

Biofertilización en híbridos de maíz androestériles y fértiles para los Valles Altos de México¹

Use of a bio-fertilizer on male-sterile and fertile maize hybrids for the High Valleys of Mexico¹

Margarita Tadeo Robledo², J. Jesús García Zavala³, Hugo Jesús Alcántar Lugo²,
Ricardo Lobato Ortiz³, Noel O. Gómez Montiel⁴, Mauro Sierra Macías⁵,
Martha Blanca Guadalupe Irizar Garza⁶, Roberto Valdivia Bernal⁷, Job Zaragoza Esparza²,
Beatriz Martínez Yáñez², Consuelo López López²,
Alejandro Espinosa Calderón^{6‡} y Antonio Turrent Fernández⁶

¹ Este trabajo es parte del proyecto de investigación PAPIIT: IT201312-3, UNAM, México. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. UNAM.

² Facultad de Estudios Superiores-Cuautitlán, UNAM. Carretera Cuautitlán-Teoloyucan km 2.5. San Sebastián Xhala. 54714 Cuautitlán Izcalli, Estado de México, México.

³ Programa de Genética, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco Km. 36.5. 56230 Montecillo, Estado de México, México.

⁴ Campo Experimental Iguala (CEIGUA), INIFAP. Carretera Iguala-Tuxpan km 2.5, Col. Apartado Postal 29. 40000 Iguala, Guerrero, México.

⁵ Campo Experimental Cotaxtla (CECOT), INIFAP. Carretera Federal Veracruz-Córdoba km 34.5. Apartado Postal 429. 91700 Medellín de Bravo, Veracruz, México.

⁶ Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX), INIFAP. Km 13.5 Carretera Los Reyes – Texcoco. 56250 Coatlinchán, Texcoco, Estado de México, México.

[‡] Autor responsable (espinoale@yahoo.com.mx)

⁷ Universidad Autónoma Nayarit. Ciudad de la Cultura “Amado Nervo”. 63155 Tepic, Nayarit, México.

RESUMEN

El uso de variedades mejoradas, así como biofertilizantes elaborados con hongos micorriza favorecen la nutrición y permiten complementar el uso de fertilizantes químicos, lo que podría incrementar la producción. El objetivo de este trabajo fue determinar el rendimiento de grano de los híbridos por efecto de la aplicación, y testigo sin aplicar, de micorriza (*Glomus intraradices*), en cinco híbridos de maíz en sus versiones fértiles y androestériles. La evaluación se realizó por medio de cuatro experimentos, dos ubicados en la Facultad de Estudios Superiores FES Cuautitlán-UNAM y dos en el Campo Experimental del Valle de México CEVAMEX - INIFAP, en Texcoco, México. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones; las siembras de los materiales se efectuaron en la segunda quincena de mayo y primera de junio de 2012. El análisis estadístico de los datos fue factorial, donde los factores principales fueron ambientes, genotipos, androesterilidad/fertilidad, aplicación o no de biofertilizante, así como las interacciones de los mismos. En los rendimientos se detectó significancia debido a los ambientes y genotipos, no así para ningún otro factor o interacciones. La media general

del rendimiento fue de 8294 kg ha⁻¹. El rendimiento obtenido en la segunda fecha de siembra en la FES Cuautitlán-UNAM fue de 9939 kg ha⁻¹, siendo superior al de la fecha 1 del CEVAMEX (6071 kg ha⁻¹). No hubo efecto de la aplicación de micorriza en el rendimiento medio de los híbridos (8310 kg ha⁻¹), el cual fue similar al del testigo sin aplicación de micorriza (8279 kg ha⁻¹). El genotipo con mayor rendimiento fue Tsiri PUMA, con 9557 kg ha⁻¹, y resultó diferente estadísticamente al del H-47 AE (8692 kg ha⁻¹). TSÍRI PUMA I y PUMA 1183 AE rindieron 8687 kg ha⁻¹ y 8150 kg ha⁻¹, respectivamente. Por otro lado, el rendimiento medio de la versión androestéril de los híbridos fue de 8447 kg ha⁻¹, siendo similar estadísticamente al promedio de la versión fértil (8142 kg ha⁻¹). Si bien la aplicación de micorriza a la semilla no propició un efecto significativo en el rendimiento promedio de los genotipos, es conveniente verificar en ciclos siguientes en los maíces androestériles y fértiles, con manejo de fechas de siembra diferentes, donde pudiera expresarse el efecto de *Glomus intraradices*, y contar con mayor información de la respuesta a este biofertilizante.

Palabras clave: producción de semillas, micorriza, variedades mejoradas, *Glomus intraradices*, *Zea mays*.

Cita recomendada:

Tadeo Robledo, M., J. J. García Zavala, H. J. Alcántar Lugo, R. Lobato Ortiz, N. O. Gómez Montiel, M. Sierra Macías, M. B. G. Irizar Garza, R. Valdivia Bernal, J. Zaragoza Esparza, B. Martínez Yáñez, C. López López, A. Espinosa Calderón y A. Turrent Fernández. 2017. Biofertilización en híbridos de maíz androestériles y fértiles para los Valles Altos de México¹. *Terra Latinoamericana* 35: 65-72.

Recibido: julio de 2016. Aceptado: diciembre de 2016.

Publicado en *Terra Latinoamericana* 35: 65-72.

SUMMARY

The use of improved maize varieties and biofertilizers made with mycorrhizal fungi favor nutrition and complement the use of chemical fertilizers to increase production. The objective of this study was to determine the effect of application of mycorrhiza (*Glomus intraradices*) on grain yield of five maize hybrids in their fertile and male sterility versions and compared with an untreated control. The evaluation was carried out in four experiments: two located in the Facultad de Educación Superior, FES Cuautitlán-UNAM, and two in the Experimental Stations of the Valley of Mexico CEVAMEX-INIFAP, in Texcoco, Mexico. The objective was to study the effect of the biofertilizer on grain yield of hybrids. A complete randomized block design with four replicates was used; the experiments were planted in the second half of May and first half of June 2012. Statistical analysis of the data was factorial, where the main factors were environments, genotypes, male sterility / fertility, application or not of biofertilizer, as well as interactions. For grain yield, significances were detected for environments and for genotypes, but not for any other factor or interaction. The overall mean grain yield was 8294 kg ha⁻¹. The yield obtained from the crop planted on the second planting date at FES Cuautitlán-UNAM was 9939 kg ha⁻¹, which was higher than that of the crop planted on the first date at CEVAMEX (6071 kg ha⁻¹). There was no effect of mycorrhiza application on the average yield of the hybrids (8310 kg ha⁻¹), which was similar to the control without mycorrhiza (8279 kg ha⁻¹). The highest yielding genotype was Tsíri PUMA, with 9557 kg ha⁻¹, which was statistically different from H-47 AE (8692 kg ha⁻¹). Tsíri PUMA I yielded 8687 kg ha⁻¹ and PUMA 1183 AE 8150 kg ha⁻¹. Average yield of the male-sterility version of the hybrids was 8447 kg ha⁻¹, which was statistically similar to the average of the fertile version (8142 kg ha⁻¹). Although application of mycorrhiza to seed did not have a significant effect on the average yield of the genotypes, it is recommendable to verify this result in fertile and male-sterile maize in subsequent seasons, managing different sowing dates, so that the effect of *Glomus intraradices* can be expressed and could provide more information on the response to this biofertilizer.

Index words: seed production, mycorrhiza, improved varieties, *Glomus intraradices*, *Zea mays*.

INTRODUCCIÓN

En México se siembran anualmente 8.5 millones de hectáreas de maíz (*Zea mays* L.) y se producen alrededor de 22 millones de toneladas de grano; sin embargo, cada año se recurre a la importación de siete millones de toneladas de grano entero de maíz y de tres millones de toneladas de grano quebrado, que se explican, en parte, por el rendimiento promedio bajo que se obtiene, que es de 2.8 Mg ha⁻¹ (Turrent-Fernández, 2009).

Una alternativa para elevar la producción de maíz en México es el uso de variedades mejoradas, entre las que se encuentran los híbridos (Ortiz-Cereceres *et al.*, 2007; Espinosa-Calderón *et al.*, 2009), aunado al uso de prácticas y técnicas eficientes de cultivo; entre éstas últimas se reconoce que una adecuada fertilización puede incrementar la producción (Virgen-Vargas *et al.*, 2010; Tadeo-Robledo *et al.*, 2012).

Con la clausura y cierre de Fertilizantes Mexicanos (FERTIMEX) y la constante importación de fertilizantes en México, los precios de éstos se han incrementado considerablemente, lo que hace prohibitivo el empleo de fertilizantes químicos para muchos productores (Irizar *et al.*, 2003). Con las limitaciones en el uso de fertilizantes inorgánicos, una alternativa a explorar es el uso de los biofertilizantes usados extensivamente a partir de 1999, por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en maíz, trigo, sorgo, entre otros (Díaz-Franco *et al.*, 2008; Grageda-Cabrera *et al.*, 2012).

Los biofertilizantes elaborados con hongos micorriza son productos benéficos que se asocian a las raíces de las plantas y favorecen su nutrición. Están presentes en todos los suelos agrícolas y su asociación con las plantas es benéfica tanto para la planta como para la micorriza debido al intercambio de sustancias nutritivas. La micorriza permite a la planta incrementar la exploración de la raíz con un aumento en la absorción y transporte de nutrientes como fósforo, nitrógeno, cobre, zinc y agua del suelo, proporcionándole mayores ventajas para su desarrollo y productividad. Estos biofertilizantes no contaminan ni causan daño al suelo, ni a la planta, incrementan el rendimiento de los cultivos a un bajo costo y permiten complementar el uso de fertilizantes químicos principalmente los nitrogenados y fosfatados (Irizar-Garza *et al.*, 2003; Díaz *et al.*, 2008; González-Camarillo *et al.*, 2012).

Con el fin de aportar elementos que apoyen el uso de los biofertilizantes en maíz en los Valles Altos de

México (2200 a 2600 m), el objetivo de este trabajo fue determinar la respuesta en productividad de grano de cinco híbridos trilineales de maíz, cada uno en sus versiones androestéril y fértil, ante la aplicación de un biofertilizante a base de una micorriza arbuscular (*Glomus intraradices*), en comparación con un testigo sin aplicación de biofertilizante.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos se establecieron en el ciclo primavera-verano 2012 en cuatro ambientes. Dos experimentos se realizaron en el Campo Experimental de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FESC-UNAM) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM *campus* Cuautitlán), ubicado a una altitud de 2252 m. Los otros dos experimentos se establecieron en el Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX) del INIFAP, ubicado en Santa Lucía de Prías, Coatlínchán, Texcoco, Estado de México, a una altitud de 2240 m (García, 2004). En cada una de las localidades los experimentos se establecieron con diferencia en las fechas de siembra.

En los cuatro experimentos se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. El análisis estadístico de los datos se efectuó en forma combinada, considerando los factores: ambientes (4), híbridos (5), versión androestéril/fértil (2), tratamientos con y sin biofertilizante (2), así como las interacciones entre estos factores. Cada unidad experimental consistió en un surco de 5 metros de largo por 0.8 de ancho. Los híbridos utilizados fueron H-47 AE (Espinosa-Calderón *et al.*, 2010; Tadeo-Robledo *et al.*, 2012), desarrollados en el INIFAP en colaboración con investigadores de la UNAM; Tsiri PUMA, Tsiri PUMA 2, PUMA 1187 AEC1 y PUMA 1183 AEC2 (Tadeo-Robledo *et al.*, 2010; Espinosa-Calderón *et al.*, 2012).

En los cuatro ambientes la preparación del terreno consistió de un barbecho, dos pasos de rastra, cruza y surcado a 80 cm. Se empleó la fórmula de fertilización 80-40-00, la cual se aplicó al surcar. Se utilizó urea como fuente de nitrógeno (46-00-00) en los cuatro ambientes, y fosfato diamónico como fuente de fósforo, este último se aplicó en la UNAM *campus* Cuautitlán, mientras que en Santa Lucía de Prías se aplicó superfosfato de calcio triple. Se consideró la aplicación del tratamiento fertilizante 80-40-00, en los cuatro ambientes, nivel bajo de fertilización, con referencia

a 150-60-00, que es el que se emplea en el manejo del cultivo de maíz comercial en la zona. Se utilizó un biofertilizante producido y comercializado por el INIFAP, elaborado a base de una micorriza arbuscular (*Glomus intraradices*). La semilla necesaria para sembrar un surco de 5 m de largo se colocó en sobres, con un golpe de tres semillas cada 50. Esta semilla no estaba tratada con ningún tipo de agroquímico.

Las semillas de los tratamientos con biofertilizante se prepararon en el laboratorio del CEVAMEX. Se les aplicó miel como adherente para el producto comercial y agua, se mezclaron mecánicamente hasta tener una mezcla homogénea, y posteriormente se les agregó el biofertilizante a razón de 1 kg de micorriza por 40 kg de semilla. La proporción de concentración fue de 40 esporas por gramo, con 85% de colonización radical.

La cosecha en los cuatro experimentos, se realizó a fines de noviembre de 2012, en forma manual. Se cosecharon todas las mazorcas de la parcela, sanas y dañadas. Al final, se seleccionaron solamente las mazorcas que tenían más de 60% de grano comercial.

En una muestra representativa de cinco mazorcas por parcela se determinaron el porcentaje de humedad del grano, mediante un determinador de humedad electrónico Burrows® modelo 700, así la relación grano/olote, que se obtuvo al dividir el peso del grano de cinco mazorcas recién cosechadas entre el peso del grano más olotes y el cociente se multiplicó por 100. Se tomaron al azar cinco mazorcas por parcela, a las cuales se les determinó longitud de la mazorca, número de hileras por mazorca y el número de granos por hilera.

El rendimiento de grano (kg ha⁻¹) al 14% de humedad, se calculó mediante la fórmula:

$$\text{Rendimiento} = (\{PC \times \% MS \times \% G\} \times FC) / 8600$$

dónde: PC = peso de campo del total de mazorcas cosechadas por parcela, expresado en kilogramos; % MS = porcentaje de materia seca, calculado con base en la muestra de grano de cinco mazorcas recién cosechadas; % G = porcentaje de grano, que es la relación peso de grano/peso de mazorca; FC = factor de conversión para obtener rendimiento de grano por ha⁻¹; se obtuvo al dividir 10 000 m² entre el tamaño de la parcela útil, que fue de 4 m², 8600 = es un valor constante que permite estimar el rendimiento de grano con un contenido de humedad del 14% humedad, utilizado en la semilla comercial.

Se analizaron los siguientes factores de variación:

ambientes (A), con cuatro ambientes; genotipos (G), con cinco híbridos; versiones de los híbridos, con dos niveles: androestéril o fértil (AE); la aplicación de biofertilizante, con dos niveles: con aplicación o testigo sin aplicar (B), así como todas las interacciones: $G \times AE$, $G \times B$, $A \times G$, $A \times AE$, $A \times B$, $G \times AE \times B$, $A \times G \times AE$, $A \times G \times B$, $A \times G \times AE \times B$. Para la comparación de medias se aplicó la prueba de Tukey al 0.05 de probabilidad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En rendimiento se detectaron diferencias altamente significativas debido a los diferentes ambientes e híbridos, pero no entre tratamientos con y sin biofertilizante, ni tampoco entre versiones de los híbridos, androestériles y fértiles. Para esta misma variable, ninguna de las interacciones mostró diferencias significativas. Entre ambientes hubo diferencias altamente significativas para número de días a floración masculina y femenina, altura de planta y de mazorca, longitud de mazorca, número de hileras por mazorca, número de granos por hilera y número de granos por mazorca (Cuadro 1). Entre los híbridos, hubo diferencias significativas para días a floración masculina y femenina, altura de planta y de mazorca, hileras por mazorca y granos por mazorca; sin embargo, no se detectaron diferencias para longitud de mazorca y granos por hilera (Cuadro 2). La media de rendimiento fue de 8294 kg ha^{-1} y el coeficiente de variación (CV) fue de 17.8%. Entre las versiones androestériles y fértiles de los híbridos se detectaron diferencias altamente significativas para días a floración masculina, pero si se detectaron diferencias significativas ($P < 0.05$) para

altura de planta. Para las otras variables medidas no se detectaron diferencias significativas.

En la comparación de medias para rendimiento entre ambientes, hubo cuatro grupos de significancia (Cuadro 1), los promedios del rendimiento de los ambientes fueron diferentes entre sí. El rendimiento mayor (9939 kg ha^{-1}) se obtuvo en los terrenos de la FESC-UNAM *campus* Cuautitlán en la segunda fecha de siembra (primera quincena de mayo). La segunda fecha de siembra presentó rendimientos mayores con respecto a la primera en las dos localidades, lo cual se debe al estrés en las plantas por falta de humedad (sequía) en la primera fecha de siembra, lo cual no ocurrió en los experimentos sembrados en la segunda fecha, coincidiendo estos resultados con los reportados por Tadeo-Robledo *et al.* (2014).

La comparación de medias entre los híbridos evaluados indicó que el rendimiento más alto correspondió a Tsiri PUMA, con 9557 kg ha^{-1} , diferente estadísticamente al de los híbridos H-47 AE y Tsiri PUMA 2, que rindieron 8692 kg ha^{-1} y 8687 kg ha^{-1} , respectivamente (Cuadro 2). Lo anterior indica que la conformación genética por el origen de los progenitores y los híbridos poseen productividad diferente. El híbrido Tsiri PUMA se desarrolló en el programa de mejoramiento genético de la FESC-UNAM y recientemente fue inscrito en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales (CNVV), con el número de registro MAZ-1571-290514 (Tadeo-Robledo *et al.*, 2014). Este híbrido es resultado de trabajos con el esquema de androesterilidad que se realiza desde 1992 con investigadores de la UNAM *campus* Cuautitlán, (Tadeo-Robledo *et al.*, 2010; Tadeo-Robledo *et al.*, 2014).

Cuadro 1. Comparación de medias de variables de respuesta del maíz entre cuatro ambientes de evaluación considerando el promedio de cinco híbridos en sus versiones fértiles y androestériles con y sin aplicación de biofertilizante. Primavera-verano, 2012.

Ambientes	Rendimiento	Floración masculina	Floración femenina	Altura planta	Altura mazorca	Longitud mazorca	Hileras por mazorca	Granos por hilera	Granos por mazorca
	kg ha^{-1}	Días		cm					
F2 FESC	9939 a [†]	81 a	82 a	227 c	116 c	15.1 b	16 a	31 b	486 a
F1 FESC	8911 b	77 b	78 b	250 b	139 a	15.7 a	15 a	31 b	484 a
F2 CEVAMEX	8254 c	75 d	76 c	248 b	127 b	14.9 bc	14 b	32 a	475 a
F1 CEVAMEX	6071 d	76 c	78 b	265 a	126 b	14.7 c	14 b	29 c	437 b
D.S.H. (0.05)	607	0.7	0.8	7	5	0.5	0.4	1	22

F1 = fecha de siembra en primera quincena de mayo; F2 = fecha de siembra en la segunda quincena de mayo. [†] Medias con igual letra en la misma columna no son estadísticamente diferentes (Tukey $P = 0.05$); DHS = Diferencia Honesta Significativa.

Cuadro 2. Comparación de medias para diferentes variables entre cinco híbridos de maíz en sus versiones fértiles y androestériles considerando el promedio de la aplicación y no aplicación de biofertilizante evaluados en cuatro ambientes. Primavera-verano, 2012.

Genotipo	Rendimiento	Floración masculina	Floración femenina	Altura planta	Altura mazorca	Longitud mazorca	Hileras por mazorca	Granos por hilera	Granos por mazorca
	kg ha ⁻¹	Días		cm					
TSÍRI PUMA	9557 a [†]	77 bc	78 bc	249 a	124 b	15.4 a	16 a	31 a	482 a
H-47 AE	8692 b	76 c	77 c	258 a	145 a	15.0 ab	16 a	31 a	491 a
TSÍRI PUMA 2	8687 b	77 bc	78 bc	254 a	119 b	14.7 b	15 b	30 a	467 ab
PUMA 1183 AE2	8150 b	77 bc	79 b	240 b	124 b	14.9 ab	15 b	31 a	446 b
P 1183 AE1	6385 c	79 a	81 a	237 b	122 b	15.1 ab	15 b	31 a	466 ab
D.S.H. (0.05)	721	0.8	1	8	6	0.6	0.4	1	26

[†] Medias con igual letra en la misma columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05); DHS = Diferencia Honesta Significativa.

El rendimiento superior del híbrido H-47 AE confirma resultados de trabajos anteriores, lo que perfila a este híbrido para su uso comercial, inscrito también ante el CNVV, con el número 3151-MAZ-1656-300615/C, con lo cual se promueve su siembra extensiva en los Valles Altos. Este material se obtuvo paralelamente al híbrido H-51 AE, el cual se liberó recientemente por el CEVAMEX-INIFAP (Tadeo-Robledo *et al.*, 2013), lo que también confirma resultados previos reportados para el H-47 (Espinosa-Calderón *et al.*, 2010).

La comparación de medias para el rendimiento entre las versiones androestériles y fértiles de los genotipos mostró que los valores de la producción de grano, en promedio de híbridos, fueron similares entre la versión androestéril y la versión fértil (Cuadro 3). El resultado anterior contrasta con el de otros trabajos similares, donde se encontró que las versiones androestériles mostraron rendimientos estadísticamente superiores a los de las versiones fértiles (Martínez-Lazaro *et al.*, 2005; Tadeo-Robledo *et al.*, 2007). Por otra parte, el rendimiento similar entre las dos versiones confirma

que los materiales son isogénicos y que la diferencia entre ambos fue la presencia o ausencia de polen en las espigas.

La comparación de medias entre versiones, para las demás variables evaluadas, indicó que no hubo diferencias significativas para floración femenina, altura de mazorca, longitud de mazorca, granos por hilera y granos por mazorca; este resultado se atribuye a que las versiones son isogénicas, es decir, son genéticamente similares, excepto para los genes génico-citoplásmicos relacionados con la esterilidad masculina tipo C, que causan que en la versión androestéril no haya producción de polen, mientras que en la fértil sí (Tadeo-Robledo *et al.*, 2007; Tadeo-Robledo *et al.*, 2010; Tadeo-Robledo *et al.*, 2012; Tadeo-Robledo *et al.*, 2013). Por otro lado, en otras variables como floración masculina, altura de planta e hileras por mazorca, aún cuando hubo diferencias, estas no fueron suficientes para afectar de manera significativa el rendimiento entre las versiones.

La comparación de medias de mayor trascendencia en este trabajo de investigación, por ser la parte medular

Cuadro 3. Comparación de medias entre las versiones fértiles y androestériles de cinco híbridos con y sin aplicación de biofertilizante, evaluados en cuatro ambientes para diferentes variables. Primavera-verano, 2012.

Versión Androestéril/Fértil	Rendimiento	Floración masculina	Floración femenina	Altura planta	Altura mazorca	Longitud mazorca	Hileras por mazorca	Granos por hilera	Granos por mazorca
	kg ha ⁻¹	Días		cm					
Androestéril	8447 a [†]	78 a	78 a	245 b	127 a	15.1 a	14 b	31 a	472 a
Fértil	8142 a	77 b	78 a	251 a	126 a	14.9 a	15 b	31 a	468 a
D.S.H. (0.05)	327	0.3	0.4	4	3	0.3	0.2	0.5	12

[†] Medias con igual letra en la misma columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05); DHS = Diferencia Honesta Significativa.

de los objetivos y la hipótesis propuestos, es la respuesta del rendimiento de grano de los híbridos evaluados a la aplicación de biofertilizante cada uno en versión androestéril y fértil, comparados con el testigo sin aplicación de biofertilizante. En el Cuadro 4, se observa que entre ambos tratamientos hubo rendimientos de grano estadísticamente similares, donde el rendimiento del tratamiento con biofertilizantes fue de 8310 kg ha⁻¹, y el del tratamiento sin biofertilizante de 8279 kg ha⁻¹, resultados similares a los reportados en otros estudios (Uribe-Valle y Dzib-Echeverría, 2006; Sánchez de la Cruz *et al.*, 2008). Los rendimientos similares de los tratamientos con y sin aplicación de biofertilizante, posiblemente fueron influenciados por la fertilización química que se aplicó previa a la siembra. Esta ausencia de respuesta al biofertilizante en tales condiciones se reportó previamente por Díaz-Franco (2008) y Sánchez de la Cruz *et al.* (2008), pero es contraria a los resultados del estudio de Cruz-Chávez (2007), quien encontró incrementos hasta de 21% en rendimiento en parcelas tratadas con *Glomus intraradices*. Asimismo, los resultados obtenidos en este trabajo no coinciden con los de Grageda-Cabrera *et al.* (2012), quienes encontraron un incremento superior a 11% en comparación con el testigo, en el rendimiento de grano de maíz con la biofertilización de *A. brasilense* y *Glomus intraradices*.

En la comparación de medias entre tratamientos con y sin biofertilizante para las demás variables evaluadas, no hubo diferencias significativas para ninguna de ellas (Cuadro 4). En todos los casos, la expresión de las variables en los tratamientos con y sin aplicación de biofertilizante fue similar, lo que ya se había detectado en trabajos previos realizados en la FESC-UNAM, acorde con ello, se obtuvieron resultados similares

al aplicar o no aplicar biofertilizante. Sin embargo, es recomendable aplicar biofertilizante en otras condiciones, por ejemplo, haciendo combinaciones de biofertilizantes que tengan un efecto en los materiales (Uribe-Valle y Dzib-Echeverría, 2006), o aplicar biofertilizante y sembrar la semilla sin aplicar fertilizantes químicos, para que el biofertilizante ayude a aprovechar los nutrimentos cuando es limitada su presencia. En este trabajo en los cuatro ambientes de evaluación, se aplicó una dosis baja de fertilizante químico, pero en trabajos futuros pueden incluirse tratamientos sin fertilizante y combinaciones de niveles de fertilizante con aplicación de biofertilizantes, para definir con precisión el efecto probable en estas condiciones, como lo reporta González-Camarillo *et al.* (2012), quien encontró incrementos en rendimiento con niveles de fertilización de 90-60-00 y aplicación de biofertilizante.

Los resultados de este trabajo para los tratamientos con y sin biofertilizante también contrastan con los de Grageda-Cabrera *et al.* (2012), quien reportó rendimientos de maíz de 10 069 kg ha⁻¹ en parcelas biofertilizadas con micorriza, y de 9336 kg ha⁻¹ en el tratamiento testigo, lo que significó una diferencia del 8%. Por su parte González-Camarillo *et al.* (2012), en dos parcelas de validación con el híbrido de maíz H-565 y la dosis de fertilización de 90-60-00 aplicada al testigo y a parcelas tratadas con micorriza INIFAP, reportó un rendimiento promedio de 6900 kg ha⁻¹ para el testigo y de 7700 kg ha⁻¹ para el tratamiento con micorriza; esta diferencia representa 11% más de rendimiento utilizando micorriza INIFAP. Estos resultados indican la conveniencia de verificar en ciclos siguientes los resultados de los maíces androestériles y fértiles, con un manejo de fechas de siembra diferentes donde

Cuadro 4. Comparación de medias de rendimiento y otras variables entre tratamientos con y sin aplicación de biofertilizante, considerando el promedio de cinco híbridos en sus versiones fértiles y androestériles evaluados en cuatro ambientes. Primavera-verano, 2012.

Fertilización	Rendimiento	Floración masculina	Floración femenina	Altura planta	Altura mazorca	Longitud mazorca	Hileras por mazorca	Granos por hilera	Granos por mazorca
	kg ha ⁻¹	- - - -	Días - - - -	- - - -	- - - -	cm - - - -	- - - -	- - - -	- - - -
Con Biofertilizante	8310 a [†]	77 a	78 a	249 a	127 a	15.1 a	15 a	31 a	469 a
Sin Biofertilizante	8279 a	77 a	78 a	247 a	127 a	14.9 a	15 a	31 a	472 a
D.S.H. (0.05)	327	0.3	0.4	4	3	0.3	0.2	0.5	12

[†] Medias con igual letra en la misma columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05); DHS = Diferencia Honesta Significativa.

podiera expresarse el efecto de *Glomus intraradices*, pero sobre todo para tener mayor información de la respuesta a este biofertilizante del INIFAP.

CONCLUSIONES

La aplicación de micorriza a la semilla de maíz no propició un efecto significativo en el rendimiento promedio de los genotipos (9039 kg ha⁻¹), pues éste resultó similar estadísticamente al rendimiento del testigo al que no se le aplicó micorriza (8919 kg ha⁻¹). Por otro lado, el híbrido que expresó el rendimiento mayor fue Tsiri PUMA, con 9557 kg ha⁻¹, el cual fue diferente estadísticamente al resto de los híbridos. El rendimiento promedio de la versión androestéril de los híbridos (8447 kg ha⁻¹) fue estadísticamente igual al de la versión fértil de los mismos (8142 kg ha⁻¹), aunque superior numéricamente en 300 kg ha⁻¹. Finalmente, el mejor ambiente de evaluación fue la segunda fecha de siembra en la FESC-UNAM, campus Cuautitlán.

AGRADECIMIENTOS

Al proyecto de investigación PAPIIT: IT201215, UNAM, México. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. UNAM.

LITERATURA CITADA

- Díaz-Franco, A., J. Salinas G., I. Garza C. y N. Mayek P. 2008. Impacto de labranza e inoculación micorrizica arbuscular sobre la pudrición carbonosa y rendimiento de maíz en condiciones semiáridas. *Rev. Fitotec. Mex.* 31: 257-263.
- Espinosa-Calderón, A., M. Tadeo-Robledo, A. Turrent-Fernández, N. Gómez-Montiel, M. Sierra-Macías, F. Caballero-Hernández, R. Valdivia-Bernal y F. Rodríguez-Montalvo. 2009. El potencial de las variedades nativas y mejoradas de maíz. *Ciencias* 92-93: 118-125.
- Espinosa-Calderón, A., M. Tadeo-Robledo, B. Zamudio-González, A. Turrent-Fernández, I. Arteaga-Escamilla, V. Trejo-Pastor, B. Martínez-Yañez, E. Canales-Islas, J. Zaragoza-Esparza, M. Sierra-Macías, N. Gómez-Montiel, R. Valdivia-Bernal y A. Palafox-Caballero. 2012. Rendimiento de cruas simples de maíz en versión androestéril y fértil bajo diferentes densidades de población. *Cienc. Agríc. Inf.* 21: 78-85.
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen: para adaptarlo a las condiciones de la república mexicana. Serie Libros No. 6, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F.
- Grageda-Cabrera, O. A., A. Díaz-Franco, J. J. Peña-Cabriaes y J. A. Vera-Núñez. 2012. Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 3: 1261-1274.
- González-Camarillo, M., N. O. Gómez-Montiel, J. Muñiz-Espíritu, F. Valencia-Espinosa, D. Gutiérrez-Guillermo, H. Figueroa-López y H. Orlando. 2012. Rendimiento del maíz de riego tratado con zeolita más fertilizantes en el estado de Guerrero. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 3: 1129-1144.
- Irizar-Garza, M. B., P. Vargas-Vázquez, D. Garza-García, C. Tut y Couoh, I. Rojas-Martínez, A. Trujillo-Campos, R. García-Silva, D. Aguirre-Montoya, J. C. Martínez-González, S. Alvarado-Mendoza, O. Grageda-Cabrera, J. Valero-Garza y J. F. Aguirre-Medina. 2003. Respuesta de cultivos agrícolas a los biofertilizantes en la región central de México. *Agríc. Téc. Méx.* 29: 213-225.
- Martínez-Lázaro, C., L. Mendoza-Onofre, G. García-De Los Santos, M. C. Mendoza-Castillo y A. Martínez-Garza. 2005. Producción de semilla híbrida de maíz con líneas androfértiles y androestériles isogénicas y su respuesta a la fertilización y densidad de población. *Rev. Fitotec. Mex.* 28: 127-133.
- Ortiz-Cereceres, J., R. Ortega-Pazcka, J. D. Molina-Galán, M. Mendoza-Rodríguez, M. C. Mendoza-Castillo, F. Castillo-González, A. Muñoz-Orozco, A. Turrent-Fernández y A. Kato-Yamakake. 2007. Análisis de la problemática de la producción nacional de maíz y propuestas de acción. Grupo Xilonen, Universidad Autónoma Chapingo, Colegio de Postgraduados, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Chapingo, México.
- Sánchez de la Cruz, R., A. Díaz-Franco, V. Pecina-Quintero, I. Garza-Cano y J. Loera-Gallardo. 2008. *Glomus intraradices* y *Azospirillum brasilense* en trigo bajo dos regímenes de humedad en el suelo. *Univ. Cienc.* 24: 239-245.
- Tadeo-Robledo, M., A. Espinosa-Calderón, D. Beck-Lewis y J. L. Torres. 2007. Rendimiento de semilla de cruas simples fértiles y androestériles progenitoras de híbridos de maíz. *Agríc. Téc. Méx.* 33: 175-180.
- Tadeo Robledo, M., A. Espinosa-Calderon, J. Serrano R., M. Sierra-Macías, F. Caballero-Hernández, R. Valdivia-Bernal, N. Gómez-Montiel, A. Palafox-Caballero, F. A. Rodríguez-Montalvo y B. Zamudio-González. 2010. Productividad de diferentes combinaciones de semilla androestéril y fértil en dos híbridos de maíz. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 1: 273-287.
- Tadeo-Robledo, M., A. Espinosa-Calderón, N. Chimal, I. Arteaga-Escamilla, V. Trejo-Pastor, E. Canales-Islas, M. Sierra-Macías, R. Valdivia-Bernal, N. O. Gómez-Montiel, A. Palafox-Caballero y B. Zamudio-González. 2012. Densidad de población y fertilización en híbridos de maíz androestériles y fértiles. *Terra Latinoamericana* 30: 156-164.
- Tadeo-Robledo, M., A. Espinosa-Calderón, V. Trejo-Pastor, I. Arteaga-Escamilla, E. Canales-Islas, A. Turrent-Fernández, M. Sierra-Macías, R. Valdivia-Bernal, N. Gómez-Montiel, A. Palafox-Caballero y B. Zamudio-González. 2013. Eliminación de espiga y hojas en progenitores androestériles y fértiles de los híbridos trilineales de maíz 'H-47' y 'H-49'. *Rev. Fitotec. Mex.* 36: 245-250.
- Tadeo-Robledo, M., A. Espinosa-Calderón, A. Turrent-Fernández, B. Zamudio-González, R. Valdivia-Bernal y P. A. Meza. 2014. Productividad de grano de cuatro híbridos trilineales de maíz en versión androestéril y fértil. *Agron. Mesoam.* 25: 45-52.
- Turrent-Fernández, A. 2009. Potencial productivo de maíz. *Ciencias* 92-93: 126-129.

Uribe-Valle, G. y R. Dzib-Echeverría. 2006. Micorriza arbuscular (*Glomus intraradices*), *Azospirillum brasilense* y Brassinoesteroide en la producción de maíz en suelo luvisol. *Agric. Téc. Méx.* 32: 67-76.

Virgen-Vargas, J., J. L. Arellano-Vázquez, I. Rojas-Martínez, M. A. Ávila-Perches y G. F. Gutiérrez-Hernández. 2010. Producción de semilla de cruza simples de híbridos de maíz en Tlaxcala, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 33: 107-110.