

## BIOFERTILIZACIÓN DEL CÁRTAMO (*Carthamus tinctorius* L.) EN CONDICIONES RESTRINGIDAS DE HUMEDAD EN EL SUELO

## BIOFERTILIZATION OF SAFFLOWER (*Carthamus tinctorius* L.) UNDER LIMITED SOIL HUMIDITY CONDITIONS

Arturo Díaz Franco\*, Alfredo S. Ortigón Morales  
e Idalia Garza Cano<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Campo Experimental Río Bravo, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Apartado Postal 172, 88900, Río Bravo, Tam., México. Correo electrónico: diaz.arturo@inifap.gob.mx

\* Autor para correspondencia

### RESUMEN

Para determinar la influencia de la inoculación de la rizobacteria *Azospirillum brasilense* y el hongo micorrízico arbuscular (HMA) *Glomus intraradices*, así como de la fertilización química (FQ) (100 kg ha<sup>-1</sup> de N y 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) en cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) cvs. 'Tantoan 91' y 'Guayalejo', se establecieron dos experimentos de campo en localidades de humedad restringida de la región semiárida del norte de Tamaulipas, México. En sequía, en la localidad "El Vaso", ni la FQ ni los simbiontes tuvieron influencia en altura de planta, número de capullos, peso de grano por planta, rendimiento de grano (kg ha<sup>-1</sup>) y colonización micorrízica. En riego restringido, localidad CERIB, la inoculación con *G. intraradices* y la FQ incrementaron significativamente y de forma similar, las variables estudiadas, excepto la colonización micorrízica. Los resultados del análisis conjunto de las dos localidades, indicaron que solamente existió respuesta del cártamo a la condición de humedad; no se observaron diferencias significativas entre HMA y la FQ, ni entre las variedades de cártamo. La colonización micorrízica fluctuó entre 8.7 y 14.4 % y no se correlacionó con el rendimiento o sus componentes. Los resultados demostraron que la FQ y la inoculación de los simbiontes no influyeron en la productividad del cártamo en condiciones restringidas de humedad.

**Palabras clave:** *Carthamus tinctorius*, crecimiento, rendimiento de grano, *Glomus intraradices*, *Azospirillum brasilense*.

### SUMMARY

In order to determine the influence of inoculation with rhizobacteria *Azospirillum brasilense* and arbuscular mycorrhizae fungus (AMF) *Glomus intraradices*, and chemical fertilization (100 kg ha<sup>-1</sup> of N and 60 kg ha<sup>-1</sup> of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) (ChF) in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cvs. 'Tantoan 91' and 'Guayalejo', two field studies were conducted under limited humidity conditions, in the semiarid region of northern Tamaulipas, México, one under dryland conditions at "El Vaso", and

the other under limited irrigation, CERIB site. At "El Vaso", no significant effects of ChF or symbionts were observed in safflower plant height, flower number, grain weight per plant, grain yield (kg ha<sup>-1</sup>) and mycorrhizal colonization. At CERIB, both AMF and ChF treatments significantly and similarly increased all studied variables, except mycorrhizal colonization. Results of combined analysis from both localities showed that safflower responded only to humidity condition, but no significant differences were registered between AMF and ChF, or safflower varieties. Mycorrhizal colonization fluctuated from 8.7 to 14.4 % and it was not correlated with grain yield or its components. That is, safflower productivity was not influenced by the ChF or the symbionts inoculation, under limited humidity soil conditions.

**Index words:** *Carthamus tinctorius*, growth, grain yield, *Glomus intraradices*, *Azospirillum brasilense*.

### INTRODUCCIÓN

En los procesos de la producción agrícola sostenible se ha dado 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 estas razones dichos microorganismos benéficos han sido considerados como agentes de fertilización biológica o biofertilizantes. Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y las rizobacterias del género *Azospirillum*, son de los microorganismos benéficos más estudiados (Alarcón y Ferrera-Cerrato, 2000; Bashan y Carrillo, 1996; Loredó *et al.*, 2004). La simbiosis con los HMA propicia la nutrición mineral de la planta, la tolerancia a patógenos del suelo y a condiciones adversas como sequía, heladas y salinidad (Alarcón y Ferrera-Cerrato, 2000; Alkaki, 2000; Kaya *et al.*, 2003). El efecto benéfico de *A. brasilense* en las plantas se le atribuye a su capacidad de fijar N<sub>2</sub>, producir fitohormonas, sideróforos, solubiliza el P, y promover síntesis de enzimas que influyen en los niveles de fitohormonas (Loredó *et al.*, 2004). Esta tecnología es de particular importancia en regiones semiáridas (*i.e.*, el norte de Tamaulipas).

En esa región, los agroecosistemas han tenido una progresiva explotación y degradación, lo que ha originado problemas de erosión y desertificación. La pérdida de la cobertura vegetal ha ocasionado suelos pobres en materia orgánica, N y P (Durán, 1992), todo ello aunado a un manejo inadecuado de los recursos naturales, el uso intensivo de agroquímicos y prácticas de labranza, principalmente. La producción agrícola se ha tornado aún más crítica por los largos periodos de sequía, así como por la escasez de agua en las áreas irrigadas. El cártamo (*Carthamus tinctorius* L.), por ser un cultivo tolerante a la sequía, se ha considerado como una alternativa para diversificar la agricultura regional cuyo monocultivo es el sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] (Ortigón, 2003). Las necesidades de

nutrimentos en los cultivos se han atendido tradicionalmente mediante la fertilización química. Por lo anterior, el propósito del presente estudio fue el de evaluar en campo y en condiciones restringidas de humedad, el efecto de la fertilización biológica en el crecimiento y rendimiento del cártamo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos del presente estudio se establecieron en condiciones de 'riego restringido' y en temporal o seco. En el primer caso, la localidad fue el Campo Experimental Río Bravo (CERIB) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en Río Bravo, Tam., mientras que para temporal fue la localidad "El Vaso", en Matamoros, Tam. En ambos casos se hicieron análisis físicos y químicos de los suelos en pre-siembra, hasta 30 cm de profundidad. El pH se determinó con potenciómetro; la conductividad eléctrica con el porcentaje de saturación; la materia orgánica se midió con dicromato de potasio; el N inorgánico se determinó mediante la reducción del cadmio; el P se midió con el método de Olsen; y el K se cuantificó con el método de cobaltonitrato (Plenecassagne *et al.*, 1999). Además, se registraron las lluvias ocurridas durante el desarrollo del cultivo.

### Experimento en temporal

Este experimento se estableció el 29 de noviembre de 2001, con las variedades 'Tantoan 91' y 'Guayalejo', como parcelas grandes, y los tratamientos (parcelas chicas) fueron: 1) Inoculación de la semilla con el HMA, *Glomus intraradices* Schenk *et* Smith (Campo Experimental General Terán, INIFAP), 1 kg ha<sup>-1</sup> de sustrato compuesto de suelo y trozos de raíces de sorgo micorrizados (75 % de colonización y no menos de 300 esporas/g) como planta hospedera; 2) Inoculación de semilla con turba que contenía la rizobacteria *Azospirillum brasilense* Tarrand, Krieg *et* Dobereiner, cepa CBG-497 (Centro de Biotecnología Genómica, Instituto Politécnico Nacional), a 0.4 kg ha<sup>-1</sup> (1 x 10<sup>8</sup> bacterias/g de turba); 3) Inoculación combinada de *G. intraradices* y *A. brasilense* en las dosis señaladas en los incisos 1 y 2; 4) Fertilización química, consistente en 100 kg ha<sup>-1</sup> de N y 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Ortegón, 2003); y 5) Testigo absoluto.

Cada tratamiento se repitió cuatro veces en un arreglo experimental de parcelas divididas. La siembra fue manual, a profundidad aproximada de 5 cm y la densidad de plantas se ajustó entre 12 y 15 plantas/m lineal. Las parcelas fueron de cuatro surcos a 0.80 m y 6 m de longitud. Las variables evaluadas en cinco plantas individuales por parcela (Yáñez *et al.*, 1989), fueron: altura de planta, número de capullos por planta, peso de grano por planta (g),

colonización micorrízica radical (%) y rendimiento de grano de la parcela. Para determinar la colonización micorrízica se siguió la técnica de clareo y tinción con azul tripano, de Phillips y Hayman (1970).

### Experimento en riego restringido

Este experimento solamente recibió un riego de auxilio y se estableció el 6 de diciembre de 2001. El diseño experimental, la superficie de la parcela, las variables evaluadas y las variedades 3 utilizadas, fueron las mismas señaladas en el estudio de temporal, excepto los tratamientos. Para este sitio en particular, los tratamientos fueron la fertilización química y la inoculación micorrízica de la semilla con *G. intraradices*, aplicados de la misma manera como se señaló anteriormente, además del testigo. El riego de auxilio fue por gravedad ('rodado') y se aplicó al inicio de la floración, 93 d después de la siembra.

En ambos experimentos, las fuentes de N y P fueron urea y superfosfato de calcio triple, respectivamente; los compuestos se incorporaron lateralmente en el surco al momento de la siembra. Otras prácticas agronómicas se siguieron conforme a las indicaciones locales para cártamo (Ortegón, 2003). Los datos se sometieron a análisis de varianza por condición de humedad. También con los tratamientos iguales (fertilización química, inoculación micorrízica y testigo), se realizó un análisis combinado de las dos localidades. Para la comparación entre medias se utilizó la DMS ( $P \leq 0.05$ ). También se efectuó un análisis de correlación entre las variables. El análisis estadístico se procesó mediante el software Statgraphics Plus (Manugistics, Inc., 1997).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las características de los suelos en los sitios experimentales indicaron que tuvieron un contenido bajo de N, medio bajo de P y materia orgánica, altos en K, ligeramente alcalinos; en "El Vaso" la textura es migajón arenosa y no salino, y en el CERIB es arcillosa y muy ligeramente salino, según criterios de Plenecassagne *et al.* (1999) (Cuadro 1). Las precipitaciones totales registradas durante el ciclo en "El Vaso" fueron 46 mm y en el CERIB 75 mm; éstas son típicas de años con humedad crítica en la región, donde el cártamo manifiesta su menor potencial de rendimiento.

### Temporal

En la localidad "El Vaso" y en un ciclo con condiciones críticas de sequía, no existieron diferencias significativas en el rendimiento y sus componentes, ni en la colonización micorrízica radical de las dos variedades de

cártamo (Cuadro 2). Es decir, los simbioses solos o en combinación y la fertilización química no tuvieron influencia en el crecimiento y producción; además, las variedades se comportaron de forma semejante. No se observaron interacciones significativas entre tratamientos y variedades para las variables estudiadas, lo que indica que los dos factores fueron independientes (Cuadro 2).

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

Localidad	pH	MO (%)	N (mg kg <sup>-1</sup> )	P (mg kg <sup>-1</sup> )	K (mg kg <sup>-1</sup> )	Conductividad eléctrica (mS cm <sup>-1</sup> )	Textura
"El Vaso"	8.1	1.7	14.7	10.3	560	0.6	Migajón arenosa
CERIB <sup>†</sup>	8.0	2.0	17.3	12.0	470	1.2	Arcillosa

<sup>†</sup>Campo Experimental Río Bravo.

Los resultados difieren de los de Bryla y Duniway (1997), quienes sometieron a condición de sequía controlada plantas de cártamo y trigo (*Triticum aestivum* L.) inoculadas o no con *G. etunicatum* Becker & Gerd., y concluyeron que el HMA tuvo un ligero efecto en la tolerancia a la sequía, según el nivel de necrosis foliar en ambas especies. La inoculación de HMA incrementó la biomasa y el rendimiento en sandía (*Citrullus lanatus* Thunb.), maíz (*Zea mays* L.) y sorgo, en condiciones contrastantes de humedad en el suelo (Díaz *et al.*, 2004; Kaya *et al.*, 2003; Sylvia *et al.*, 1993a). Según Augé (2004), existen diversos factores que influyen en la simbiosis de los HMA sobre la relación con el agua y las propiedades de retención de humedad en el suelo, los cuales se encuentran poco estudiados.

Para el caso del simbiote *A. brasilense*, los resultados aquí obtenidos no concuerdan con los de Mendoza *et al.* (2004), quienes al inocular la misma cepa (CBG-497) en

sorgo, incrementaron significativamente el rendimiento de grano del sorgo establecido en condiciones de temporal, en la región norte de Tamaulipas. No obstante, los ejemplos sobre su efectividad también en otros cultivos de importancia agrícola (Irizar *et al.*, 2003; Hernández *et al.*, 2002; Loredó *et al.*, 2004), Bashan *et al.* (1996) hacen notar que un problema crucial en los experimentos de campo es la frecuente inconsistencia de la respuesta de la planta a la inoculación, por lo que es muy difícil generalizar sobre su efectividad.

### Riego restringido

En la localidad CERIB, con excepción del porcentaje de colonización micorrízica donde no se manifestó significancia estadística, los tratamientos influyeron en el resto de las variables consideradas (Cuadro 3). Tanto la fertilización química como la inoculación de *G. intraradices*, mostraron los valores más altos, que en promedio superaron al testigo en: número de capullos (12.7 %), peso de grano por planta (17.2 %) y grano por hectárea (18.4 %). Es de destacar el hecho de que la actividad del HMA igualó el efecto promovido por la fertilización química en las variedades de cártamo. Similarmente, resultados de campo con sorgo (Díaz *et al.*, 2004) demostraron que *G. intraradices* igualó o superó los efectos en promoción de biomasa y rendimiento de grano comparados con la fertilización química.

A pesar del incremento en el rendimiento de grano debido a los tratamientos citados, con el diferencial obtenido (178 kg ha<sup>-1</sup>, en promedio), no se justificaría su implementación, particularmente de la fertilización química, por el alto costo que implica su manejo. Al igual que en la condición de temporal, las variedades de cártamo registraron

Cuadro 2. Fertilización química e inoculación de simbioses asociados a las características de planta, rendimiento y colonización micorrízica en dos variedades de cártamo. Temporal, localidad "El Vaso", Tam.

Factores	Planta			Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )	Colonización micorrízica (%)
	Altura (cm)	Núm. Capullos	Peso de grano (g)		
<b>Tratamientos (T)</b>					
100-60-00	79.6	12.4	9.6	688	7.6
<i>G. intraradices</i> (G)	78.7	11.9	8.9	716	10.3
<i>A. brasilense</i> (A)	72.0	10.2	8.6	644	8.2
G + A	79.9	12.2	10.2	719	13.7
Testigo	74.8	12.0	9.8	635	7.0
Significancia F	ns	ns	ns	ns	ns
<b>Variedades (V)</b>					
Tantoan 91	75.6	10.7	8.6	598	8.1
Guayalejo	78.5	12.7	10.3	764	9.3
Significancia F	ns	ns	ns	ns	ns
T x V	ns	ns	ns	ns	ns

<sup>ns</sup> No significativo a nivel de P ≤ 0.05.

características similares. En este experimento tampoco se observaron interacciones significativas (Cuadro 3). La respuesta de la planta a la fertilización química, y contrariamente a los resultados obtenidos en temporal, podría obedecer a la mayor disponibilidad de humedad en el suelo aportada por el riego de auxilio aplicado. Estudios en maíz (Gutiérrez y Luna, 2002) y algodón (*Gossypium hirsutum* L.) (Palomo *et al.*, 2004) han demostrado la importancia que tiene el nivel de humedad del suelo en la eficacia de la fertilización química. Resultó evidente la actividad del HMA en la promoción del rendimiento de cártamo. El efecto benéfico de la micorrización por *G. intraradices* en otras especies de plantas, se ha atribuido en algunas ocasiones a una mayor adquisición de nutrimentos asociada con una mayor producción de biomasa (Clark *et al.*, 1999; Ibrahim *et al.*, 1990; Plascencia *et al.*, 1997).

**Temporal y riego restringido**

El análisis combinado indicó que la localidad CERIB tuvo efecto altamente significativo ( $P \leq 0.01$ ) sobre el rendimiento de grano y sus componentes, en las variedades de cártamo ‘Tantoan 91’ y ‘Guayalejo’, probablemente por el riego aplicado. En contraste, no se observó una variación significativa en el porcentaje de colonización micorrízica entre las localidades. Tampoco se observaron diferencias significativas en las variables medidas para los factores tratamientos y variedades, así como en las interacciones de primero o segundo orden, lo cual muestra que los efectos de los factores en el estudio fueron independientes y que la condición ambiental no afectó las interacciones (Cuadro 4). El análisis de correlación determinó que no hubo asociación significativa entre el porcentaje de colonización micorrízica y los componentes de rendimiento y el rendimiento de cártamo.

Cuadro 3. Fertilización química y micorriza arbuscular asociados con las características de planta, rendimiento y colonización micorrízica en dos variedades de cártamo. Riego restringido, localidad CERIB, Tam.

Factores	Planta			Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )	Colonización micorrízica (%)
	Altura (cm)	Núm. Capullos	Peso de ghrano (g)		
<b>Tratamientos (T)</b>					
100-60-00	114 a <sup>†</sup>	21.0 a	17.3 a	1156 a	10.3
<i>G. intraradices</i>	113 a	19.6 a	16.0 a	1137 a	17.0
Testigo	111 b	18.0 b	14.2 b	968 b	14.7
Significancia F	**	*	*	*	ns
<b>Variedades (V)</b>					
Tantoan 91	112	19.3	15.1	1097	13.3
Guayalejo	113	19.5	16.3	1120	15.9
Significancia F	ns	ns	ns	ns	ns
T x V	ns	ns	ns	ns	ns

ns, \*, \*\* No significativo y significativo nivel de  $P \leq 0.05$  y  $0.01$ , respectivamente.

<sup>†</sup>Valores unidos con la misma letra son semejantes (DMS, 0.05).

Cuadro 4. Características de planta, rendimiento y colonización micorrízica de dos variedades de cártamo, sembradas en dos localidades, con fertilización química y micorriza arbuscular.

Factores	Planta			Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )	Colonización micorrízica (%)
	Altura (cm)	Núm. Capullos	Peso de grano (g)		
<b>Localidad (L)</b>					
‘El Vaso’	77.0	11.7	9.4	681	8.7
CERIB	112.5	19.4	15.7	1108	14.4
Significancia F	**	***	**	**	ns
<b>Tratamientos (T)</b>					
100-60-00	96.8	16.7	13.4	922	8.9
<i>G. intraradices</i>	95.8	15.7	12.4	926	13.6
Testigo	92.9	15.0	12.0	812	10.8
Significancia F	ns	ns	ns	ns	ns
<b>Variedades (V)</b>					
Tantoan 91	93.8	15.0	11.8	847	10.7
Guayalejo	95.7	16.1	13.3	942	12.6
Significancia F	ns	ns	ns	ns	ns
L x T	ns	ns	ns	ns	ns
L x V	ns	ns	ns	ns	ns
T x V	ns	ns	ns	ns	ns
L x T x V	ns	ns	ns	ns	ns

ns, \*\*, \*\*\* No significativo y significativo nivel de  $P \leq 0.01$  y  $0.01$ , respectivamente.

Según el promedio de las dos localidades, la fertilización química y el HMA no impactaron la productividad del cártamo. Probablemente, la reducida humedad en la que se desarrolló el cultivo en las dos localidades fue un factor que determinó la ausencia de respuesta de la planta a la fertilización química. Es necesario entonces conocer el manejo de esa práctica en cártamo para condiciones restringidas de humedad en el suelo. De esta manera no sólo se evitarían pérdidas económicas por la ineficiencia de la práctica, sino también la contaminación de suelo y agua.

La colonización micorrízica fluctuó de 8.7 a 14.4 % (Cuadro 4), porcentajes que son bajos, ya que en sorgo la micorrización ha tenido efecto cuando la colonización ha alcanzado entre 57 a 64 % (Díaz *et al.*, 2004), en cambio, cuando los registros de colonización fueron entre 6 y 17 %, el HMA no influyó en la promoción del cultivo (Pecina *et al.*, 2005). No se tiene una explicación clara sobre las razones por las que se observan bajos porcentajes de colonización micorrízica. Karasawa *et al.* (2001) y Eriksson (2001) señalaron que tanto los cultivos anteriores como el historial de manejo de otras prácticas agronómicas, tienen impacto en el nivel de micorrización arbuscular.

Los resultados obtenidos también son coincidentes con los reportados en pastos. Pelletier y Dionne (2004) informaron que inocularon tres especies de pastos con los HMA *G. intraradices* y *G. etunicatum*; después de tres meses la colonización micorrízica alcanzó 17 % y no impactó en el porcentaje de superficie de cobertura final (biomasa). La asociación entre la colonización micorrízica y el rendimiento o sus componentes no es consistente, como lo informaron Allen *et al.* (2001) en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y maíz, y Sylvia *et al.* (1993b) en soya [*Glycine max* (L.) Merr], donde la colonización micorrízica no correlacionó con rendimiento y biomasa. Es importante considerar también la especificidad existente entre el genotipo y el HMA. Al respecto, Khalil *et al.* (1994) demostraron que hay variabilidad en la especificidad y la dependencia micorrízica entre cultivares de soya y maíz, cuando fueron inoculados con *Gigaspora margarita* o *G. intraradices*.

### CONCLUSIONES

En la localidad "El Vaso", Tam., sujeta a condición de sequía, la fertilización química, la inoculación de *G. intraradices* y/o *A. brasilense* no tuvieron influencia en las características de planta, rendimiento de grano y colonización micorrízica, en las variedades de cártamo 'Tantoan 91' y 'Guayalejo'. En la localidad CERIB, que recibió un riego, la fertilización química y *G. intraradices* incrementaron significativamente la altura de planta, el número de capullos y el grano por planta, así como el rendimiento de

grano por hectárea. La colonización micorrízica no fue afectada por los tratamientos.

Los promedios de las variables sólo presentaron diferencias estadísticas entre localidades. En todos los casos las variedades 'Tantoan 91' y 'Guayalejo' se comportaron de manera semejante.

### AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo financiero de CONACYT-SIREYES a través del proyecto 19980601010 y a la Fundación Produce Tamaulipas, A.C. A Juan Olvera Martínez, Julián Robles Cervantes y Francisco García Martínez, por su colaboración en los trabajos de campo.

### BIBLIOGRAFÍA

- Alarcón A, R Ferrera-Cerrato (2000) Biofertilizantes: Importancia y utilización en la agricultura. *Agric. Téc. Méx.* 26:191-203.
- Alkaki G N (2000) Growth of mycorrhizal tomato and mineral acquisition under salt stress. *Mycorrhiza* 10:51-54.
- Allen B L, V D Jolley, C W Robbins, L L Freeborn (2001) Follow wheat cropping of unamended and manure-amended soils related to mycorrhizal colonization, yield and plant nutrition of dry bean and sweet corn. *J. Plant Nutr.* 24:921-943.
- Augé R M (2004) Arbuscular mycorrhizae and soil/plant water relations. *Can. J. Soil Sci.* 84:373-381.
- Bashan Y, A Carrillo (1996) Microbial inoculants for sustainable agriculture. *In: Nuevos Horizontes en Agricultura: Agroecología y Desarrollo Sostenible.* M J Pérez, R Ferrera-Cerrato (eds). Colegio de Postgraduados. México. pp:125-155.
- Bashan Y, G Holguín, R Ferrera-Cerrato (1996) Interacciones entre plantas y microorganismos benéficos I. *Azospirillum.* *Terra* 14:159-193.
- Bryla D R, J M Duniway (1997) Effects of mycorrhizal infection on drought tolerance and recovery in safflower and wheat. *Plant and Soil* 197:95-103.
- Clark R B, R W Zobel, S K Zeto (1999) Effects of mycorrhizal fungus isolates on mineral acquisition by *Panicum virgatum* in acidic soil. *Mycorrhiza* 9:167-176.
- Díaz F A, I Garza C, V Pecina Q, A Magallanes E (2004) Inoculación de micorriza arbuscular en sorgo: Práctica de producción sostenible. *Campo Experimental Río Bravo, INIFAP. Folleto Técnico No. 30.* México. 20 p.
- Durán A M (1992) Suelos. *In: Manual de Cultivos del Norte de Tamaulipas.* M L Hess, D Pérez D (eds). SARH-Patronato para la Investigación, Fomento y Sanidad Vegetal. México. pp:11-16.
- Eriksson A (2001) Arbuscular mycorrhiza in relation to management history, soil nutrients and plant species diversity. *Plant Ecol.* 155:129-137.
- Gutiérrez S J, M Luna F (2002) Riego, densidad de plantas y fertilización nitrogenada en producción de maíz híbrido en Zacatecas. *Agric. Téc. Méx.* 28:95-103.
- Hernández Y, A García O, M Ramón (2002) The use of soil microorganisms in crops of interest for livestock production. *Cuban J. Agric. Sci.* 35:81-92.
- Ibrahim M A, W F Campbell, L A Rupp, E B Allen (1990) Effects of mycorrhizae on sorghum growth, photosynthesis and stomatal conductance under drought conditions. *Arid Soil Res. Rehabil.* 4:99-107.
- Irizar G M, P Vargas, D Garza, C Tut, M Rojas, A Trujillo, R García, D Aguirre, J Martínez, S Alvarado, O Grageda, J

- Valero, J Aguirre (2003)** Respuesta de cultivos agrícolas a los biofertilizantes en la región central de México. *Agric. Téc. Méx.* 29:213-225.
- Karasawa T, Y Kasahara, M Takabe (2001)** Variable response of growth and arbuscular mycorrhizal colonization of maize plants to preceding crops in various types of soils. *Biol & Fert. Soils* 33:286-293.
- Kaya C, D Higgs, H Kirnak, I Tas (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* 253:287-292.
- Khalil S, T Loynachan, M Tabatabai (1994)** Mycorrhizal dependency and nutrient-uptake by improved and unimproved corn and soybean cultivars. *Agron. J.* 86:949-958.
- Loredo O C, L López R, D Espinosa V (2004)** Bacterias promotoras del crecimiento vegetal asociadas con gramíneas: Una revisión. *Terra* 22:225-239.
- Manugistic, Inc (1997)** Statgraphics Plus. Version 3.1. Rockville, MD.
- Mendoza H A, A Cruz H, C Jacques H (2004)** Aislamiento, selección y evaluación de un inoculante basado en cepas nativas de *Azospirillum* en el norte de Tamaulipas. In: Memorias Simposio Biofertilización. A Díaz F, N Mayek P, A Mendoza H, N Maldonado M (eds). Campo Experimental Río Bravo, INIFAP y Centro de Biotecnología Genómica, IPN. Río Bravo, Tam., México. pp:87-101.
- Ortegón M S A (2003)** Cártamo: Cultivo de alternativa para el norte de Tamaulipas. Campo Experimental Río Bravo, INIFAP. Desplegable No. 25. México.
- Palomo G A, M Gaytán A, R Faz C, D Reta S, E Gutiérrez R (2004)** Rendimiento y calidad de fibra de algodón en respuesta al número de riegos y dosis de nitrógeno. *Terra* 22:299-305.
- Pecina Q V, A Díaz F, H Williams A, E Rosales R, I Garza C (2005)** Influencia de la fecha de siembra y de biofertilizantes en sorgo. *Rev. Fitotec. Mex.* 28:389-392.
- Pelletier S, J Dionne (2004)** Inoculation rate of arbuscular mycorrhizal fungi *Glomus intraradices* and *Glomus etunicatum* affects establishment of landscape turf with no irrigation or fertilizer inputs. *Crop Sci.* 44:335-338.
- Phillips J M, D S Hayman (1970)** Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 55:158-161.
- Plascencia E O, J Francisca J, R Vargas H, R Ferrera-Cerrato, V A González (1997)** Effect of vesicular-arbuscular mycorrhiza on growth and biomass allocation of eucalyptus seedlings. *Terra* 15:7-14.
- Plenecassagne A, E Romero F, C López B (1999)** Manual de Laboratorio: Análisis de Suelo, Planta y Agua. INIFAP-ORSTOM. México. 173 p.
- Sylvia D M, L C Hammond, J M Bennett, J H Hass, S B Linda (1993a)** Field response of maize to a VAM fungus and water management. *Agron. J.* 85:193-198.
- Sylvia D M, D O Wilson, J H Graham, J J Maddox, P Millner, J B Morton, H D Skipper, S F Wright, A G Jarstfet (1993b)** Evaluation of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in diverse plants and soils. *Soil Biol. Biochem.* 25:705-713.
- Yáñez M M, S Osada K, M Rodríguez G, A Martínez G (1989)** Desarrollo de la epidemia de *Stemphylium solani* en materiales de cártamo. *Rev. Mex. Fitopatol.* 7:156-163.