

Glomus intraradices Y *Azospirillum brasilense* EN TRIGO BAJO DOS REGÍMENES DE HUMEDAD EN EL SUELO

Glomus intraradices and *Azospirillum brasilense* in wheat grown under two regimes of soil humidity

R Sánchez de la Cruz, A Díaz-Franco ✉, V Pecina-Quintero, I Garza-Cano, J Loera-Gallardo

(RSC)(ADF)(VPQ)(IGC)(JLG) Campo Experimental Río Bravo, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Carretera Matamoros-Reynosa km 61/Apartado Postal 172, Río Bravo 88900, Tamaulipas, México.
diaz.arturo@inifap.gob.mx

Nota científica recibida: 14 de noviembre de 2006, **aceptada:** 3 de julio de 2008

RESUMEN. Para conocer la influencia del hongo micorrízico arbuscular *Glomus intraradices* (G) y/o de la rizobacteria promotora de crecimiento vegetal *Azospirillum brasilense* (A) en trigo (var. 'Sauteña F-01'), se establecieron experimentos en invernadero y en campo. En invernadero, la inoculación independiente de G ó A, incrementó la altura de planta, la biomasa foliar fresca y seca, y la biomasa radical; la colonización micorrízica aumentó en todos los tratamientos con microsimbiontes. En campo y en dos regímenes de humedad (temporal y con un riego de auxilio), los microsimbiontes no influyeron en las características de planta, la colonización micorrízica, el rendimiento o en la calidad de grano. Los resultados de campo indicaron que solo existió respuesta del trigo a la aplicación de un riego de auxilio.

Palabras clave: *Triticum aestivum*, crecimiento, rendimiento de grano, microorganismos benéficos.

ABSTRACT. Greenhouse and field studies were conducted in order to determine the influence of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* (G) and/or the plant growth promoting rizobacterium *Azospirillum brasilense* (A) on the wheat variety 'Sauteña F-01'. The independent inoculation of G or A in the greenhouse increased plant height, fresh and dry leaf biomass, and root biomass. Mycorrhizal colonisation increased in all treatments with microsymbionts. These had no effect on the characteristics of the plants, mycorrhizal colonisation, yield or grain quality, both in the field and under two humidity regimes (rain-fed and with irrigation). The field results indicated that wheat responded only when irrigation was applied.

Key words: *Triticum aestivum*, growth, grain yield, beneficial microorganisms.

INTRODUCCIÓN

En la región semiárida del norte de Tamaulipas, México, la producción agrícola se ha tornado crítica debido a los largos periodos de sequía y su consecuente restricción de agua para las áreas de irrigación (Díaz FA, Alvarado CM, Cantú AM, Garza CI 2005. Agric. Téc. Méx. 31: 153-163; Díaz FA, Ortegón MA, Garza CI 2006. Rev. Fitotec. Mex. 29: 175-180), donde la Comisión Nacional del Agua ha delimitado a un sólo riego de auxilio para la agricultura de esa región. El trigo (*Triticum aestivum* L.) es un cultivo de invierno tolerante a la sequía, que ha sido considerado como una alternativa pa-

ra diversificar la agricultura regional, principalmente de temporal, donde el sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) se ha constituido como un monocultivo durante 40 años (Sánchez de la Cruz R, Rodríguez CE 2004. Sauteña F-01: Trigo harinero para Tamaulipas y Nuevo León. INIFAP. Folleto Técnico No. 27; Sánchez de la Cruz R 2006. Trigo. In: Rodríguez DL (ed) Campo Experimental Río Bravo: 50 Años de Investigación Agropecuaria en el Norte de Tamaulipas. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Libro Técnico No. 1).

Dentro de los procesos en la producción agrícola sostenible, se ha dedicado especial interés al

uso de microorganismos benéficos del suelo, que mediante la actividad simbiótica inducen a mejorar la nutrición de las plantas, coadyuvan a tolerar condiciones adversas de producción y consecuentemente promueven el crecimiento y la producción de los cultivos; por lo que han sido considerados como agentes de fertilización biológica o biofertilizantes. Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y la rizobacteria promotora de crecimiento vegetal (RPCV) del género *Azospirillum*, son de los microorganismos benéficos más estudiados (Alarcón A, Ferrera-Cerrato R 2000. *Agric. Téc. Méx.* 26: 191-203; Loredó OC, López RL, Espinosa VD 2004. *Terra Latinoam.* 22: 225-239). Su uso en regiones semiáridas es de particular importancia para soportar los efectos del estrés hídrico en los cultivos.

La colonización micorrízica radical por los HMA ha demostrado incrementos de productividad de diversos cultivos en suelos con estrés hídrico (Sylvia DM, Hammond LC, Bennett JM, Hass H, Linda HB 1993. *Agron. J.* 85: 193-198; Kaya C, Higgs D, Kirnak H, Tas I 2003. *Plant Soil* 253: 287-292; Al-Karaki G, McMichael B, Zak J 2004. *Mycorrhiza* 14: 263-269). La promoción en la productividad de plantas con HMA es atribuida al mejor aprovechamiento de los nutrientes inmóviles del suelo como fósforo, zinc y cobre. También, la colonización de HMA puede influir en la resistencia a sequía ya que provocan cambios en la elasticidad de la hoja (Augé RM, Stodola AJ, Ebel RC, Duan X 1995. *J. Exp. Bot.* 46: 297-307), al incrementar su turgencia y los potenciales de agua, al moderar la apertura estomatal y la transpiración (Augé RM 2004. *Can. J. Soil Sci.* 84: 373-381), así como al incrementar la longitud y profundidad radical, y la proliferación de hifas (González CM, Gutiérrez CM, Wright S 2004. *Terra Latinoam.* 22: 507-514).

La RPCV *Azospirillum brasilense* Terrand, Krieg et Dobereiner, ha incrementado la productividad de diversos cultivos en condiciones de temporal (Irizar GM, Vargas P, Garza D, Tut C, Rojas M, Trujillo A, García R, Aguirre D, Martínez J, Alvarado S, Grageda O, Valero J, Aguirre J 2003. *Agric. Téc. Méx.* 29: 213-225; Mendoza HA, Cruz MA, Hernández JC 2004. Aislamiento, selección, producción, y evaluación de un inoculante basado en cepas nativas de *Azospirillum* en el norte de Tamaulipas. *In: Díaz FA, Mayek PN, Mendoza HA, Maldonado MN (eds) Memoria Simposio de Biofertilización. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias e Instituto Politécnico Nacional; Díaz FA, Alvarado CM, Cantú AM, Garza CI 2005. Agric. Téc. Méx.* 31: 153-163).

La rizobacteria *A. brasilense* posee la capacidad de fijar N₂, producir fitohormonas, sideróforos, solubilizar el fósforo y promover la síntesis de enzimas que a la vez regulan los niveles de fitohormonas (Loredó OC, López RL, Espinosa VD 2004. *Terra Latinoam.* 22: 225-239). En sorgo de temporal, la inoculación con el HMA *Glomus intraradices* Schenck et Smith, o la rizobacteria *A. brasilense*, incrementaron el rendimiento de grano y la rentabilidad de la producción (Mendoza HA, Cruz MA, Hernández JC 2004. Aislamiento, selección, producción, y evaluación de un inoculante basado en cepas nativas de *Azospirillum* en el norte de Tamaulipas. *In: Díaz FA, Mayek PN, Mendoza HA, Maldonado MN (eds) Memoria Simposio de Biofertilización. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias e Instituto Politécnico Nacional; Díaz MR, Díaz FA., Garza CI, Ramírez A 2007. Terra Latinoam.* 25: 77-83). Por lo que el propósito del presente estudio fue el de evaluar el efecto de la inoculación de *G. intraradices* y *A. brasilense* en el crecimiento del trigo en invernadero y la respuestas en características de planta y rendimiento en condiciones de temporal y de riego restringido.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localidad y características de suelo

Los experimentos se establecieron en el Campo Experimental Río Bravo (CERIB), del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Río Bravo, Tamaulipas, México (25° 57' N, 98° 01' O, 25 msnm), en condiciones de invernadero y de campo. Las características de los suelos en invernadero y campo, respectivamente fueron: pH 7.9 - 8.0, conductividad eléctrica 0.9 - 1.1 dS m⁻¹, materia orgánica 1.8 - 1.9%, N 11.0 - 12.8 mg kg⁻¹, P 10.7 - 10.2 mg kg⁻¹, K 386 - 463 mg kg⁻¹ y textura arcillosa (Anónimo 2002. NOM-021.

Diario Oficial, martes 31 de diciembre). Además se registraron las precipitaciones durante el desarrollo del cultivo.

Microsimbiontes utilizados

Los microsimbiontes utilizados fueron las cepas regionales del HMA *Glomus intraradices* y la rizobacteria *A. brasilense*, ambos son inoculantes comerciales. El primero es propagado en el Campo Experimental General Terán del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, General Terán, Nuevo León, mediante el sistema de camas reproductoras (Durán PA, Aguirre MJ, González CG, Peña RM, Schonhoven EV 2001. Producción *in vitro* de micorriza arbuscular *Glomus intraradices* con *Brachiaria bryzantha* como hospedero en camas reproductoras. INIFAP. Folleto Técnico No. 29) y utilizando como hospedero el pasto Sudán *Sorghum sudanense* (Piper) Stapf. *Brachiaria bryzantha* fue renombrada como *Urochloa bryzantha* (C. Hochstetter ex A. Rich.) R. Webster. El sustrato triturado obtenido al final de la producción del HMA, contuvo una mezcla de raíces (con 75 % de colonización micorrízica) y suelo con no menos de 500 esporas g⁻¹. El HMA se inoculó a la semilla de trigo a razón de 1 kg de sustrato micorrízico en 20 kg de semilla, mezcla hecha con 0.5 L de carboxi metil celulosa como adherente y 0.5 L de agua. La cepa de la RPCV *A. brasilense* fue CBG-497, del Centro de Biotecnología Genómica, del Instituto Politécnico Nacional, Reynosa, Tamaulipas, preparada en turba y con un inóculo no menor de 1x10⁶ UFC. La inoculación se hizo en la semilla de trigo a razón de 0.4 kg de turba por 20 kg de semilla (Irizar GM, Vargas P, Garza D, Tut C, Rojas M, Trujillo A, García R, Aguirre D, Martínez J, Alvarado S, Grageda O, Valero J, Aguirre J 2003. Agric. Téc. Méx. 29: 213-225; Mendoza HA, Cruz MA, Hernández JC 2004. Aislamiento, selección, producción, y evaluación de un inoculante basado en cepas nativas de *Azospirillum* en el norte de Tamaulipas. In: Díaz FA, Mayek PN, Mendoza HA, Maldonado MN (eds) Memoria Simposio de Biofertilización. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias e Instituto Politécnico Nacional).

Manejo experimental

Experimento en invernadero

El 21 de enero de 2003 se sembró la variedad de trigo 'Sauteña F-01', la cual es usada comúnmente en la región. El suelo sin esterilizar se utilizó como sustrato en macetas de 15 cm de diámetro. Los tratamientos evaluados fueron: a) semilla inoculada con *G. intraradices* (G), b) semilla inoculada con *A. brasilense* (A), c) inoculación combinada G + A y testigo absoluto. La unidad experimental fue una maceta con 15 a 17 plantas. Las plantas se rrigaron regularmente una vez por semana.

Experimentos en campo

Dos experimentos adyacentes en campo fueron establecidos, uno en condiciones de temporal o secano y otro que llevó riego restringido (un riego de auxilio). En ambos experimentos se utilizó la variedad de trigo 'Sauteña-F-10'. La siembra se realizó el 27 de noviembre de 2003 en un suelo con humedad residual pluvial. Los tratamientos aplicados también fueron los mismos en ambos experimentos: a) semilla inoculada con *G. intraradices* (G), b) semilla inoculada con *A. brasilense* (A), c) inoculación de la semilla con la combinación G + A y d) testigo absoluto.

La siembra fue manual, a una profundidad aproximada de 5 cm y la densidad de plantas fue de 140 - 160 plantas m⁻². Las parcelas fueron de cuatro surcos separados por 0.20 m y de 4 m de longitud. Las prácticas fitosanitarias se siguieron según las indicaciones locales para el manejo del trigo (Rodríguez CE, Adame BE, Magallanes EA, Alvarado CM, Rosales RE, Loera GJ, Díaz FA 1994. Guía para cultivar trigo en el norte de Tamaulipas. Campo Experimental Río Bravo, INIFAP. Folleto No. 8). El riego de auxilio de una lámina de 10 cm se aplicó el 16 de enero de 2004, cuando las plantas de trigo alcanzaron el estado de "embuche".

Variables medidas y análisis estadísticos

En invernadero, los tratamientos fueron distribuidos en un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones. Las variables obtenidas a los 30 días después de la siembra (DDS) fueron altura de

10 plantas e índice de clorofila mediante un muestreo no destructivo de 15 hojas, tomado en el centro de ésta con el determinador portátil Minolta SPAD 502. Al final del estudio (60 DDS) se midió la altura de planta, el índice de clorofila, y con un muestreo destructivo, el peso de biomasa foliar fresca y seca, el peso de biomasa radical y el porcentaje de colonización micorrízica. Para determinar la colonización micorrízica en segmentos de raíz, se utilizó la técnica de clareo con 10 % KOH y tinción con 0.03 % de azul tripano, según el método de Phillips y Hayman (Phillips JM, Hayman DS 1970. Trans. Br. Mycol. Soc. 55: 158-161).

En los experimentos de campo, los tratamientos fueron distribuidos en un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones. La información registrada para la evaluación fue: el índice de clorofila, la altura de planta, el rendimiento de grano, el peso volumétrico del grano, el contenido de proteína en grano y la colonización micorrízica.

El índice de clorofila (con el método indicado) se estimó en etapa de hoja bandera, de la parte central de esa hoja se hicieron 25 lecturas por parcela. En madurez se midió aleatoriamente la altura de planta en 10 plantas por parcela. El rendimiento de grano total se estimó en 3.5 m de los surcos centrales de cada parcela experimental; adicionalmente se cuantificó el peso volumétrico de grano (g). De cada parcela se tomaron 20 g de semilla como submuestra utilizada en la determinación del porcentaje del contenido de proteína mediante el método de Kjeldahl. La colonización micorrízica radical (con el método descrito) fue medida de cinco plantas tomadas de los dos surcos adyacentes a los centrales, las cuales se sacaron con pala para excavar el volumen de suelo debajo de la planta. Para la comparación entre medias se utilizó la DMS ($p = 0.05$). Se realizó un análisis combinado de las dos condiciones hídricas. Los análisis estadísticos fueron a través del programa Statgraphics Plus (Manugistic Inc. 1997. Statgraphics Plus. Version 3.1. Rockville, MD).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Experimento de invernadero

La inoculación de trigo con los microsimbion-

tes y de manera independiente impactaron significativamente a los 60 DDS en la altura de planta, en el peso de la biomasa foliar (fresca y seca) y radical, mientras que la colonización micorrízica fue incrementada de forma semejante (38 % en promedio) en los tres tratamientos de microsimbiontes (ANDEVA; $p = 0.05$). Los resultados demostraron que: a) la colonización micorrízica arbuscular se incrementó de manera natural en los tratamientos con *G. intraradices* y b) no obstante la alta colonización micorrízica en el tratamiento que lleva la combinación de los dos simbiontes (G + A), la efectividad en las características de la planta de trigo evaluadas no fue manifiesta (Tabla 1).

Experimentos de campo

Las lluvias registradas durante el desarrollo del cultivo fueron de 5 mm. Los tratamientos con microsimbiontes no exhibieron diferencias significativas en las características de planta y de grano de trigo (ANDEVA; $p > 0.05$). Por el contrario, las variables evaluadas en planta y grano se incrementaron en el trigo con el riego de auxilio, comparadas con las de temporal, excepto la colonización micorrízica que resultó similar. Con el manejo de un riego de auxilio la cantidad y la calidad de la producción de trigo se incrementó 19.4 % en el rendimiento de grano y 12.3 % en el contenido de proteína, en relación con el trigo de temporal. No se observó interacción significativa entre los tratamientos y el régimen de humedad en el suelo del cultivo en cada caso, lo que indica que los efectos de las variables medidas fueron independientes y que la condición de humedad del suelo no afectó las interacciones (Tabla 2). Estos resultados no coincidieron con los obtenidos en condiciones de invernadero.

En el presente estudio la colonización micorrízica en campo fluctuó de 9.4 a 16.2 % (Tabla 2) y no se correlacionó con el resto de las características de planta o de grano ($r = 0.28 - 0.34$; $p > 0.05$). Este porcentaje de micorrización se le considera bajo comparado con el registrado en invernadero (38 %).

La inoculación combinada de los dos endófitos en invernadero mostró un efecto antagónico en trigo, semejante a la señalado en otros estudios donde reportaron menor producción de elote

Tabla 1. Influencia de la inoculación de microsimbiontes, *Glomus intraradices* y *Azospirillum brasilense*, en las características de planta de trigo 'Sauteña F-01' en invernadero (¹ = índice de clorofila determinado mediante un medidor portátil Minolta SPAD 502; DDS = días después de la siembra; CM = colonización micorrízica; valores unidos con la misma letra son semejantes (DMS; p = 0.05); comparaciones entre promedios ns = no significativo, * = significativo p = 0.05; ** = significativo p = 0.01).

Table 1. Influence of the inoculation of the microsymbionts *Glomus intraradices* and *Azospirillum brasilense* on the characteristics of 'Sauteña F-01' wheat in a greenhouse (¹ = chlorophyll index determined with a portable Minolta SPAD 502; DDS = days after sowing; CM = mycorrhizal colonisation; values joined by the same letter are similar (DMS; p = 0.05); mean comparisons ns = non significant, * = significant at p = 0.05, ** = significant at p = 0.01).

Tratamiento	Altura de planta (cm)		Índice de clorofila ¹		Peso de biomasa (g)		60 DDS	CM (%)
	30 DDS	60 DDS	30 DDS	60 DDS	Fresca	Seca	Radical	60 DDS
G. intraradices (G)	23.4	32.1 a	34.5	38.7	75.2 a	19.1 a	10.1 a	40 a
A. brasiliense (A)	23.5	31.8 a	34.2	37.9	73.6 a	19.5 a	8.8 a	35 a
G + A	22.7	29.0 b	33.4	38.1	64.0 b	17.0 b	6.7 b	40 a
Testigo	22.6	29.1 b	33.3	37.3	62.8 b	16.2 b	6.4 b	20 b
Prueba de F	ns	**	ns	ns	*	**	*	*

(*Zea mays* L.) y de grano de sorgo con la inoculación combinada de *A. brasilense* y *G. intraradices*, comparada con la inoculación independiente de cada uno de ellos (Mendoza HA, Cruz MA, Hernández JC 2004. Aislamiento, selección, producción, y evaluación de un inoculante basado en cepas nativas de *Azospirillum* en el norte de Tamaulipas. En: Díaz FA, Mayek PN, Mendoza HA, Maldonado MN (eds) Memoria Simposio de Biofertilización. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias e Instituto Politécnico Nacional; Díaz FA, Alvarado CM, Cantú AM, Garza CI 2005. Agric. Téc. Méx. 31: 153-163). Estos resultados no coincidieron con los registrados plantas de cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) y de trigo con el HMA *G. etunicatum* Becker & Gerd. (Bryla DR, Duniway JM 1998. Physiol. Plant. 104: 87-96), quienes bajo condición controlada, inocularon o no ambas plantas y concluyeron que la micorrización no tuvo efecto en ambas especies.

La escasa precipitación registrada en campo fue frecuente. En la zona semiárida del norte de Tamaulipas, la precipitación es un fenómeno climático con grandes variaciones y en los últimos años ha decrecido considerablemente (Silva SM, Hess ML 2001. Caracterización del clima en el norte de Tamaulipas y su relación con la agricultura. Campo Experimental Río Bravo, INIFAP. Folleto Técnico No. 1). Algunos autores indicaron que las limitadas lluvias, en combinación con otros factores como el aumento de los costos de producción, han contri-

buido al decremento de la productividad agrícola de esa región (Díaz MR, Díaz FA., Garza CI, Ramírez A 2007. Terra Latinoam. 25: 77-83).

La ausencia de respuesta del trigo a la inoculación con *G. intraradices* y/o *A. brasilense* también se ha observado en otros cultivos de invierno. Estos mismos microorganismos inoculados en cártamo y de *A. brasilense* en canola (*Brassica napus* L.) no influyeron en el crecimiento o rendimiento, excepto con un riego de auxilio donde el HMA mostró promoción en cártamo (Díaz FA, Ortegón MA 2006. Rev. Fitotec. Mex. 29: 63-67; Díaz FA, Ortegón MA, Garza CI 2006. Rev. Fitotec. Mex. 29: 175-180).

La colonización micorrízica de las plantas de trigo registrada en campo fue baja (12.8%), al respecto, y en antecedentes de campo con sorgo y maíz, la micorrización ha tenido efecto cuando el porcentaje de colonización ha sido mayor al 30% (Díaz FA., Garza CI, Pecina QV, Magallanes EA 2004. Inoculación de micorriza arbuscular en sorgo: Práctica de producción sostenible. Campo Experimental Río Bravo, INIFAP. Folleto Técnico No. 30; Díaz FA, Alvarado CM, Cantú AM, Garza CI 2005. Agric. Téc. Méx. 31: 153-163).

La ausencia de respuesta en los resultados de campo obtenidos en el presente estudio podría atribuirse a las bajas temperaturas del suelo presentes durante el invierno (18-20 °C), las cuales son consideradas críticas para la actividad micorrízica (Herrick BA, Bockus WW, Bloom J 1984. Can. J. Bot. 62: 735-740). Por el contrario, es posible que la res-

Tabla 2. Características de planta y de grano de trigo asociadas a la inoculación de los microsimbiontes, *Glomus intraradices* y *Azospirillum brasilense*, en las dos condiciones hídricas del estudio. Río Bravo, Tamaulipas, México (¹ = índice de clorofila determinado mediante un medidor portátil Minolta SPAD 502; CM= colonización micorrizica; comparaciones entre promedios ns = no significativo, * = significativo p = 0.05; ** = significativo p = 0.01).

Table 2. Wheat plant and grain characteristics associated with inoculation of the microsymbionts *Glomus intraradices* and *Azospirillum brasilense* in the two humidity conditions. Rio Bravo, Tamaulipas, Mexico (¹ = chlorophyll index determined with a Minolta SPAD 502; CM= mycorrhizal colonisation; mean comparisons ns = non significant, * = significant at p = 0.05, ** = significant at p = 0.01).

Factor	Planta			Grano		
	Índice de clorofila ¹	Altura (cm)	CM (%)	Peso vol. (g)	Proteína (%)	Rendimiento (kg ha ⁻¹)
Tratamiento (T)						
G. intraradices (G)	42.3	68.9	16.2	371	11.5	3239
A. brasilense (A)	42.7	67	11.8	369	11.4	3309
G + A	42.4	67.9	13.6	378	10.9	3220
Testigo	42.7	68	9.4	368	11.1	3292
Prueba de F	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Condición hídrica (C)						
Riego restringido	43.2	70	13.1	379	11.8	3554
Temporal	41.8	65.8	12.5	361	10.5	2975
Prueba de F	**	*	ns	*	*	*
T x C	ns	ns	ns	ns	ns	ns

puesta observada en invernadero en este estudio, podría asociarse con temperaturas mayores, aunque éstas no fueron registradas, se asumieron superiores a las de campo. En particular y con relación a la colonización micorrizica, Al-Karaki et al. (Al-Karaki G, McMichael B, Zak J 2004. Mycorrhiza 14: 263-269) determinaron que en trigo, las bajas temperaturas del suelo limitan el proceso de micorrización. Hetrick et al. (Hetrick BA, Bockus WW, Bloom J 1984. Can. J. Bot. 62: 735-740) reportaron que en suelo a 10 °C no hubo micorrización en trigo, mientras que a 25 °C ésta fue de 8%. En el norte de Tamaulipas, la temperatura media del aire registrada en los meses de diciembre a marzo fluctúa de 15 a 25 °C (Silva SM, Hess ML 2001. Caracterización del clima en el norte de Tamaulipas y su relación con la agricultura. INIFAP. Folleto Técnico No. 1). Es conveniente que a futuro se determine la influencia que pudieran ejercer las bajas temperaturas en la efectividad simbiótica de los microsimbiontes.

Resultados diferentes fueron obtenidos en un estudio con trigo cultivado en sequía y con suficiente humedad en el suelo, donde obtuvieron 45 % de colonización micorrizica e incremento de biomasa

y rendimiento de plantas inoculadas con HMA, las cuales fueron independientes de la condición hídrica (Al-Karaki G, McMichael B, Zak J 2004. Field response of wheat to arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress. Mycorrhiza 14: 263-269). Similarmente, la inoculación de HMA incrementó la biomasa y el rendimiento en sandía (*Citrullus lanatus* Thunb.), maíz y sorgo, en diferentes regímenes de humedad en el suelo (Sylvia DM, Hammond LC, Bennett JM, Hass H, Linda HB 1993. Agron. J. 85: 193-198; Kaya C, Higgs D, Kirnak H, Tas I 2003. Plant Soil 253: 287-292; Díaz FA., Garza CI, Pecina QV, Magallanes EA 2004. Inoculación de micorriza arbuscular en sorgo: Práctica de producción sostenible. INIFAP. Folleto Técnico No. 30).

A pesar de los reportes de la efectividad de la rizobacteria *A. brasilense* en cultivos de importancia agrícola (Irizar GM, Vargas P, Garza D, Tut C, Rojas M, Trujillo A, García R, Aguirre D, Martínez J, Alvarado S, Grageda O, Valero J, Aguirre J 2003. Agric. Téc. Méx. 29: 213-225; Mendoza HA, Cruz MA, Hernández JC 2004. Aislamiento, selección, producción, y evaluación de un inoculante basado en cepas nativas de *Azospirillum* en

el norte de Tamaulipas. En: Díaz FA, Mayek PN, Mendoza HA, Maldonado MN (eds) Memoria Simposio de Biofertilización. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias e Instituto Politécnico Nacional; Díaz FA, Alvarado CM, Cantú AM, Garza CI 2005. *Agric. Téc. Méx.* 31: 153-163), la frecuente inconsistencia de la respuesta de la planta a la inoculación, es un problema crucial en experimentos de campo, que no hace posible generalizar su efectividad (Bashan Y, Holguín G, Ferrera-Cerrato R 1996. *Terra* 14: 159-193; Loredo OC, López RL, Espinosa VD 2004. *Terra*

Latinoam. 22: 225-239).

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo financiero de la Fundación Produce Tamaulipas, A. C. y al Patronato para la Investigación, Fomento y Sanidad Vegetal. Al Dr. Alberto Mendoza Herrera del Centro de Biotecnología Genómica, IPN, por facilitarnos la cepa CBG-497 de *Azospirillum brasilense*. A Esteban Robles Escarreola y Francisco García Martínez†, por su colaboración en los trabajos de campo.

