2016).

Los resultados demuestran la eficiencia y óptimo manejo de la inoculación de semilla de sorgo con micorriza INIFAP en dosis de 500 g·ha⁻¹. Esta práctica representa un componente biotecnológico que incrementa la productividad del sorgo en condiciones áridas y semiáridas del norte del estado de Tamaulipas.

Conclusiones

La dosis óptima del inoculante micorrícico INIFAP es de 500 g en la semilla de sorgo utilizada por hectárea en el norte del estado de Tamaulipas, México. Con esa dosis se inducen buenos atributos a la planta y los rendimientos son mayores en condiciones de secano y de riego, con la restricción de solo riego, así como la mejor relación beneficio-costo.

Agradecimientos

Al apoyo del Patronato para la Investigación, Fomento y Sanidad Vegetal de Tamaulipas, por su apoyo a través del proyecto "Manejo agronómico alternativo de micorriza arbuscular: Dosis de micorriza INIFAP en sorgo".

Referencias

- Al-Karaki, G. N., & Clark, R. B. (1998). Growth, mineral acquisition, and water use by mycorrhizal wheat grown under water stress. *Journal of Plant Nutrition*, 21, 263-276. Doi: 10.1080/01904169809365401
- Al-Karaki, G. N., McMichael, B., & Zak, J. (2004). Field response of wheat to arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress. *Mycorrhiza*, 14, 263-269. DOI: 10.1007/s00572-003-0265-2
- Amado, A. J., Ávila, M. M., & Ramírez, V. O. (2012). Micorriza INIFAP y el incremento de la productividad de avena y maíz en el estado de Chihuahua. En: G. Aguado-Santacruz (ed). *Introducción al Uso y Manejo de los Biofertilizantes en la Agricultura*. SAGARPA-INIFAP. México. pp. 269-295.

- Baera, J. M. (1991). Vesicular-arbuscular mycorrhizae as modifiers of soil fertility. *Advances of Soil Science*, 15, 1-40.
- Berruti, A., Lumini, E., Belastrini, R., & Bianciotto, V. (2016). Arbuscular mycorrhizal fungi as natural biofertilizers: Let's benefit from past successes. *Front Microbiology*, 6, 1559. Doi:10.3389/fmicb.2615.01559
- Carranco-Anaya, J. (2011). Uso de micorriza (*Glomus intraradices*) en cultivos de sorgo y maíz. Programa Elaboración de Casos de Éxito de Innovación en el Sector Agroalimentario. México: Instituto de Cooperación para la Agricultura. México. 54 p.
- Díaz-Franco, A. (2008). Inoculación de la semilla con *Glomus intraradices*. Ficha Tecnológica del Sistema Producto Sorgo. INIFAP. México. 2 p.
- Díaz-Franco, A., Cortinas-Escobar, H., Garza-Caballero, M., Valadez-Gutiérrez, J., & Peña-del Río, M. A. (2013). Arbuscular mycorrhiza in sorghum under different agro-technological and environmental management. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(2), 215-228.
- Díaz-Franco, A., Salinas, G. J., Peña del Río, M. A., & Montes, G. N. (2008). Productividad del sorgo con inoculación de micorriza arbuscular. *Campo Experimental Río Bravo, INIFAP. Folleto Técnico No. 18. Río Bravo, Tam., México*. 21 p.
- Díaz-Moreno, R., Díaz-Franco, A., Garza-Cano, I., & Ramírez-De León, A. (2007). Brassinoesteroides e inoculación con micorriza arbuscular (*Glomus intraradices*) en el crecimiento y la producción de sorgo en campo. *Terra Latinoamericana*, 25, 77-83.
- Garza-Cano, I., Pecina-Quintero, V., Díaz-Franco, A., Williams-Alanís, H., & Ramírez-De León, A. (2005). Sorgo cultivado con biofertilizantes, fitohormonas y fósforo inorgánico. *Terra Latinoamericana*, 23(4), 581-586.
- Jeffries, P., Gianinazzi, S., Perotto, S., Turnau, K., & Baera, J. (2003). The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility. *Biology and Fertility Soils*, 37(1), 1-16. Doi: 10.1007/s00374-002-0546-5
- Kaya, C., Higgs, D., Kirmak, H., & Tas, I. (2003). 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(2), 287-292.
- Marschner, H., & Dell, B. (1994). Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant and Soil*, 159, 89-102. Doi: 10.1007/bf00000098
- Morgan, J. A., Bending, G. D., & White, P. J. (2005). Biological cost and benefits to plant-microbe interactions in the rhizosphere. *Journal of Experimental Botany*, 56, 1729-1739. Doi: 10.1093/jxb/eri205
- Peña del Río, M. A., Díaz-Franco, A., & Montes-García, N. (2007). Aislamiento e identificación de hongos micorrízicos arbusculares de la región semiárida de Tamaulipas. Libro II Foro Internacional Biológico Agropecuario. Universidad Veracruzana. México. pp. 468-476.
- Plenchette, C., Clermont-Dauphin, C., Maynard, J. M., & Fortin, J. A. (2005). Managing arbuscular mycorrhizal fungi in cropping systems. *Canadian Journal of Plant Science* 85(1), 31-40. Doi: 10.4141/p03-159
- Plenecassangne, A., Romero, F. E., & López, B. C. (1999). Manual de laboratorio para análisis de suelo, planta y agua. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Gómez Palacio Durango, México. 236 p.
- Salinas-García, J. (2006). Labranza para la conservación de sorgo de riego y temporal en el norte de Tamaulipas. *Campo Experimental Río Bravo, INIFAP. Publ. Especial 25. Río Bravo, Tam., México*. 47 p.
- Salinas-García, J., Alvarado-Carrillo, M., & Sánchez-De la Cruz, R. (2006). Suelo y agua. En: Rodríguez L. (ed.). *Campo Experimental Río Bravo: 50 años de la Investigación Agropecuaria en el Norte de Tamaulipas, Historias, Logros y Retos. Campo Experimental Río Bravo, INIFAP. Río Bravo, Tam., México*. pp. 147-162.
- Samuelson, P. A., & Nordhaus, W. D. (2009). *Economía* (19a ed.). McGraw-Hill. Madrid, España.
- Sharma S., Gupta R., Dugar G., & Srivastava, A. (2012). Impact of application of biofertilizers on soil structure and resident microbial community structure and function. In Maheshwari D. K. (ed.), *Bacteria in Agrobiolgy: Plant Probiotics*. Springer, USA. pp. 65-79.
- Smith, G. S., & Read, D. J. (2008). *Mycorrhizal Symbiosis* (3a ed.). Academic Press. USA.
- Terrones, C. A., & Sánchez, T. Y. (2011). Análisis de rentabilidad económica de la producción de jitomate bajo invernadero en Acaxochitlán, Hidalgo. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 29, 752-761.
- Tchabi, A., Coyne, D., Hountondji, F., Lawouin, L., Wiemken, A., & Oehl, F. (2010). Efficacy of indigenous arbuscular mycorrhizal fungi for promoting white yam (*Dioscorea rotundata*) growth in West Africa. *Applied of Soil Ecology*, 45(2), 92-100. Doi: 10.1016/j.apsoil.2010.03.001
- Ugalde-Acosta, F., Tosquy-Valle, O., López-Salinas, E., & Francisco-Nicolás, N. (2011). Productividad y rentabilidad del cultivo de frijol con fertirriego en Veracruz, México. *Agronomía Mesoamericana*, 22(1), 29-36.
- Vosátka, M., Albrechtová, J., & Patten, R. (2008). The international market development for mycorrhizal technology. *Mycorrhiza*, 18, 419-438.
- Williams, A. H., Montes, G. N., & Pecina, Q. V. (2006). Sorgo. En: Rodríguez L. (ed.). *Campo Experimental Río Bravo: 50 años de la Investigación Agropecuaria en el Norte de Tamaulipas, Historias, Logros y Retos. Campo Experimental Río Bravo, INIFAP. Río Bravo, Tam., México*. pp. 32-54.