

BRASSINOESTEROIDES E INOCULACIÓN CON *Glomus intraradices* EN EL CRECIMIENTO Y LA PRODUCCIÓN DE SORGO EN CAMPO

Brassinosteroids and Inoculation with *Glomus intraradices* on Sorghum Growth and Production in Field

Roxana Díaz-Moreno¹, Arturo Díaz-Franco^{2‡}, Idalia Garza-Cano² y Alberto Ramírez-De León¹

RESUMEN

La productividad y rentabilidad de sorgo para grano en la región semiárida del norte de Tamaulipas ha decrecido. El manejo de los biofertilizantes está encaminado al fortalecimiento de sistemas de producción agrícola sostenible. Se estudió el efecto de la inoculación de la semilla con el hongo endomicorrícico arbuscular *Glomus intraradices*, la aspersión de la hormona brassinoesteroides y la adición de 44 y 33 kg ha⁻¹ de N y P, respectivamente, en la producción de sorgo ('DK-55') de temporal, en condiciones experimentales y de manejo comercial. El estudio experimental incluyó la evaluación de los tratamientos en dos texturas de suelo: arcilloso (localidad "El Vaso") y migajón arcillo arenoso (localidad ejido Cárdenas). Se midieron características de planta y de grano. *G. intraradices* y su combinación con brassinoesteroides impactaron positivamente ($P < 0.05$) en la altura de planta, el peso de raíz, el peso de grano y el rendimiento en ambos suelos. En rendimiento, los mismos tratamientos superaron, en promedio, 29.5% al testigo. La mayor colonización micorrícica ($P < 0.01$) se obtuvo con *G. intraradices* o brassinoesteroides, comparada con la fertilización química y el testigo. En "El Vaso", las plantas exhibieron significativamente ($P < 0.05$) mayor altura, biomasa seca, peso de grano y rendimiento. En el ejido Cárdenas, se observaron incrementos significativos ($P < 0.01$) de diámetro de tallo, peso de raíz y proteína de grano. El análisis económico de los tratamientos en la validación comercial indicó que la inoculación con *G. intraradices* fue la práctica más rentable, con un ingreso adicional de \$783.20 ha⁻¹.

¹ UAT, Unidad Académica Multidisciplinaria Reynosa Aztlán. 88740 Reynosa, Tamaulipas, México.

² Campo Experimental Río Bravo, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Apdo. Postal 172, 88900 Río Bravo, Tamaulipas, México.

[‡] Autor responsable (diaz.arturo@inifap.gob.mx)

Recibido: febrero de 2004. Aceptado: julio de 2006.
Publicado en *Terra Latinoamericana* 25: 77-83.

Los resultados demostraron que la inoculación micorrícica del sorgo con *G. intraradices* representa una tecnología viable.

Palabras clave: Sorghum bicolor, endomicorriza, hormona esteroidal, colonización micorrícica, productividad.

SUMMARY

Productivity of grain sorghum and profits in the Northern semiarid region of Tamaulipas, Mexico, have decreased. Management of biofertilizers is focused on support of sustainable production systems. The effect of seed inoculation with arbuscular endomycorrhizal fungus *Glomus intraradices*, application of hormone brassinosteroids and application of 44 and 33 kg ha⁻¹, N and P, respectively, on rain fed sorghum ('DK-55') production under experimental and commercial management was studied. Experiments included evaluation of treatments in two soil textures: clay ("El Vaso" location) and sandy clay loam (ejido Cárdenas location). Plant and grain characteristics were measured. *G. intraradices*, alone or combined with brassinosteroids, had a positive impact ($P < 0.05$) on plant height, root weight, and grain weight and yield. In yield, the same treatments averaged 29.5% higher than the control. The most successful mycorrhizal colonization ($P < 0.01$) was obtained with *G. intraradices* or brassinosteroids, compared with chemical fertilization and control. At "El Vaso", significantly ($P < 0.05$) higher plant height, dry matter, grain weight, and yield were exhibited. At ejido Cárdenas, significant increases were observed ($P < 0.01$) in stalk diameter, root weight, and grain protein. An economic study of treatments showed that inoculation with *G. intraradices* was the most profitable practice, increasing incomes by \$783.20 ha⁻¹. The results showed that inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi in sorghum is a viable technology.

Index words: *Sorghum bicolor*, *endomycorrhizal*, *steroidal hormone*, *mycorrhizal colonization*, *productivity*.

INTRODUCCIÓN

En México, el deterioro ecológico causado por la agricultura se debe principalmente a manejo inadecuado de los recursos naturales, intenso uso de agroquímicos, prácticas agrícolas mal empleadas y dependencia de insumos externos (Velasco-Velasco *et al.*, 2001). En zonas semiáridas, la fragilidad inherente a sus ecosistemas junto con la progresiva degradación y explotación han provocado que gran parte de esas regiones, en particular la planicie del norte de Tamaulipas, sufran graves fenómenos de erosión y desertificación. La pérdida de la cobertura vegetal ocasiona una disminución de materia orgánica, nutrimentos (N y P) y disponibilidad de agua (Durán-Arce, 1992). En esa región, la fertilización química no es una práctica generalizada y, cuando se aplica, la dosis es inferior a la recomendada, debido a que representa una inversión de alto costo y riesgo en la eficacia para el productor, por la errática humedad en el suelo. Como consecuencia, la productividad y la rentabilidad del sorgo (*Sorghum bicolor*) ha decrecido en forma considerable (Salinas-García, 2002). Por lo anterior, es necesario buscar tecnologías estratégicas encaminadas al uso eficiente de los recursos naturales y que consoliden una agricultura sostenible. La inoculación con hongos endomicorrícicos, así como la aplicación de otros 'biofertilizantes', se postulan como prácticas de alternativa con factibilidad de implementarse en la producción agrícola (Sylvia, 1999; Alarcón y Ferrera-Cerrato, 2000; Utria-Borges *et al.*, 2004).

Los hongos micorrícicos arbusculares (HMA) son componentes importantes de la comunidad microbiana de la rizosfera, que colonizan las raíces de las plantas y establecen simbiosis. Su función es facilitar la asimilación de nutrimentos a las plantas, inclusive en suelos infértiles, lo que se traduce en la promoción de su crecimiento y reproducción de éstas (Gardezi *et al.*, 1994; Sylvia, 1999; Alarcón y Ferrera-Cerrato, 2000). Adicionalmente, los HMA protegen a la planta contra la acción de algunos fitopatógenos del suelo (Khalil *et al.*, 1999; Espinosa-Victoria *et al.*, 2004). La información del beneficio que aportan los HMA a gramíneas, en particular en sorgo, es amplia. Diferentes estudios de invernadero y campo han demostrado que estos microsimbiontes incrementan

la biomasa seca, el peso de grano, la absorción de P, el contenido de clorofila, la extracción de agua del suelo a la planta, la longitud de la raíz y el rendimiento de grano (Singh y Tilak, 1992; Osonubi, 1994; Bressan *et al.*, 2001).

Existe poca información acerca del empleo de los brassinoesteroides; éstos consisten en un grupo de compuestos naturales biológicamente activos, basados en una estructura esteroideal con capacidad de modular la elongación y la división celular, promover el crecimiento y desarrollo de las plantas, inclusive en condiciones adversas de producción (Sasse, 1997; Clouse y Sasse, 1998; Utria-Borges *et al.*, 2004). Debido a su actividad, Mandava (1988) los considera como fitohormonas. Se ha demostrado que cuando los brassinoesteroides se aplican en bajas concentraciones, aumentan la producción y calidad de melón (*Cucumis melo*), reducen la abscisión de flores y frutos de uva (*Vitis* sp.), inducen la supresión de la germinación prematura de la papa (*Solanum tuberosum*) (Sasse, 1997), incrementan la producción en frijol (*Phaseolus vulgaris*), soya (*Glycine max*) (Mandava, 1988) y trigo (*Triticum aestivum*) (Sairam, 1994). El propósito del estudio fue: a) evaluar en campo el efecto de la inoculación de HMA *Glomus intraradices* y la aplicación foliar de brassinoesteroides en características de la planta, el grano y la colonización micorrícica en sorgo; y b) validar la efectividad de los HMA y brassinoesteroides en un sistema comercial.

MATERIALES Y MÉTODOS

En campo, la investigación se realizó en dos localidades de temporal, ejido Cárdenas y "El Vaso", municipio de Matamoros, Tamaulipas, sitios seleccionados por variaciones en la textura del suelo: el primero, migajón arcillo arenoso y, el segundo, arcilloso; ambos con deficiente contenido de N, P y materia orgánica. Se realizaron análisis físicos y químicos de los suelos en presiembra (Plenecassagne *et al.*, 1999) (Cuadro 1).

El híbrido de sorgo para grano 'DK-55' se sembró de forma manual el 31 de enero de 2001 en las dos localidades. La parcela experimental constó de cuatro surcos de 5 m de longitud y 0.83 m entre surcos (16.6 m²). Cuando las plántulas alcanzaron aproximadamente 20 cm, se aclareó para dejar 10 plantas m⁻² y obtener una densidad aproximada de 120 000 plantas ha⁻¹. Brassinoesteroides (CIDEF-4®)

Cuadro 1. Características físicas y químicas de suelos de las localidades del municipio de Matamoros, Tamaulipas, México.

| Determinación | Experimentación | | Validación |
|--------------------------------------|----------------------|-------------------------|------------|
| | El Vaso | Ej. Cárdenas | El Vaso |
| pH | 8 | 8.1 | 8 |
| Materia orgánica (%) | 1.7 (B) [†] | 2.5 (MB) | 2.0 (B) |
| N de nitratos (mg kg ⁻¹) | 3.5 (B) | 3.0 (B) | 3.7 (B) |
| P disponible (mg kg ⁻¹) | 9.3 (B) | 9.8 (B) | 9.0 (B) |
| K (mg kg ⁻¹) | 320 (A) | 470 (A) | 380 (A) |
| Textura | Arcilloso | Migajón arcillo arenoso | Arcilloso |

[†] B, MB, A/ contenido bajo, medianamente bajo y alto, respectivamente, de acuerdo con Plenecassagne *et al.* (1999).

se aplicó a dosis de 10 g (ingrediente activo) ha⁻¹ en dos aspersiones con bomba de mochila antes de la floración: la primera, el 19 de marzo, y la segunda, el 16 de abril. El HMA utilizado fue *Glomus intraradices* (producido en el Campo Experimental General Terán, INIFAP), y la inoculación se hizo a la semilla mediante 1 kg de inóculo en 7 kg de semilla utilizada por hectárea, usando 60 mL de carboxi metil celulosa, diluido en 700 mL de agua (Irizar-Garza *et al.*, 2003). El inóculo de *G. intraradices* consistió en un sustrato compuesto de suelo y trozos de raíz de sorgo micorrizados (85% de colonización y > 300 esporas g⁻¹) como planta hospedera. La fertilización química se aplicó según la dosis común en esa zona, testigo-productor, que consistió en la adición en presiembra de 44 y 33 kg ha⁻¹ de N y P, respectivamente. La urea fue la fuente de N y el superfosfato de calcio triple la de P. Se utilizó el diseño experimental bloques al azar con cuatro repeticiones y los tratamientos fueron: a) brassinoesteroides (B); b) *G. intraradices* (G); c) combinación B + G; d) fertilización química (44-37-00 kg ha⁻¹, NPK); y e) testigo absoluto.

Las prácticas agronómicas se realizaron según las indicaciones locales (Montes-García y Aguirre-Rodríguez, 1992). Se registró la precipitación pluvial para cada localidad. En el estado fenológico de llenado de grano (17 de mayo), se hizo un muestreo de cinco plantas por parcela para determinar la altura de planta, el diámetro de base de tallo, el peso fresco de raíz, la biomasa aérea fresca y seca, y el porcentaje de colonización micorrícica por el método de Phillips y Hayman (1970). En la madurez de la planta, se estimó el rendimiento de grano (kg ha⁻¹) cosechando las plantas de los surcos centrales en cada parcela, ajustado a 14% de humedad. También se midió el peso de 1000 granos

y el contenido de proteína del grano, con el método Kjeldahl. Los datos obtenidos se sometieron a análisis de varianza combinado, el cual incluyó tratamientos y localidades, mediante el paquete StatGraphics Plus Versión 3.1 (Manugistics, 1997) y a comparación de las medias con diferencia mínima significativa (DMS, $P < 0.05$).

La validación comercial se realizó en la localidad “El Vaso”, Matamoros, Tamaulipas, en un suelo de textura arcillosa (Cuadro 1), debido a que favoreció un desarrollo homogéneo del cultivo de sorgo en los ciclos anteriores. La siembra mecanizada se realizó el 25 de enero de 2001 con el híbrido de sorgo ‘DK-55’, mediante la sembradora ‘International 82’ con platos de plástico, la cual se ajustó con la semilla de sorgo inoculada, a una densidad de 18 a 20 semillas m⁻¹. Los cinco tratamientos utilizados en la experimentación se sometieron a validación comercial: cada uno ocupó 1 ha y se distribuyeron en franjas de 12 surcos (0.82 m) de 102 m de longitud. El manejo agronómico comercial de la parcela se realizó según el criterio del productor (Centro de Bachillerato Técnico Agropecuario No. 98, Secretaría de Educación Pública). En una mitad de la parcela se realizaron cinco submuestreos en los tratamientos de 60 plantas en competencia completa, para cada tratamiento, y se midió el peso fresco de raíz; los promedios se analizaron mediante grupos apareados (prueba de t de Student). El rendimiento total de grano se obtuvo de cada hectárea, la cosecha se realizó con trilladora mecánica y se pesó en un carro báscula. El análisis económico de la producción fue mediante retorno a la inversión y con base en el precio rural del sorgo (\$1050.00 t⁻¹), el costo del HMA (\$20.00 ha⁻¹), las dos aspersiones de brassinoesteroides (\$360.00 ha⁻¹) y el costo de la fertilización química (\$560.00 ha⁻¹).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Manejo Experimental

La altura de planta, el peso fresco de raíz, la colonización micorrícica, así como el peso de grano y el rendimiento, fueron las variables influenciadas significativamente por los tratamientos. Con excepción de la biomasa fresca, las variables determinadas fueron significativas entre localidades. No se detectó interacción entre tratamiento y localidad (Cuadro 2), lo que refleja una respuesta similar de los tratamientos, independientemente de las localidades, a pesar de que

los suelos de éstas varían en su textura y contenido de materia orgánica. El cultivo se desarrolló en condiciones críticas de humedad, ya que el total de precipitación pluvial durante el ciclo fue 90 y 96 mm para “El Vaso” y el ejido Cárdenas, respectivamente.

Características de planta. El mayor valor registrado en altura de planta fue con el tratamiento de *G. intraradices*, en el cual el endófito incrementó la altura 5.8% con relación al testigo. Para el peso de raíz se observaron incrementos significativos, 25% en promedio, con la inoculación de *G. intraradices* o la combinación con brassinoesteroides. La colonización micorrícica fue superior con *G. intraradices* o brassinoesteroides, al registrar, en promedio, 16.1% sobre el testigo (Cuadro 2). Lo anterior demostró que los tratamientos biológicos promovieron tanto el crecimiento de la raíz, como la colonización radical de los HMA. En campo, estudios con tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa*) inoculado con *G. intraradices* (Velasco-Velasco *et al.*, 2001), y con diferentes leguminosas, con la inoculación de *G. mosseae* y *G. fasciculatum* (Tarafdar y Rao, 1997), también presentaron incrementos en la colonización de los HMA, comparados con las plantas sin inoculación.

Características de grano. Los tratamientos influyeron sólo en el peso de grano y el rendimiento de grano, pero

no afectaron el contenido de proteína que, en promedio, fue de 7.6%. El mayor peso de grano, así como el mayor rendimiento de grano, se obtuvieron con *G. intraradices* solo o en combinación con brassinoesteroides, tratamientos que promediaron 10.2 y 29.5% de incremento respectivo, con relación al testigo (Cuadro 2). En invernadero, Bressan *et al.* (2001) encontraron incrementos de 21 a 31% en el rendimiento de grano de sorgo, con la inoculación de varias especies de HMA. En ensayos de campo con sorgo inoculado con *G. intraradices*, Díaz-Franco *et al.* (2004) obtuvieron aumentos en el rendimiento de sorgo de 18 a 36%, comparados con los testigos. En maíz, Díaz-Franco *et al.* (2002) informaron incrementos de 24% en el peso de elote y 28.4% en la producción total con la inoculación de *G. intraradices* o la rizobacteria *Azospirillum brasilense*. En el presente estudio, la efectividad de *G. intraradices*, observada en sorgo de temporal (sequía) y suelos pobres en N y P, demostró la capacidad de respuesta simbiótica del endófito en condiciones adversas de producción. Una posible explicación a esa respuesta 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). Brassan *et al.* (2001) reportaron beneficios en sorgo con HMA, los cuales incrementaron

Cuadro 2. Características de planta y de grano de sorgo ('DK-55') asociadas con la inoculación con *Glomus intraradices* y la aplicación de brassinoesteroides, en dos localidades de Matamoros, Tamaulipas, México.

| Factor | Características de planta | | | | | Características de grano | | | |
|----------------------------|---------------------------|----------------------|---------|-------------------|---------------------|--------------------------|---------------------|---------------------|----------|
| | Altura | Biomasa aérea fresca | Seca | Diámetro de tallo | Peso fresco de raíz | Colonización micorrícica | Peso de 1000 granos | Rendimiento | Proteína |
| | cm | g | | cm | g | % | g | kg ha ⁻¹ | % |
| Tratamientos (T) | | | | | | | | | |
| 44-37-00 | 112.8 b† | 127.7 | 34.5 | 1.4 | 12.2 c | 40.9 b | 21.9 b | 3434 ab | 7.9 |
| Brassinoesteroides (B) | 113.1 b | 135.8 | 35.7 | 1.42 | 14.2 b | 56.2 a | 21.2 b | 3522 ab | 7.5 |
| B + G | 114.5 ab | 153 | 38.8 | 1.36 | 18.0 a | 53.9 a | 23.1 a | 3740 a | 7.5 |
| <i>G. intraradices</i> (G) | 117.3 a | 152 | 40.9 | 1.41 | 17.0 a | 57.8 a | 23.2 a | 3719 a | 7.7 |
| Testigo | 113.1 b | 140 | 34.9 | 1.52 | 14.0 b | 48.2 ab | 21.0 b | 2878 b | 7.7 |
| Significancia F | 0.01 | 0.61ns | 0.09 ns | 0.52 ns | 0.02 | 0.01 | 0.008 | 0.03 | 0.14 ns |
| DMS | 3 | 26.3 | 7.1 | 0.2 | 2.6 | 9.5 | 1.2 | 320 | 0.5 |
| Localidades (L) | | | | | | | | | |
| El Vaso | 124 | 142.1 | 39.6 | 1.3 | 11 | 48.4 | 23.8 | 4583 | 7.3 |
| Ejido Cárdenas | 102.3 | 141.5 | 34.4 | 1.55 | 19.1 | 54.4 | 20.7 | 2334 | 8 |
| Significancia F | 0.001 | 0.21 ns | 0.05 | 0.005 | 0.001 | 0.09 ns | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| T x L | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns |
| C.V. (%) | 7.5 | 23.8 | 17.3 | 10 | 19.5 | 22.6 | 6.4 | 15.7 | 7.2 |

† Valores unidos con la misma letra en columna no son estadísticamente diferentes (P < 0.05). N = 8. ns = no significativa.

la absorción de N, P, K, Zn y Cu, con relación a las plantas no colonizadas.

Variables medidas entre localidades. En las condiciones edáficas de las dos localidades, la textura arcillosa en “El Vaso” posiblemente fue determinante para que se conservara la humedad residual y de las precipitaciones ocurridas durante el ciclo del cultivo; este factor favoreció un eficiente crecimiento y productividad del sorgo al exhibir significativamente mayor altura, biomasa seca, peso de grano y rendimiento (Cuadro 2). Según Durán-Arce (1992), estos suelos se clasifican como Clase II, tienen permeabilidad lenta y pobre drenaje (5 a 15 días). Por el contrario, en el suelo de textura migajón arcillo arenoso del ejido Cárdenas, que, al parecer, tuvo menor conservación de la humedad, la planta registró significativamente mayor diámetro de tallo, peso de raíz y proteína en el grano (Cuadro 2). Durán-Arce (1992) los describió como suelos de calidad para áreas de riego, de Clase I, con eficiente permeabilidad y drenaje (2 a 5 días), los cuales favorecen un mayor desarrollo radical.

Se determinaron algunas correlaciones positivas sobresalientes entre las variables evaluadas. La altura de planta se asoció significativamente con la biomasa seca ($r^2 = 0.84$) y el peso de raíz ($r^2 = 0.82$); la biomasa seca con el peso de raíz ($r^2 = 0.90$), el peso de grano ($r^2 = 0.73$) y el rendimiento ($r^2 = 0.64$); y el peso de grano con rendimiento ($r^2 = 0.86$). Ludlow y Muchow (1990) y Crauford y Peacock (1993) coincidieron al informar que las variaciones en el rendimiento de grano de sorgo estuvieron asociadas con la biomasa seca.

Validación Comercial

Las variaciones en el peso de raíz no fueron significativas, sólo un incremento numérico con *G. intraradices*, y la variable se relacionó con el mayor rendimiento de grano comercial que superó, en

Cuadro 3. Peso de raíz y rendimiento de grano de sorgo (‘DK-55’), asociados con los tratamientos en condiciones comerciales. “El Vaso”, Matamoros, Tamaulipas, México.

| Tratamiento | Peso de raíz | Rendimiento |
|----------------------------|--------------|---------------------|
| | g | kg ha ⁻¹ |
| Brassinosteroides (B) | 16.7 | 2775 [†] |
| <i>G. intraradices</i> (G) | 18.2 | 3135 |
| B + G | 16.6 | 2750 |
| Fertilización química | 16.5 | 2460 |
| Testigo | 15.5 | 2370 |
| DMS | 2.6 ns | -- |

ns = no significativo, prueba de t ($P < 0.05$).

[†] Rendimiento obtenido con carro báscula.

675 kg ha⁻¹ (27.4%), a la fertilización química y, en 765 kg ha⁻¹ (32.2%), al testigo absoluto. No se observó una respuesta aditiva con la combinación *G. intraradices* más brassinosteroides (Cuadro 3). Los resultados en esta prueba fueron consistentes con los obtenidos en el ensayo experimental y demuestran el impacto negativo en la inversión con la práctica de fertilización química. Aunque en este sitio, en particular, no se midió la precipitación, la cercanía (± 300 m) con la parcela experimental correspondiente coincidió con la condición de sequía ocurrida durante el ciclo del cultivo. El análisis económico demostró que la inoculación con *G. intraradices* fue la práctica más rentable en la producción de sorgo en la región estudiada, la cual representó para el productor un ingreso adicional de \$783.20 ha⁻¹ (Cuadro 4). Resulta evidente la consistencia de los resultados, ya que, en estudios similares, Díaz-Franco *et al.* (2004) también informaron mayor rentabilidad del sorgo, utilidad neta promedio de \$1109.00 ha⁻¹, con el empleo de *G. intraradices*, comparado con el testigo. En la producción de elote (Díaz-Franco *et al.*, 2002), la utilidad neta se incrementó con la inoculación independiente de *A. brasilense* o *G. intraradices*, comparada con el testigo, y alcanzó, en promedio, \$1507.30 ha⁻¹.

Cuadro 4. Análisis de retorno a la inversión con los tratamientos aplicados en sorgo ‘DK-55’ en condiciones de manejo comercial. “El Vaso”, Matamoros, Tamaulipas, México.

| Variable | <i>G. intraradices</i> (G) | Brassinosteroides (B) | G + B | Fertilización química |
|---|----------------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|
| Rendimiento (kg ha ⁻¹) | 3135 | 2575 | 2750 | 2460 |
| Rend. testigo = 2370 kg ha ⁻¹ | | | | |
| Diferencia respecto al testigo (kg ha ⁻¹) | 765 | 205 | 380 | 90 |
| Utilidad bruta (\$ ha ⁻¹) | 803.2 | 215.2 | 399 | 94.5 |
| Costo del tratamiento (\$ ha ⁻¹) | 20 | 360.00 [†] | 380.00 [†] | 560.00 [†] |
| Utilidad neta (\$ ha ⁻¹) | 783.2 | -144.8 | 19 | -465.5 |

[†] Producto y aplicación(es).

Por otro lado, no se detectaron problemas en la operatividad al conjuntar los procesos de la semilla de sorgo inoculada y el sistema de siembra mecanizada utilizado en el ámbito del estudio. Díaz-Franco *et al.* (2002) mencionaron que algunos productores experimentaron obstrucción de la semilla inoculada en siembras mecanizadas, fenómeno influenciado por la calibración de la sembradora y la semilla inoculada. Sylvia (1999) señaló que existe escasa información sobre el empleo de HMA en producción comercial.

Los resultados obtenidos demostraron la eficiencia de la inoculación de *G. intraradices* en la productividad de sorgo; lo anterior, aunado al bajo costo comercial del sustrato (\$20.00 ha⁻¹; comercializado por el Patronato para la Investigación, Fomento y Sanidad Vegetal), son factores determinantes que hacen de la inoculación a la semilla una tecnología rentable y necesaria para una agricultura sostenible.

CONCLUSIONES

- La inoculación de *G. intraradices* y su combinación con la aspersión foliar de brassinoesteroides en sorgo afectaron positivamente la altura de planta, el peso de raíz, el peso de grano y el rendimiento. En este último, ambos tratamientos superaron, en promedio, 29.5% al testigo absoluto.
- En las condiciones edáficas de la localidad "El Vaso" se incrementaron la altura de planta, la biomasa seca, el peso de grano y el rendimiento de sorgo. En el ejido Cárdenas, los incrementos fueron en el diámetro de tallo, el peso de raíz, la colonización micorrícica y el contenido de proteína de grano.
- La validación comercial demostró que con la práctica que incluyó la inoculación a la semilla con *G. intraradices* se obtuvo la mayor rentabilidad en la producción, con una ganancia adicional de \$783.20 ha⁻¹.
- El tratamiento que llevó la adición de N y P resultó ineficaz en el manejo experimental. Similarmente, el análisis económico en la validación comercial demostró que con la fertilización química se obtuvieron las mayores pérdidas (-\$465.50 ha⁻¹).

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo recibido del Patronato para la Investigación, Fomento y Sanidad Vegetal de

Matamoros, Tam., y de la Fundación Produce Tamaulipas, A. C., a través del proyecto 3315. Al M. C. Ismael Machuca Orta, del CBTA' 98, SEP, por las facilidades y la asistencia en los trabajos de campo. Clave: INIFAP/CIRNE/A-260.

LITERATURA CITADA

- Alarcón, A. y R. Ferrera-Cerrato. 2000. Biofertilizantes: Importancia y utilización en la agricultura. Agr. Téc. Méx. 26: 191-203.
- Bressan, W., J. O. Siqueira, C. A. Vasconcellos y A. A. Purcino. 2001. Mycorrhizal fungi and phosphorus on growth, yield and nutrition of intercropped grain sorghum and soybean. Pesquisa Agrop. Brasileira 36: 315-323.
- Clouse, S. D. y J. M. Sasse. 1998. Brassinosteroids: essential regulators of plant growth and development. Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 49: 427-451.
- Crauford, P. Q. y J. M. Peacock. 1993. Effect of heat and drought stress on sorghum (*Sorghum bicolor*). II. Grain yield. Exp. Agric. 29: 77-86.
- Díaz-Franco, A., E. Tavárez-Leal y J. A. Ramírez-de León. 2002. Validación del efecto de simbioses en la producción de elote (*Zea mays* L.). Biotam 13: 1-10.
- Díaz-Franco, A., I. Garza-Cano, V. Pecina-Quintero y A. Magallanes-Estala. 2004. Inoculación de micorriza arbuscular en sorgo: práctica de producción sostenible. Folleto Técnico 30. Campo Experimental Río Bravo, Instituto de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Río Bravo, Tamaulipas, México.
- Durán-Arce, N. 1992. Suelos. pp. 11-17. In: L. Hess-Martínez y D. Pérez-Díaz (eds.). Manual de cultivos del norte de Tamaulipas. SARH-INIFAP-Patronato para la Investigación, Fomento y Sanidad Vegetal. Matamoros, Tamaulipas, México.
- Espinosa-Victoria, D., D. González-Mendoza, J. Placencia-de la Parra y R. García-Espinosa. 2004. Reducción de la incidencia de *Phytophthora capsici* Leo en el sistema radical de plántulas de chile pre-micorrizadas con *Glomus intraradices*. Terra Latinoamericana 22: 317-326.
- Gardezi, A. K., R. García-Espinosa, R. Ferrera-Cerrato y M. Larqué-Saavedra. 1999. Effect of arbuscular mycorrhizae on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) in naturally infested soil with *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici*. Rev. Mex. Fitopatol. 17: 23-28.
- Irizar-Garza, M., P. Vargas-Vázquez, D. Garza-García, C. Tut y Couoh, I. Rojas-Martínez, A. Trujillo-Campos, R. García-Silva, D. Aguirre-Montoya, J. Martínez-González, S. Alvarado-Mendoza, O. Grageda-Cabrera, J. Valero-Garza y J. Aguirre-Medina. 2003. Respuesta de cultivos agrícolas a los biofertilizantes en la región central de México. Agr. Téc. Méx. 29: 213-225.
- Khalil, S., T. E. Loynachan y M. A. Tabatabai. 1994. Mycorrhizal dependency and nutrient-uptake by improved and unimproved corn and soybean cultivars. Agron. J. 86: 949-958.
- Ludlow, M. M. y R. C. Muchow. 1990. A critical evaluation of traits for improving crop yields in water-limited environments. Adv. Agron. 43: 107-120.
- Mandava, N. B. 1988. Plant growth-promoting brassinosteroids. Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 39: 23-52.

- Manugistics. 1997. Statgraphics Plus. Version 3.1. Rockville, MD, USA.
- Montes-García, N. y J. Aguirre-Rodríguez. 1992. Producción de sorgo de temporal en el norte de Tamaulipas. pp. 54-63. *In*: L. Hess-Martínez y D. Pérez-Díaz (eds.). Manual de cultivos del norte de Tamaulipas. SARH, INIFAP, Patronato para la Investigación, Fomento y Sanidad Vegetal. Matamoros, Tamaulipas, México.
- Osonubi, O. 1994. Comparative effects of vesicular-arbuscular mycorrhizal inoculation and phosphorus fertilization on growth and phosphorus uptake of maize and sorghum plants under drought-stressed conditions. *Biol. Fertil. Soils* 18: 55-59.
- Phillips, J. M. y D. S. Hayman. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular micorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 55: 158-161.
- Plenecassagne, A., E. Romero-Fierro y C. López-Borrego. 1999. Manual de laboratorio para análisis de suelo, planta y agua. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-ORSTOM. Gomez Palacio, Durango, México.
- Sairam, R. K. 1994. Effect of homobrassinolide application on plant metabolism and grain yield under irrigated and moisture-stress conditions of two wheat varieties. *J. Plant Growth Regul.* 14: 173-181.
- Salinas-García, J. 2002. Labranza para la conservación de suelo y agua en el norte de Tamaulipas. Publicación especial 25. Campo Experimental Río Bravo, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Río Bravo, Tamaulipas, México.
- Sasse, J. M. 1997. Recent progress in brassinoesteroids research. *Physiol. Plant.* 100: 697-701.
- Singh, M. y K. Tilak. 1992. Inoculation of sorghum (*Sorghum bicolor*) with *Glomus versiforme* under field conditions. *Trop. Agr.* 69: 323-326.
- Sylvia, D. M. 1999. Fundamentals and applications of arbuscular mycorrhizae: a "biofertilizer" perspective. pp. 705-723. *In*: J. O. Siqueira y F. M. Moreira (eds.). Soil fertility, soil biology, and plant nutrition interrelationships. Sociedade Brasileira de Ciencia de Solo. Minas, Brasil.
- Tarafdar, J. C. y A. V. Rao. 1997. Response of arid legumes to VAM fungal inoculation. *Symbiosis* 22: 265-274.
- Utria-Borges, E., V. Rodríguez-Oquendo, L. Moisés-Medina, J. Calderón-Aguaedo y F. Suárez-Soria. 2004. Respuesta de plántulas de cafeto (*Coffea arabica* L.) a la aplicación de brassinoesteroide en diferentes concentraciones y épocas de su desarrollo. *Rev. Chapingo Serie Hort.* 10: 11-14.
- Velasco-Velasco, J., R. Ferrara-Cerrato y J. J. Almaraz-Suárez. 2001. Vermicomposta, micorriza arbuscular y *Azospirillum brasilense* en tomate de cáscara. *Terra* 19: 241-248.