

BIOINOCULACIÓN Y FERTILIZACIÓN QUÍMICA REDUCIDA ASOCIADAS CON EL CRECIMIENTO DE PLANTA Y PRODUCTIVIDAD DE SORGO

Arturo DÍAZ FRANCO, Didiana GÁLVEZ LÓPEZ y Flor Elena ORTIZ CHÁIREZ*

Campo Experimental Río Bravo Tamaulipas. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Carretera Matamoros-Reynosa Km. 61, Col. Zona Rural, Río Bravo C.P. 88900, Río Bravo, Tamaulipas, México

*Autor para correspondencia: ortiz.flor@inifap.gob.mx

(Recibido junio 2014; aceptado febrero 2015)

Palabras clave: micorriza arbuscular, rizobacterias, biofertilizantes, *Sorghum bicolor*

RESUMEN

Los inoculantes microbianos o bioinoculantes poseen en la actualidad gran importancia ecológica y económica en la agricultura. El objetivo de este estudio fue conocer la efectividad de tres bioinoculantes comerciales (Micorriza INIFAP, Ferbilibiq y Biofertiabuap-Sorghum) combinados con la mitad de fertilización química [50 % FQ (60-20-00)] sobre las características y la productividad del sorgo. En la etapa de hoja bandera, los bioinoculantes combinados con 50 % FQ no manifestaron efectos en el índice de clorofila y biomasa aérea fresca y seca con relación al 100 % de FQ o testigo absoluto. En la etapa de madurez, la mayor altura de la planta se obtuvo con Micorriza INIFAP y Micorriza INIFAP + 50 % FQ, la mayor biomasa fresca radical con Micorriza INIFAP, mientras que no hubo variaciones en la biomasa aérea fresca y seca. En la hoja bandera y la madurez, el diámetro del tallo de todos los tratamientos superaron significativamente y de forma similar al testigo. Los mayores valores de longitud de panoja, granos por panoja y rendimiento de grano se registraron con los tres bioinoculantes combinados con 50 % FQ y 100 % FQ (120-40-00). Para el peso de 100 granos, los mejores tratamientos fueron los tres bioinoculantes + 50 % FQ. Los resultados indican la posibilidad de reducir al 50 % la fertilización química del sorgo en condiciones de riego mediante la inoculación de Micorriza INIFAP, Ferbilibiq o Biofertiabuap-Sorghum en la semilla.

Key words: arbuscular mycorrhiza fungi, rhizobacteria, biofertilizers, *Sorghum bicolor*

ABSTRACT

Microbial inoculants or bio-inoculants currently have great ecological and economic importance in agriculture. The study considers knowing the effectiveness of three commercial bio-inoculants (Micorriza INIFAP, Ferbilibiq and Biofertiabuap-Sorghum) combined with half of chemical fertilization [50 % CF (60-20-00)], on plant characteristics and productivity of sorghum. In flag leaf stage, the bio-inoculants plus 50 % CF, did not show effects in chlorophyll index and fresh and dry aerial biomass in relation to 100 % CF or control. At maturity, the greater plant height was obtained with Micorriza INIFAP and Micorriza INIFAP + 50 % CF; fresh radical biomass was greater

with Micorriza INIFAP; and there were no variations in fresh and dry aerial biomass. At leaf flag and maturity stages, the stem diameters of all treatments were similar but significantly larger than control. The best values of long of panicle, grains per panicle and grain yield were registered with the three bio-inoculants + 50 % CF and 100 % CF (120-40-00). The 100 grains weight was increased by the three bio-inoculants + 50 % CF. Results suggested the possibility of reducing 50 % of chemical fertilization of sorghum CF through seed inoculation of Micorriza INIFAP, Ferbiliq or Biofertiup-Sorghum.

INTRODUCCIÓN

El incremento de la producción agrícola en el mundo durante las últimas cuatro décadas ha estado asociado a un destacado aumento en el uso de fertilizantes. Sin embargo el exceso en el uso de agroquímicos en general, ha tenido como resultado contaminación, decremento de la biodiversidad en las regiones agrícolas, degradación de los agroecosistemas e incrementos en los costos de producción (Grageda *et al.* 2012, Xiang *et al.* 2012). Por lo tanto, existe la necesidad de explorar alternativas que permitan incrementar la producción agrícola sin los impactos negativos en el ambiente y mantener el crecimiento de la población humana mundial. Con la nueva sensibilidad ambiental y 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 (Adesemoye y Kloepper 2009, Sharma *et al.* 2012). Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y las bacterias promotoras del crecimiento vegetal (BPCV) son de los grupos de microorganismos más estudiados. Como parte de la actividad simbiótica, los HMA manifiestan diferentes mecanismos que inducen a una mayor exploración del suelo a través de las hifas, disminuyen los efectos de condiciones abióticas adversas para la planta, producen fitohormonas que estimulan el crecimiento de la planta, facilitan la absorción de nutrimentos, producen glomalina que adhiere las partículas del suelo y estimulan una acción protectora contra algunos fitopatógenos del suelo (Smith y Read 2008). El grupo de BPCV a través de la producción de fitohormonas promueve que las plantas sean capaces de fijar N atmosférico, así como mecanismos de biocontrol de fitopatógenos mediante compuestos antifúngicos como sideróforos o enzimas líticas (Glick *et al.* 1999, Vasey 2003).

El empleo de bioinoculantes o biofertilizantes con base en HMA y BPCV se ha acrecentado comercialmente durante los últimos años, aunque revisten gran importancia aquellos que tienen efectividad

en los cultivos y que son viables económicamente (Vosátka *et al.* 2008, Grageda *et al.* 2012, Sharma *et al.* 2012). El efecto benéfico de los bioinoculantes posee además repercusiones favorables al reducir las necesidades de fertilizantes, por lo que Adesemoye y Kloepper (2009) y Xiang *et al.* (2012) han enfatizado los efectos comparativos de los bioinoculantes con la aplicación convencional de fertilizantes minerales en los cultivos.

En México, la mayor superficie de sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] se ubica en la región norte de Tamaulipas con 650 mil ha, donde en muchos de los casos se trata de un monocultivo y alrededor del 30 % se siembra en condiciones de riego. Las limitaciones nutrimentales del cultivo se han atendido mediante la fertilización química. Rosales *et al.* (2006) sugieren para el sorgo en condiciones de riego la adición de 120 y 40 kg/ha de N y P, respectivamente. Aunque debido al alto costo del compuesto algunos productores utilizan dosis bajas. Ante este contexto, se ha resaltado la necesidad de desarrollar prácticas agronómicas que eleven la productividad del sorgo y promuevan un equilibrio en los agroecosistemas (Díaz *et al.* 2007, Díaz *et al.* 2013). Por lo anterior, el objetivo del estudio fue conocer la respuesta del sorgo a bioinoculantes comerciales combinados con la mitad de la fertilización química en condiciones de riego.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del sitio experimental

El ensayo se estableció el 1 de febrero de 2011 en el Campo Experimental Río Bravo, INIFAP, Río Bravo, Tamaulipas (25°57'16.9" N, 98°01'05.7" O) a 25 msnm. Se tomaron muestras de suelo en pre-siembra de los primeros 30 cm de profundidad para analizar sus propiedades fisicoquímicas (**Cuadro I**). El pH se determinó en solución acuosa (1:2), la conductividad eléctrica (C.E.) con el porcentaje de saturación, la materia orgánica (M.O.) se midió con dicromato de potasio, el N inorgánico (NO₃-N) se

CUADRO I. PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DEL SUELO PREVIAS AL ESTABLECIMIENTO DEL ESTUDIO

pH	C.E. (mS/cm)	M.O. (%)	N (mg/kg)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Textura
7.8	1.1	1.5	23.5	23.9	725	Franco arenoso

C.E. = conductividad eléctrica; M.O. = materia orgánica

determinó mediante ácido salicílico, el P disponible se midió con el método de Olsen *et al.* (1954) y el K intercambiable por acetato de amonio.

Bioinoculantes utilizados

Los tratamientos incluyeron bioinoculantes comerciales aplicados en la semilla y en dosis indicadas por el fabricante, los cuales fueron: a) el hongo micorrízico arbuscular *Rhizophagus intraradices* (Schenk and Smith) Walker and Schubler (Sin. *Glomus intraradices* Schenk and Smith), no menos de 40 esporas/g, a razón de 500 g/ha (Micorriza INIFAP^{MR}, Campo Experimental General Terán, INIFAP), b) Ferbiliq^{MR}, combinación de *Azospirillum brasilense* Tarrand, Krieg y Dobereiner, 175×10^9 Unidades Formadoras de Colonias (UFC)/mL y *R. intraradices*, 40 000 propágulos/kg, en dosis de 600 mL/ha (Consustenta, S.A. de C.V., Morelia, Michoacán) y c) Biofertiup-Sorghum^{MR}, con base en *Azospirillum* spp., 5×10^8 UFC/g, a dosis de 300 g/ha (Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla).

Manejo experimental

Se utilizó el híbrido de sorgo para grano 'DKS60', sembrado con humedad residual a una densidad de 250 mil plantas por ha (8 kg/ha de semilla). Los tratamientos consistieron en: 1) Micorriza INIFAP más 50 % de fertilización química (60-20-00), 2) Ferbiliq más 60-20-00, 3) Biofertiup-Sorghum más 60-20-00, 4) fertilización química 100 % (120-40-00), 5) Micorriza INIFAP y 6) testigo no fertilizado o inoculado. La fertilización con la mezcla de urea y superfosfato triple de calcio se incorporó lateralmente en el surco al momento de la siembra, la aplicación de N fue fraccionada, la mitad fue en la siembra y la otra mitad antes del primer riego de auxilio. Se aplicaron dos riegos de auxilio, el primero a 40 días de nacidas las plantas y el segundo a los 65 días de nacidas las plantas. Otras prácticas agronómicas se siguieron según recomendaciones locales (Rosales *et al.* 2006). Los tratamientos se

sembraron en cuatro surcos de 0.81 m de separación y 4 m de longitud en cuatro repeticiones, distribuidos bajo un diseño de bloques completos al azar.

Variables medidas y análisis de datos

En la etapa de hoja bandera se midió el índice de clorofila, altura de la planta, diámetro del tallo, biomasa fresca y seca aérea y biomasa fresca y seca radical. El contenido de clorofila se estimó *in situ* en los surcos centrales mediante 10 lecturas (n = 40) tomadas de la parte central (sentido longitudinal y transversal) de la hoja bandera, con un medidor portátil Minolta SPAD-502. De los dos surcos laterales de cada parcela se extrajeron al azar cinco plantas (n = 20) incluyendo la raíz, en la que se midió la altura desde la base, el diámetro del tallo, la biomasa fresca y seca aérea y la biomasa fresca y seca radical. La biomasa seca se obtuvo después del secado en estufa a 60 °C durante tres días.

En madurez fisiológica se midió la altura de la planta, el diámetro del tallo, la biomasa fresca y seca aérea y la biomasa fresca y seca radical. Las mediciones fueron de cinco plantas (n = 20) en los surcos laterales, el diámetro del tallo se obtuvo de la sección de la base de la planta. En la cosecha, de los surcos centrales se midieron las variables de longitud de la panoja, número de granos por panoja y el peso de 100 granos (n = 20). El rendimiento (kg/ha) se estimó de panojas distribuidas en los dos surcos centrales por parcela. Las panojas se secaron bajo el sol y se trillaron, el rendimiento de grano se ajustó al 14 % de humedad. De cada parcela se tomaron 20 g de granos como submuestra para determinar el porcentaje del contenido de proteína mediante el método de Kjeldahl (Plenecassange *et al.* 1999). Los efectos de los tratamientos sobre las variables se determinaron por análisis de varianza y para la comparación de promedios entre tratamientos se utilizó la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características de la planta

En el estado de desarrollo de hoja bandera, no se observó efecto estadístico significativo de los tratamientos con respecto al índice de clorofila y la biomasa fresca y seca aérea, lo que significa que hasta esa etapa del sorgo no fue manifestada la influencia de los tratamientos evaluados. Además, en madurez fisiológica, la biomasa fresca y seca aérea fue semejante entre los tratamientos (**Cuadro II**).

CUADRO II. RESPUESTA DEL SORGO EN DOS ESTADOS FENOLÓGICOS A TRATAMIENTOS DE BIOINOCULANTES CON 50% DE FERTILIZACIÓN QUÍMICA (FQ)

Tratamiento	Hoja bandera			Madurez fisiológica	
	Clo*	BFA (g)	BSA (g)	BFA (g)	BSA (g)
Micorriza INIFAP + 50% FQ	45.7	143	30.3	261.8	131.6
Ferbiliq + 50% FQ	44.8	131	28.3	256.1	128.6
Biofertiupap-Sorghum + 50% FQ	43.4	135	28.7	255.6	129.6
100% FQ (120-40-00)	43.4	133	27.6	268.7	133.6
Micorriza INIFAP	41.3	128	27.6	260.0	140.3
Testigo absoluto	40.8	115	25.9	240.2	120.0
P>F=	0.57	0.41	0.73	0.85	0.38
CV (%)=	8.3	15.5	12.8	12.4	10.4

*Clo = índice de clorofila (SPAD), BFA = Biomasa fresca de planta, BSA = Biomasa seca de planta

Para la altura de la planta se observó una respuesta semejante a la del estado de hoja bandera, mientras que con la Micorriza INIFAP se registró la mayor altura en madurez fisiológica (**Fig. 1**). Desgan *et al.* (2008) determinaron que en plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) la altura y el número de hojas de la planta fueron semejantes hasta los 35 días después del trasplante, con o sin inoculación de *Glomus fasciculatum* Gerdemann y Trappe. De igual forma, Castillo *et al.* (2009) compararon dos cepas de HMA, una cepa nativa (*G. claroideum* Schenck y Sm.) y otra comercial (*R. intraradices*) en plantas de chile (*Capsicum annuum* L.) y registraron que la altura de la planta fue semejante respecto al testigo hasta 60 días después de la siembra, posteriormente la cepa nativa permitió alcanzar la mayor altura a la

planta. En sorgo, Díaz *et al.* (2007) obtuvieron, en madurez fisiológica, mayor altura de la planta con *R. intraradices*, comparado con plantas fertilizadas y no fertilizadas, aunque no se observaron variaciones en la biomasa fresca y seca. Todos los tratamientos superaron en el diámetro del tallo, de forma equivalente al testigo en los dos estados de desarrollo del sorgo (**Fig. 2**). La biomasa radical fresca y seca en hoja bandera se mantuvo similar entre los tratamientos y en madurez fisiológica sólo se observaron diferencias significativas en la biomasa fresca, en la que fue sobresaliente Micorriza INIFAP (**Fig. 3**). Castillo *et al.* (2009) reportaron que no hubo variaciones en la longitud de raíz del chile tanto en estado de floración como de fructificación en plantas inoculadas o no con HMA.

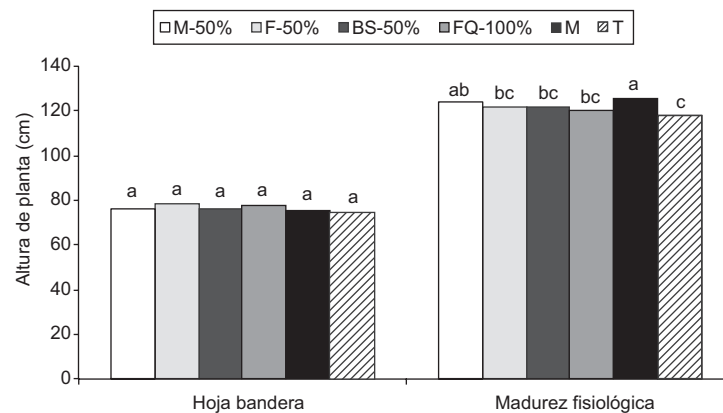


Fig. 1. Altura de la planta de sorgo con bioinoculantes y 50% de la fertilización química [Micorriza INIFAP (M-50 %), Ferbiliq (F-50 %), Biofertiupap-Sorghum (BS-50 %)], fertilización química al 100 % (FQ-100%), Micorriza INIFAP (M) y testigo (T), en dos etapas fenológicas. Letras distintas denotan diferencias significativas Tukey ($P < 0.05$).

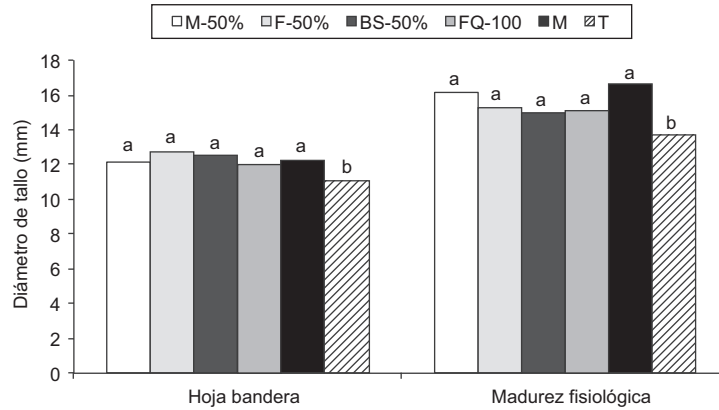


Fig. 2. Diámetro del tallo de sorgo con bioinoculantes y 50% de la fertilización química [Micorriza INIFAP (M-50 %), Ferbiliq (F-50 %), Biofertiup-Sorghum (BS-50 %)], fertilización química al 100 % (FQ-100%), Micorriza INIFAP (M) y testigo (T), en dos etapas fonológicas. Letras distintas denotan diferencias significativas Tukey ($P < 0.05$).

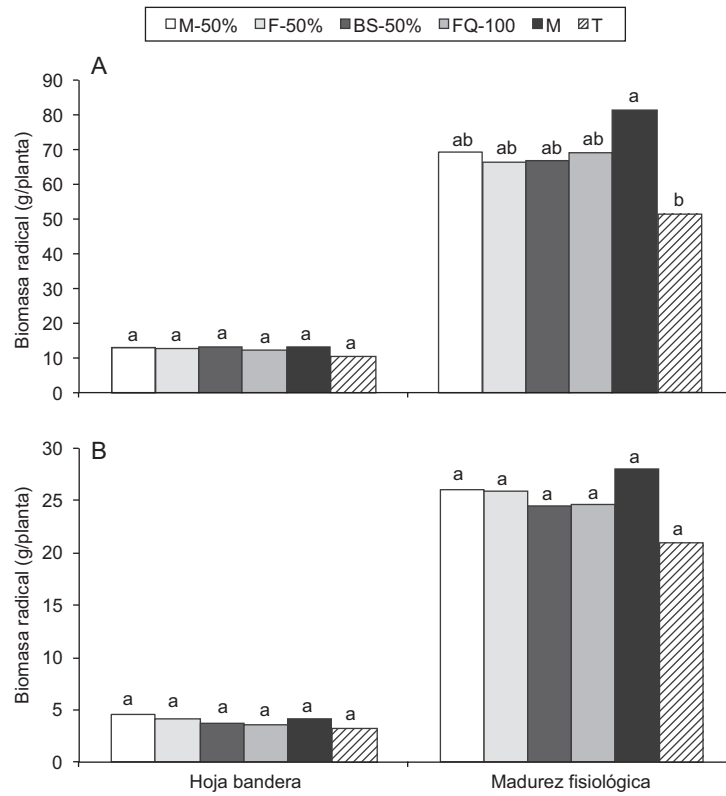


Fig. 3. Biomasa radical fresca (A) y seca (B) de sorgo con bioinoculantes y 50% de la fertilización química [Micorriza INIFAP (M-50 %), Ferbiliq (F-50 %), Biofertiup-Sorghum (BS-50 %)], fertilización química al 100 % (FQ-100%), Micorriza INIFAP (M) y testigo (T), en dos etapas fonológicas. Letras distintas denotan diferencias significativas Tukey ($P < 0.05$).

Parámetros de productividad

En la cosecha, la longitud de la panoja de sorgo fue mayor en las plantas con los tres bioinoculantes más el fertilizante químico al 50 %; en el número de granos por panoja y en el rendimiento del grano destacaron Micorriza INIFAP y Biofertiluap-Sorghum con la mitad de la fertilización química (50 % FQ); el mayor peso de grano fue con Micorriza INIFAP + 50 % FQ, mientras que en el contenido de proteína del grano no se observaron diferencias significativas (**Cuadro III**). Díaz *et al.* (2007) reportaron que en el periodo seco, el peso del grano y el rendimiento de plantas de sorgo inoculadas con *R. intraradices*, fue mayor que aquellas con fertilización química. De igual forma, la micorrización o la fertilización, no afectaron el contenido de proteína en el grano. La diferencia en el rendimiento del grano alcanzado entre Micorriza INIFAP y el testigo fue de 511 kg/ha (**Cuadro III**). Este resultado concuerda con Díaz *et al.* (2013) quienes de distintas localidades del estado de Tamaulipas, obtuvieron una diferencia promedio de 522 kg/ha entre los mismos tratamientos.

Diversos autores (Irizar *et al.* 2003, Widada *et al.* 2007, Olalde y Serratos 2008) han confirmado que la inoculación combinada de BPCV y HMA promueve efectos aditivos o sinergias en las plantas, fenómeno no observado en el presente estudio con la inoculación de Ferbilibiq (*A. brasilense* y *R. intraradices*; **Cuadro III**), así como en otros resultados con sorgo donde se utilizaron los mismos microorganismos (Mendoza *et al.* 2008, Díaz *et al.* 2011).

Los resultados demostraron la efectividad del manejo de los bioinoculantes en combinación con la adición del 50 % de la fertilización química en la respuesta del sorgo. Tratamientos que igualaron o superaron en producción al 100 % de la fertilización química (**Cuadro III**). Diferentes estudios han revelado el potencial

que tienen los inoculantes al reducir las dosis de fertilización. Sharma *et al.* (2011) reportaron el máximo rendimiento de trigo (*Triticum aestivum* L.) con la inoculación de *R. intraradices* y el 75 % de N-P-K adicionado al suelo. Carpio *et al.* (2005) indicaron que las mejores características para el mercado de *Ipomoea carnea fistulosa* (Mart. ex Choisy), así como mayor absorción de N, P y K ocurrió tanto con el inoculante BioterraPLUS® y la adición de 50 % de N-P-K en el suelo, como con la fertilización al 100 %. Xiang *et al.* (2012) han destacado que los biofertilizantes, además del efecto benéfico en la productividad agrícola, tienen gran relevancia en los agroecosistemas debido a que pueden reducir el uso de la fertilización mineral y su consecuente contaminación en el entorno.

En general el impacto en la productividad del sorgo mediante microorganismos benéficos puede ser atribuido a sus diferentes mecanismos simbióticos (Vassey 2003, Smith y Read 2008). Mendoza *et al.* (2008) determinaron que la cepa CBG-497 de *A. brasilense* productora de auxinas y triptofano fue capaz de incrementar el rendimiento del grano de sorgo entre 5 y 23 %. Por otra parte, Caris *et al.* (1998) y Bressan *et al.* (2001) demostraron incrementos en la absorción de N, P, K, Fe, Zn y Cu con HMA en comparación con las plantas de sorgo no micorrizadas. Marschner y Dell (1994) y Morgan *et al.* (2005) señalan que cuando se establece la interacción planta-HMA, la primera transfiere al hongo de 4 a 20 % de los fotosasimilados netos, mientras que el hongo incrementa la asimilación de nutrientes con aportaciones de hasta 25 % de N, 80 % de P, 10 % de K, 25 % de Zn y 60 % de Cu. Grageda *et al.* (2012) y Xiang *et al.* (2012) señalan que son necesarios estudios con microorganismos benéficos en condiciones naturales ya que la mayoría se establecen en situaciones controladas.

CUADRO III. CARACTERÍSTICAS DE PRODUCTIVIDAD DE SORGO INFLUENCIADA POR TRATAMIENTOS DE BIOINOCULANTES CON 50% DE FERTILIZACIÓN QUÍMICA (FQ).

Tratamiento	Longitud de panoja (cm)	Granos/panoja	Peso de 100 granos	Grano (kg/ha)	Proteína (%)
Micorriza INIFAP + 50% FQ	28.8 a*	1889 a	2.69 a	7040 a	8.1
Ferbilibiq + 50% FQ	28.7 a	1776 ab	2.58 ab	6740 ab	8.0
Biofertiluap-Sorghum + 50% FQ	28.6 a	1876 a	2.57 ab	6910 a	8.2
100% FQ (120-40-00)	27.7 ab	1787 ab	2.56 b	6696 ab	8.2
Micorriza INIFAP	27.0 b	1704 b	2.53 b	6518 b	7.7
Testigo absoluto	26.1 b	1602 c	2.50 b	6007 c	7.1
P>F=	0.04	0.03	0.002	0.001	0.209
CV (%)=	3.5	10.3	1.3	12.2	11

*Letras distintas denotan diferencias significativas Tukey (P < 0.05).

Adicionalmente, los microorganismos también juegan un papel importante en la fertilidad del suelo ya que modifican sus características químicas, las que están sujetas a las interacciones particulares entre suelo, planta y microorganismos, lo que da como resultado su capacidad amortiguadora de fertilidad en función del tiempo (Baera 1991, Mader *et al.* 2000). Uno de los retos más importantes en la agricultura actual es la creación o incorporación de prácticas racionales naturales en los sistemas de producción que reduzcan el uso de agua, de plaguicidas y de fertilizantes, pero sin que se tenga un impacto negativo en la cantidad y calidad de la producción. En el presente estudio se demostró la competitividad en el rendimiento del grano de sorgo entre los bioinoculantes utilizados con la mitad de la fertilización química y la fertilización completa (100 %). Desde el punto de vista de manejo agroecológico, la reducción de la fertilización a través de estos bioproductos puede representar una práctica viable que promueva una mejor conservación de los sistemas de producción.

CONCLUSIONES

En el estado de hoja bandera del sorgo, los bioinoculantes comerciales combinados con la mitad de la fertilización química (50 % FQ) no manifestaron efectos en índice de clorofila y biomasa aérea fresca y seca en relación con el 100 % de FQ o testigo absoluto. Aunque en la fase de madurez las características de productividad del sorgo mostraron efectos significativos positivos por efecto de los bioinoculantes. Los resultados indican que la Micorriza INIFAP, Ferbiliq o Biofertiubap-Sorghum, al combinarse con el 50 % FQ, igualaron o superaron al 100 % de FQ en la productividad del sorgo.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Dirección de Bioeconomía de SAGARPA por el apoyo otorgado para la realización de este trabajo a través del convenio No. S2341HA4310111.

REFERENCIAS

- Adesemoye A.O. y Klopper J.W. (2009). Plant-microbes interactions in enhanced fertilizer-use efficiency. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 85, 1-12.
- Baera J.M. (1991). Vesicular-arbuscular mycorrhizae as modifiers of soil fertility. *Adv. Soil Sci.* 15, 1-40.
- Bressan W., Siqueira J.O., Vasconcellos C.A. y Purcino A.A. (2001). Mycorrhizal fungi and phosphorus on growth, yield and nutrition of intercropped grain sorghum and soybean. *Pesquisa Agrop. Bras.* 36, 315-323.
- Caris C., Hordt W., Hawkins H., Romheld V. y George E. (1998). Iron transport by arbuscular mycorrhizal hyphae from soil to peanut and sorghum plants. *Mycorrhiza* 8, 35-39.
- Carpio A.L., Davies T.F. y Arnold A.M. (2005). Arbuscular mycorrhizal fungi, organic and inorganic controlled-release fertilizers: Effect on growth and leachate of container-grown bush morning glory (*Ipomoea carnea* ssp. *fistulosa*) under high production temperatures. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 130, 131-139.
- Castillo R.C., Sotomayor S.L., Ortiz O.C., Leonelli C.G., Boire B.B. y Rubio H.R. (2009). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on an ecological crop of chili peppers (*Capsicum annuum* L.) Chilean *J. Agr. Res.* 69, 79-87.
- Desgan Y.H., Kusvaran S. y Ortas I. (2008). Responses of soilless grown tomato plants to arbuscular mycorrhizal fungal (*Glomus fasciculatum*) colonization in re-cycling and open systems. *Afr. J. Biotech.* 7, 3606-3613.
- Díaz F.A., Cortinas E.H., Valadez G.J., De la Garza C.M. y Peña del Río M.A. (2013). Micorriza arbuscular en sorgo bajo diferente manejo agrotecnológico y ambiental. *Rev. Mex. Cien. Agr.* 4, 215-228.
- Díaz F.A., Pecina Q.V., Montes G.N., Jaques H.C. y Garza C.I. (2011). Impacto de inoculantes microbianos en sorgo cultivado bajo déficit de humedad en el suelo. En: *Retos de la Investigación del Agua en México* (S.O. Oswald, Ed.). UNAM/CONACYT, México, pp. 273-282.
- Díaz M.R., Díaz F.A., Garza C.I. y Ramírez L.A. (2007). Brassinoesteroides e inoculación de micorriza arbuscular (*Glomus intraradices*) en el crecimiento y producción de sorgo en campo. *Terra Latinoamer.* 25, 77-83.
- Glick B.R., Patten C.L., Holguin G. y Penrose D.M. (1999). Biochemical and genetic mechanisms used by plant growth promoting bacteria. Imperial College Press, Londres, Reino Unido, 267 pp.
- Grageda C.O., Díaz F.A., Peña C.J. y Vera N.J. (2012). Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. *Rev. Mex. Cien. Agr.* 3, 1261-1274.
- Hungria M., Rubens C., Souza E. y Pedrosa F. (2010). Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yield of maize and wheat in Brazil. *Plant Soil* 331, 413-425.
- Irizar G., Vargas P., Garza D., Tut C., Rojas M., Trujillo A., García R., Aguirre D., Martínez J., Alvarado S., Grageda O., Valero J. y Aguirre J. (2003). Respuesta de cultivos agrícolas a los biofertilizantes en la región central de México. *Agr. Téc. Méx.* 29, 213-225.

- Mader P., Endenhofer S., Boller T., Wienken A. y Niggli U. (2000). Arbuscular mycorrhizae in long-term field trial comparing low-input (organic, biological) and high-input (conventional) farming systems in a crop rotation. *Biol. Fert. Soils* 31, 150-156.
- Marschner H. y Dell B. (1994). Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant Soil* 159, 89-102.
- Mendoza H.A., Cruz A. y Jaques H.C. (2008). Aislamiento, selección y evaluación de un inoculante basado en cepas nativas de *Azospirillum* en el norte de Tamaulipas. En: *La Biofertilización como Tecnología Sostenible* (F.A. Díaz y P.N. Mayek, Eds.). Plaza y Valdés/CONACyT, México, pp. 137-152.
- Morgan J.A., Bending G.D. y White P.J. (2005). Biological cost and benefits to plant-microbe interactions in the rhizosphere. *J. Exp. Bot.* 56, 1729-1739.
- Olalde P.V. y Serratos R. (2008). Biofertilizantes: Micorrizas y bacterias promotoras de crecimiento. En: *La Biofertilización como Tecnología Sostenible* (F.A. Díaz y P.N. Mayek, Eds.). Plaza y Valdés/CONACyT, México, pp. 67-72.
- Olsen C.V., Watanabe W.S. y Dean L.A. (1954). Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. USDA. Circular No. 939, EUA, 19 pp.
- Plenecassange A., Romero F.E. y López B.C. (1999). Manual de laboratorio para el análisis de suelo, planta y agua. INIFAP-ORSTOM. Gómez Palacio, Durango, México, 379 pp.
- Rosales R.E., Montes G.N. y Reyes M.C. (2006). Tecnología para la producción de sorgo en el norte de Tamaulipas. Memoria Técnica No. 2. Campo Experimental Río Bravo, INIFAP, Río Bravo, México, 61 pp.
- Sharma M., Reddy U. y Adholeya A. (2011). Response of arbuscular mycorrhizal fungi on wheat (*Triticum aestivum*) grown conventionally and on beads in sandy loam soil. *Indian J. Microbiol.* 3, 384-389.
- Sharma S., Gupta R., Dugar G. y Srivastava A. (2012). Impact of application of biofertilizers on soil structure and resident microbial community structure and function. In: *Bacteria in Agrobiolgy: Plant Probiotics* (D.K. Maheshwari, Ed.). Hauz Khas, Nueva Delhi, India, pp. 65-79.
- Smith S.E. y Read D.J. (2008). *Mycorrhizal Symbiosis*. 3a. ed. Academic Press, Londres, Reino Unido, 320 pp.
- Vassey J.K. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant Soil* 255, 571-586.
- Vosátka M., Albrechtová J. y Patten R. (2008). The international market development for mycorrhizal technology. *Mycorrhiza* 18, 419-438.
- Widada J., Damarjaya D.I. y Kabirum S. (2007). The interactive effects of arbuscular mycorrhizal fungi and rhizobacteria on the growth and nutrients uptake of sorghum in acid soil. En: *First international meeting on microbial phosphate solubilization* (E. Velázquez y B. Rodríguez, Eds.). Madrid, España, pp. 173-177.
- Xiang W., Zhao L., Xu X., Qin Y. y Yu G. (2012). Mutual information flow between beneficial microorganisms and the roots of host plants determined the bio-functions of biofertilizers. *Amer. J. Plant Sci.* 3, 1115-1120.