

MICORRIZA ARBUSCULAR (*Glomus intraradices*), *Azospirillum brasilense* Y BRASSINOESTEROIDE EN LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ EN SUELO LUVISOL*

VESICULAR ARBUSCULAR MYCORRHIZAL (*Glomus intraradices*), *Azospirillum brasilense* AND BRASSINOESTEROID ON YIELD OF MAIZE IN LUVISOL SOIL

Gabriel Uribe Valle^{1§} y Roberto Dzib Echeverría¹

¹Programa de Maíz. Campo Experimental Uxmal, INIFAP. Apartado Postal 4-50, Avenida Pérez Ponce. 97101 Mérida, Yucatán, México. [§]Autor para correspondencia: uribe.gabriel@inifap.gob.mx

RESUMEN

En el estado de Yucatán se siembran poco más de 150 mil hectáreas de maíz y se obtiene un rendimiento medio de 0.836 t ha⁻¹. La mayor parte de la superficie sembrada es en condiciones de temporal por lo que la producción y su sostenibilidad dependen de la precipitación pluvial. El uso de fertilizantes químicos es importante en la obtención del rendimiento de maíz; sin embargo, es necesario explorar alternativas ecológicas y sustentables como el uso de microorganismos benéficos de la rizosfera y fitohormonas. El objetivo del presente trabajo fue comparar la aplicación de micorrizas (*Glomus intraradices*), *Azospirillum brasilense* y la fitohormona Brassinoesteroide con la aplicación de fertilizantes químicos convencionales. Se evaluaron ocho tratamientos más un testigo absoluto, durante cuatro años (2000 a 2002 y 2004), en el Campo Experimental Uxmal, Yucatán, México. Se utilizó un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones, y el análisis de los resultados obtenidos se realizó en un arreglo factorial considerando años y tratamientos. Se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los años de evaluación en: altura de planta, días a floración masculina y rendimiento; los días a floración masculina fue la única característica que mostró diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. Los tratamientos con

la inoculación de micorriza y *Azospirillum* produjeron rendimiento similar al obtenido con el testigo absoluto sin fertilización química.

Palabras clave: *Zea mays* L., fertilización química, microorganismos benéficos, rendimiento.

ABSTRACT

In the state of Yucatan more than 150 thousand hectares are planted with maize and the average yield is 0.836 t ha⁻¹. Most of the planted area is under rainfall conditions; therefore maize production and its sustainability depend solely on precipitation. In maize production, fertilizers are important to obtain high yields, however, the search for ecological alternatives such as beneficial rhizosphere microorganisms and phytohormones in order to reduce chemical fertilizer use, is needed. The aim of this study was to compare the use of mycorrhiza (VAM) (*Glomus intraradices*), *Azospirillum brasilense* and a Brassinosteroidal phytormone with chemical fertilizer. The study was conducted in a Luvisol soil during four years (2000 to 2002 and 2004) at Uxmal Experimental Station, Yucatan, Mexico. Eight treatments were evaluated including a negative check without fertilizer; the

* Recibido: Mayo de 2005
Aceptado: Abril de 2006

experimental design was a randomized complete-block with four replications and data analysis were done as a factorial design including years and treatments. Significant differences ($p < 0.05$) were detected for plant height, days to anthesis and grain yield among the years of evaluation. Days to male flowering was the only trait displaying significant differences ($p < 0.05$) among treatments. Treatments inoculated with mycorrhiza and azospirillum were similar in yield to the negative control.

Key words: *Zea mays* L. chemical fertilizer, beneficial microorganism, yield.

INTRODUCCIÓN

En México se sembraron de temporal cerca de 6.8 millones de hectáreas de maíz, con un rendimiento medio de 1798 kg ha⁻¹, en el período de 1980 a 2004 (SIAP, 2005); mientras que en el estado de Yucatán, en este mismo período, se estableció una superficie de poco más de 150 mil hectáreas en temporal, con un rendimiento medio de 836 kg ha⁻¹. En Yucatán el maíz se produce bajo diferentes condiciones de potencial productivo que van desde no apto y bajo, hasta muy bueno, tanto en el sistema mecanizado como en el de roza, tumba y quema. En ambos sistemas de producción se aplican distintas dosis de fertilizantes químicos, principalmente para satisfacer las necesidades de nitrógeno y fósforo, con fuentes comerciales como la fórmula 18-46-00 de N-P-K, que es la más utilizada. Las dosis que se aplican oscilan entre nulas o insuficientes respecto a las requeridas por el cultivo hasta cantidades excesivas, que se aplican según la experiencia y posibilidad de recursos económicos del productor. Para lograr una producción sustentable de maíz es necesario complementar la fertilización química con formas biológicas, para obtener en lo posible un impacto en la producción y en la conservación del medio.

Los microorganismos de la rizosfera han mantenido una relación estrecha con las plantas desde que estas últimas iniciaron la colonización de la tierra (Selosse y Le Tacon, 1998) y han mantenido el funcionamiento y la estabilidad de los ecosistemas a través de la influencia de la composición de las especies en las comunidades vegetales (Read, 1998).

El estudio de bacterias asociadas a las plantas es una línea que avanza muy lentamente en México (Okon y Labandera, 1994) no obstante, se han obtenido resultados satisfactorios al inocular diversos cultivos con *Azospirillum*, *Pseudomonas* y otros microorganismos, los cuales pueden alterar la velocidad de toma de nutrientes de las plantas por un efecto directo en las raíces, así como hacer más eficiente la absorción de los mismos (Brown y Bethlenfalvay, 1988; Cruz *et al.*, 1988; Young *et al.*, 1988; Bashan *et al.*, 1993; Bethlenfalvay, 1993; Linderman, 1993; Aguirre-Medina y Velasco-Zebadúa, 1994; Alarcón y Ferrera-Cerrato, 2000).

Las bacterias y los hongos son capaces de proveer a la planta diferentes nutrientes en forma asimilable. Esto puede ocurrir mediante diferentes procesos, por ejemplo, la inoculación de plantas con micorrizas contribuye a incrementar la absorción de agua y a solubilizar los minerales mediante la fosfatasa ácida, y a transformar el fósforo que se encuentra en el suelo, formando compuestos estables, en formas disponibles para la planta (Shafir *et al.*, 1972; Mosse, 1986; Bethlenfalvay, 1993; Linderman, 1993).

Los microorganismos se aplican al suelo para desempeñar funciones específicas que benefician a la productividad de las plantas como: fijación de nitrógeno, solubilización de minerales, producción de estimuladores del crecimiento vegetal y biocontrol de patógenos (Shafir *et al.*, 1972).

Las opciones técnicas para incrementar el desarrollo de los cultivos son diversas y algunas de ellas, como las hormonas, han tenido relevancia en la producción agropecuaria durante las últimas décadas. El Brassinoesteroide es un producto natural, con una estructura esteroide que estimula el desarrollo vegetal (Gross y Parthier, 1994; Cluouse y Sasse, 1998). Este tipo de hormonas se ha evaluado en Japón para incrementar el rendimiento (Gregory, 1981); en trigo aumentó el peso de las espigas y el tallo principal, y en maíz las plantas aumentaron significativamente la producción entre 18 y 33% (Mandava, 1988). El uso de microorganismos y de hormonas que estimulan el crecimiento de las plantas puede mejorar la eficiencia del uso de los fertilizantes fosfatados (Cruz *et al.*, 1988; Brown y Bethlenfalvay, 1988; Young *et al.*, 1988; Werner, 1992).

El objetivo del presente trabajo fue comparar la aplicación del hongo micorrízico arbuscular *Glomus intraradices*, la bacteria fijadora de nitrógeno *Azospirillum brasilense* y la fitohormona Brassinoesteroide con la aplicación de fertilizantes químicos en el cultivo de maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del sitio experimental

Los trabajos experimentales se establecieron en terrenos del Campo Experimental Uxmal, en Muna, Yucatán, México (20° 25' de latitud norte y 89° 46' de longitud oeste, a una altitud de 50 msnm), perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), durante cuatro años, (de 2000 a 2002 y 2004). El suelo es Luvisol ródico, cuyas características químicas se muestran en el (Cuadro 1). El clima del área es de tipo Aw₀, el cual es el más seco de los cálidos subhúmedos con lluvias en verano y un cociente de precipitación/temperatura menor de 43.2, con temperatura media anual de 25 °C y precipitación media anual de 900 mm (Uribe *et al.*, 2004).

Cuadro 1. Características químicas del suelo Luvisol ródico (K'ankab) en Uxmal, Yucatán, México. 2000-2002 y 2004.

| Característica | Profundidad (cm) | |
|---------------------------|------------------|-------|
| | 0-14 | 14-25 |
| C orgánico (%) | 1.54 | 1.44 |
| N total (%) | 0.250 | 0.246 |
| P (ppm) | 7 | 4 |
| K (ppm) | 626 | 69 |
| Ca (ppm) | 4720 | 3420 |
| Mg (ppm) | 1135 | 781 |
| pH (H ₂ O 1:1) | 7.6 | 7.6 |

ppm=partes por millón

Los contenidos registrados en el (Cuadro 1), según Castellanos *et al.* (2000), corresponden a los siguientes niveles: medio para carbón orgánico, bajo y muy bajo para fósforo, moderadamente alto y medio para potasio, alto y moderadamente alto para calcio, muy alto y moderadamente alto para magnesio y pH moderadamente alcalino. Las proporciones de K/Mg fueron 0.55 y 0.40 para las profundidades de 0-14 y 14-25 cm, respectivamente,

las cuales son adecuadas para la producción de granos básicos según lo establecido por Tisdale *et al.* (1993).

La preparación del terreno consistió en un barbecho, dos pasos de rastra y surcado a 0.80 m entre surcos; la siembra se realizó en forma manual con una distancia entre plantas de 0.50 m y dos plantas por cepa. Se utilizó como planta indicadora a la variedad de maíz de polinización libre V-539 de ciclo intermedio, la cual se sembró con una densidad de población de 50 000 plantas por hectárea, durante los años 2000 a 2002 y en el 2004.

Materiales

Los materiales microbiológicos utilizados fueron: micorriza (*Glomus intraradices*), producida por el INIFAP en dosis de 1.0 kg ha⁻¹; bacteria fijadora de nitrógeno (*Azospirillum brasilense*), generada por el INIFAP en presentación de turba en dosis de 350 g ha⁻¹ y la fitohormona Brassinoesteroide (CIDEF – 4), producida por la empresa Natura del Desierto, S. A., en dosis de 30 g ha⁻¹, en tres aplicaciones de 10 g ha⁻¹ cada una; la primera dosis se aplicó a la semilla y las dos restantes a las plantas a los 30 y 60 días después de siembra en aplicación foliar. Además, se utilizó la fertilización química convencional con los tratamientos 40-100-00, 26-66-00 y 13-33-00 kg ha⁻¹ de dosis aplicadas al momento de la siembra y se utilizó la fuente de fósforo diamónico complementado con urea.

Métodos

Los tratamientos que se evaluaron se presentan en el (Cuadro 2), los cuales se establecieron bajo un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. La parcela experimental fue de seis surcos de 5.0 m de largo (24 m²), con una parcela útil de 6.4 m².

Las variables de respuesta estudiadas fueron: altura de planta (m), días a floración masculina (50% de emisión de la flor masculina), área foliar (durante tres años) y rendimiento (t ha⁻¹). Los datos de las variables de estudio se sometieron a un análisis de varianza con arreglo factorial, donde los años correspondieron al factor A y los nueve tratamientos al factor B. La separación de medias se realizó mediante la prueba de diferencia mínima significativa (DMS) a niveles de significancia de $p \leq 0.01$ y 0.05.

En los cuatro años de evaluación se realizó un balance hídrico mensual durante los meses de junio a noviembre (período en el que el cultivo de maíz estuvo presente), calculado mediante la diferencia entre la precipitación ocurrida y la evaporación, según los datos recabados en la estación meteorológica del Campo Experimental Uxmal.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Condiciones hídricas

De los cuatro años de evaluación, el 2000 fue el único que durante la etapa de crecimiento del maíz se presentó un déficit hídrico en cinco de los seis meses, equivalente a 17.4 mm (Cuadro 3), lo que ocasionó un bajo rendimiento del cultivo. Así mismo, en 2002 se presentó déficit en tres meses, no obstante que en el mes de septiembre la precipitación fue muy abundante (616 mm) por la

presencia del huracán Isidore. El comportamiento de las variables climáticas tuvo un efecto directo sobre el comportamiento de las variables de respuesta observadas en el cultivo en cada uno de los años.

Altura de planta

El análisis de varianza practicado sólo reportó diferencias estadísticas significativas entre los años de evaluación ($p > F < 0.001$). El coeficiente de variación (CV) reportado para este análisis fue de 5.81%. De acuerdo con la separación de medias, el 2001 registró la mayor altura de planta (2.52 m), la cual estuvo asociada con la precipitación, ya que durante los meses de crecimiento del maíz (julio-septiembre) se registró un superávit de humedad (Cuadro 3); situación parecida se observó durante 2002 y 2004 con alturas similares de 2.31 y 2.29 m, respectivamente, en tanto que en 2000 se registró la menor altura (1.18 m) de todos los años de evaluación,

Cuadro 2. Tratamientos evaluados con microorganismos y fertilización química en maíz variedad V-539 en un suelo Luvisol ródico. Uxmal, Yucatán. México de 2000-2002 y en 2004.

| Número | Tratamiento | Clave |
|--------|---|--------------|
| 1 | Micorriza ^a + <i>Azospirillum</i> ^a sin N-P-K | M+A |
| 2 | Micorriza + <i>Azospirillum</i> + 13-33-00 de N-P-K | M+A+13-33-00 |
| 3 | Micorriza + <i>Azospirillum</i> + 26-66-00 de N-P-K | M+A+26-66-00 |
| 4 | Brassinoesteroide sin N-P-K | B |
| 5 | Brassinoesteroide + 26-66-00 de N-P-K | B+26-66-00 |
| 6 | Brassinoesteroide + 40-100-00 de N-P-K | B+40-100-00 |
| 7 | Micorriza + <i>Azospirillum</i> + Brassinoesteroide sin N-P-K | M+A+B |
| 8 | Fertilización química (N-P-K) | 40-100-00 |
| 9 | Testigo absoluto | 00-00-00 |

^a *Glomus intraradices* y *A. brasilense* producidos por INIFAP.

Cuadro 3. Balance hídrico durante el ciclo de cultivo de maíz variedad V-539, en un suelo Luvisol ródico. Uxmal Yucatán, México. 2000-2002 y 2004.

| Mes | 2000 | 2001 | 2002 | 2004 |
|------------|------------------|-------|-------|--------|
| | ----- (mm) ----- | | | |
| Junio | -3.6 | -27.1 | 190.6 | -203.4 |
| Julio | -147.7 | 29.1 | -72.7 | -78.2 |
| Agosto | -4.8 | 67.7 | 26.7 | 15.7 |
| Septiembre | 223.4 | 37.4 | 369.3 | 50.8 |
| Octubre | -40.2 | -83.4 | -76.6 | 189.2 |
| Noviembre | -44.4 | 44.0 | -91.1 | 56.5 |
| Suma | -17.4 | 67.8 | 346.2 | 30.6 |

asociada fuertemente con la baja precipitación ocurrida durante el período de crecimiento, ya que fue el año con menor precipitación (Cuadro 3).

Así mismo, no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos evaluados, es decir, tanto los microorganismos benéficos como la fitohormona, la fertilización química y el testigo absoluto tuvieron un comportamiento similar; resultados que contrastan con los reportados por quienes indican que mediante el uso de micorriza se mejora el crecimiento vegetal. A este respecto, Mitchell y Gregory (1972), reportaron un incremento en el crecimiento de frijol, soya y plantas maderables con la aplicación de Brassinoesteroide. Por otra parte, Steffens *et al.* (1979), Yopp *et al.* (1981) y Gregory y Mandava (1982), manifestaron que el crecimiento puede ser menor cuando el Brassinoesteroide se aplica en plantas con algún deterioro y cuando están con estrés; lo anterior concuerda con los resultados indicados por Gregory y Mandava (1982), que mencionan que el Brassinoesteroide puede no tener efecto o ser éste muy pequeño en condiciones de órganos maduros. También son similares con los resultados reportados por Key (1969), Krizek y Worley (1973), Yopp *et al.* (1981) y Krizek y Mandava (1982), quienes indican que el Brassinoesteroide puede no tener efecto sobre el crecimiento de las plantas como un resultado de la alteración en el espectro cuántico e intensidad de la luz, ocurridos durante el crecimiento de las plantas. De igual forma, la promoción del crecimiento puede ser disminuida en ocasiones por el ácido abscísico y otros inhibidores del crecimiento (Yopp *et al.*, 1981). En plantas de tabaco, Roth *et al.* (1989) determinaron que mediante la aplicación del Brassinoesteroide se inhibió el crecimiento de la planta y redujo el peso fresco y seco, el cual se acompañó de una pérdida en el contenido de humedad, efecto que se le atribuyó a la concentración de aplicación del Brassinoesteroide.

Días a floración masculina

Se detectaron diferencias estadísticas significativas entre los años de evaluación ($p > F < 0.001$), entre los tratamientos probados ($p > F = 0.032$) y en la interacción entre años y tratamientos ($p > F = 0.012$) (Cuadro 4); el coeficiente de variación para esta variable fue de 2.11%. En el 2000 fue el que registró el mayor número de días

a floración masculina (67.6 días en promedio); le siguió en orden descendente el 2004 con 65 días, el cual fue estadísticamente diferente al anterior, seguido de 2002 con 64.3 días, que fue estadísticamente diferente a los anteriores y, por último, el 2001, que resultó con el menor número de días (62.6) de los cuatro años de evaluación (Cuadro 4); el comportamiento anterior se asocia con la precipitación ocurrida en cada uno de los años de evaluación, como sucedió con la altura de planta que fue mayor en 2001.

En promedio de los cuatro años, el testigo absoluto registró el mayor número de días (65.8 promedio) para la emisión floral, mismo que fue estadísticamente igual al tratamiento micorriza + *Azospirillum* + Brassinoesteroide, con 65.4 días en promedio; en contraste, el tratamiento de Brassinoesteroide complementado con 26-66-00 kg ha⁻¹ de N-P-K fue el que resultó con menor número de días a floración masculina (64.2 días en promedio), al igual que el tratamiento con 40-100-00 kg ha⁻¹ de N-P-K.

La aplicación de Brassinoesteroide + 26-66-00 kg ha⁻¹ de N-P-K tuvo en promedio un efecto estadísticamente diferente al observado con los tratamientos de micorriza y *Azospirillum* sobre la emisión de la flor masculina en la variedad de maíz V-539, y similar al observado con el tratamiento 40-100-00 kg ha⁻¹ de N-P-K; este último difirió en 1.6 días del tratamiento testigo absoluto. Estos resultados pueden tener una implicación en el rendimiento debido principalmente a que la reducción en los días a la floración masculina puede permitir un escape del maíz a un período de estrés hídrico y así evitar una pérdida en el rendimiento de grano.

Área foliar

En esta variable no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos evaluados ($p > F = 0.191$) con la variedad V-539, con coeficientes de variación de 12.65%; sin embargo, se observó que el tratamiento Brassinoesteroide + 26-66-00 kg ha⁻¹ de N-P-K reportó la mayor área foliar por planta con 426.2 cm², misma que superó en 12.5% al tratamiento de fertilización 40-100-00 kg ha⁻¹ de N-P-K y en 11.8% al testigo absoluto (Figura 1).

Cuadro 4. Días a emisión de 50% de floración masculina de maíz variedad V-539 establecida con microorganismos benéficos y la fitohormona Brassinoesteroide solos o en combinación con fertilización química, en suelo Luvisol ródico. Uxmal, Yucatán, México. 2000-2002 y 2004.

| Tratamiento | 2000 | 2001 | 2002 | 2004 | Promedio ^a |
|-----------------------|--------|--------|--------|--------|-----------------------|
| M+A | 68.0a | 62.5a | 64.3b | 65.3b | 65.0 ab |
| M+A+13-33-00 | 67.8a | 62.8a | 64.0b | 64.3bc | 64.7 ab |
| M+A+26-66-00 | 67.5a | 63.8a | 63.0b | 65.5b | 64.9 ab |
| B | 66.3a | 62.3a | 63.8b | 65.8ab | 64.9 ab |
| B+26-66-00 | 67.5a | 62.0a | 64.0b | 64.5bc | 64.2 b |
| B+40-100-00 | 67.8a | 62.8a | 64.3b | 64.8bc | 64.8 ab |
| M+A+B | 67.8a | 62.3a | 64.0b | 67.8a | 65.4 a |
| 40-100-00 | 68.0a | 62.3a | 64.0b | 62.8c | 64.2 b |
| 00-00-00 | 62.5a | 63.3a | 67.3a | 64.5bc | 65.8 a |
| Promedio ^b | 67.6 a | 62.6 d | 64.3 c | 65.0 b | |

^aMedias con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales con DMS 0.01; ^bPromedios de los años con la misma letra en la fila son estadísticamente iguales con DMS 0.01; M+A= Micorriza+*Azospirillum* sin N-P-K; M+A+13-33-00= Micorriza+*Azospirillum*+13-33-00 de N-P-K; M+A+26-66-00= Micorriza+*Azospirillum*+26-66-00; B= Brassinoesteroide sin N-P-K; B+26-66-00= Brasinoesteroide+26-66-00 de N-P-K; B+40-100-00= Brassinoesteroide+40-100-00 de N-P-K; M+A+B= Micorriza+*Azospirillum*+ Brassinoesteroide; 40-100-00= Dosis en kg ha⁻¹ de N-P-K; 00-00-00= Testigo absoluto.

Rendimiento

En cuanto al rendimiento de V-539 observado en el período de evaluación se registraron diferencias estadísticas significativas entre los años de evaluación ($p>F<0.001$). El mayor rendimiento se registró en 2001 con 5.18 t ha⁻¹, el cual fue estadísticamente diferente y superior en 33.8% al observado en 2002, mientras que en 2004, V-539 produjo aproximadamente 60% menos que en 2001, y en 2000 produjo 76% menos que en 2001 (Figura 2). Lo anterior puede ser atribuido a la cantidad y distribución de la precipitación que se registro en cada uno de los años de evaluación.

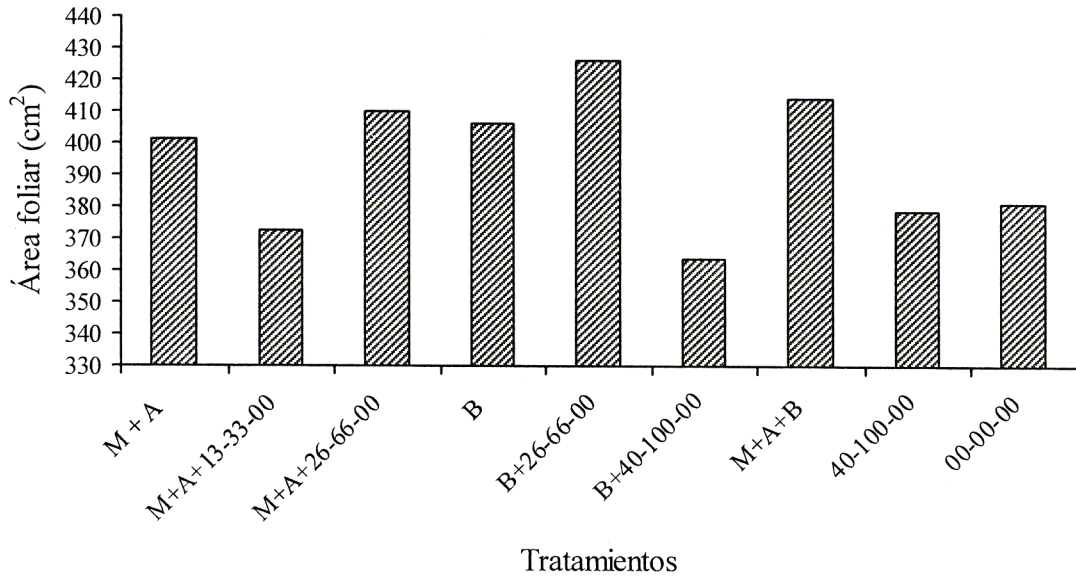
En los cuatro años de evaluación no se registraron diferencias estadísticas significativas en rendimiento ($p>F=0.811$) entre los tratamientos, pero se observó que los tratamientos con microorganismos benéficos de Micorriza y *Azospirillum* superaron en forma aritmética al testigo absoluto y fueron similares al testigo fertilizado. Así mismo, el tratamiento con Brassinoesteroide + 26-66-00 kg ha⁻¹ de N-P-K produjo el rendimiento máximo (3.24 t ha⁻¹), el cual superó en 5.86% al tratamiento 40-100-00 kg ha⁻¹ de N-P-K y en 12.65% al testigo absoluto (Cuadro 5).

Los resultados obtenidos en la presente investigación concuerdan con los reportados por otros autores quienes señalan un incremento en el rendimiento de maíz de 18 a 33%, por efecto de la aplicación de microorganismos benéficos (Mitchell y Gregory, 1972; Menudt *et al.*, 1983 y 1984; Galston, 1983; Takematsu *et al.*, 1983; Hamada, 1986; Mandava, 1988); así mismo, el porcentaje obtenido con V-539, aunque fue inferior al de esos reportes, puede ser atribuido a la estimulación del crecimiento de la raíz (Romani *et al.*, 1983), lo que permitió lograr un efecto positivo sobre el rendimiento del maíz (Mitchell y Gregory, 1972), después de ser tratado con microorganismos benéficos.

CONCLUSIONES

Los tratamientos con la inoculación de micorriza y *Azospirillum* produjeron rendimientos similares al obtenido con el testigo absoluto sin fertilización química.

La aplicación de Brassinoesteroide en dosis de 30 g ha⁻¹ y complementada con la fertilización química 26-66-00 N-P-K influyó en el tiempo de emisión de la flor masculina y en el rendimiento en la variedad de maíz V-539.



M+A= Micorriza+*Azospirillum* sin N-P-K; M+A+13+33-00= Micorriza+*Azospirillum*+13+33-00; M+A+26+66-00= Micorriza+*Azospirillum*+26+66-00; B= Brassinoesteroide sin N-P-K; B+26+66-00= Brasinoesteroide+26+66-00 de N-P-K; B+40-100-00= Brassinoesteroide+40-100-00 de N-P-K; M+A+B= Micorriza+*Azospirillum*+ Brassinoesteroide; 40-100-00= Dosis en kg ha⁻¹ de N-P-K; 00-00-00= Testigo absoluto.

Figura 1. Área foliar por planta observada en el cultivo de maíz variedad V-539, por efecto de los tratamientos evaluados con Micorriza, *Azospirillum* y Brassinoesteroide complementados con fertilización química en un suelo Luvisol ródico. Uxmal, Yucatán, México.

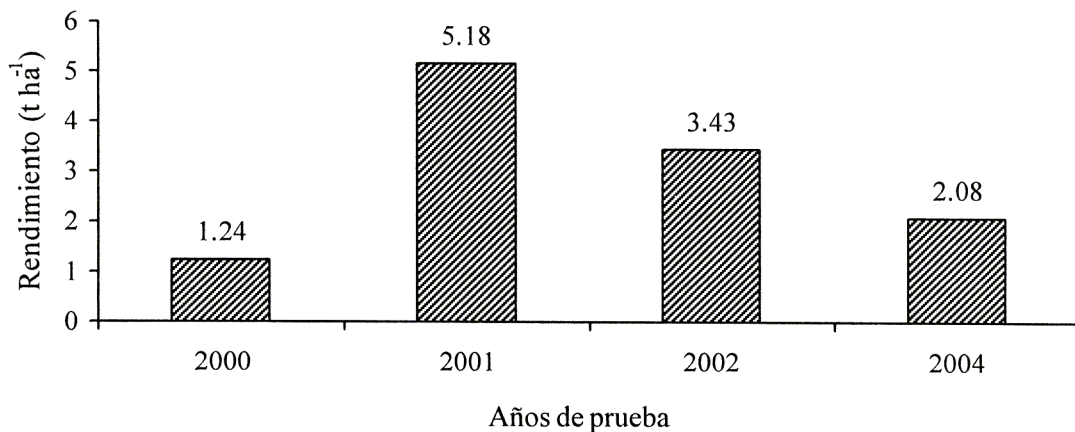


Figura 2. Rendimiento promedio obtenido con la variedad V-539 en cuatro años de evaluación de microorganismos de la rizósfera más fertilización química en un suelo Luvisol ródico en Uxmal, Yucatán, México.

Cuadro 5. Rendimiento de maíz variedad V-539 establecida con microorganismos benéficos y la fitohormona Brassinoesteroide solos o en combinación con fertilización química, en suelo Luvisol ródico. Uxmal, Yucatán, México. 2000-2002 y 2004.

| Tratamiento | Rendimiento (t ha ⁻¹) | Incremento (%) | |
|--------------------|-----------------------------------|-----------------|---------|
| | | 40-100-00 N-P-K | Testigo |
| M + A | 3.07 | 0.65 | 7.82 |
| M + A + 13-33-00 | 3.10 | 1.61 | 8.71 |
| M + A + 26-66-00 | 3.00 | - | 5.67 |
| B | 2.82 | - | - |
| B + 26-66-00 | 3.24 | 5.86 | 12.65 |
| B + 40-100-00 | 2.91 | - | 2.75 |
| M + A + B | 2.84 | - | 0.35 |
| 40-100-00 | 3.05 | - | 7.21 |
| 00-00-00 (Testigo) | 2.83 | - | - |

M+A= Micorriza+*Azospirillum* sin N-P-K; M+A+13-33-00= Micorriza+*Azospirillum*+13-33-00 de N-P-K; M+A+26-66-00= Micorriza+*Azospirillum*+26-66-00; B= Brassinoesteroide sin N-P-K; B+26-66-00= Brasiñoesteroide+26-66-00 de N-P-K; B+40-100-00= Brassinoesteroide+40-100-00 de N-P-K; M+A+B= Micorriza+*Azospirillum*+ Brassinoesteroide; 40-100-00= Dosis en kg ha⁻¹ de N-P-K; 00-00-00= Testigo absoluto.

LITERATURA CITADA

- Aguirre-Medina, J. F. y Velasco-Zebadúa, E. 1994. Componentes morfológicos y fisiológicos del rendimiento en *Leucaena leucocephala* Lam. (De Wit) al inocularse con micorriza VA y/o *Rhizobium loti*. J. Agric. Téc. Méx. 20(1):43-54.
- Alarcón, A. y Ferrera-Cerrato, R. 2000. Biofertilizantes: importancia y utilización en la agricultura. Agric. Téc. Méx. 26(2):191-203.
- Bashan, Y.; Holguin, G.; Puente M., E.; Carrillo, A.; Alcaraz-Mendez, L.; Lopez-Cortes, A. and Ochoa J., L. 1993. Critical evaluation of plant inoculation with beneficial bacteria from the genus *Azospirillum*. In: Ferrera-Cerratos, R. y Quintero L., R. (eds.). Agroecología, sostenibilidad y educación. Colegio de Posgraduados. Centro de Edafología. Montecillos, Estado de México. p 115-126.
- Bethlenfalvay, G. J. 1993. The mycorrhizal plant-soil system in sustainable agriculture. In: Ferrera-Cerratos, D. y Quintero, L. R. (eds.). Agroecología, sostenibilidad y educación. Colegio de Posgraduados. Centro de Edafología. Montecillo, Estado de México, México. p 127-137.
- Brown, M. S. and Bethlenfalvay, G. J. 1988. The *Glycine-Glomus-Rhizobium* symbiosis. VII. Photosynthetic nutrient use efficiency in nodulate mycorrhizal soybeans. Plant Physiol. 86:1292-1297
- Castellanos J., Z.; Uvalle-Bueno, J. X. y Aguilar-Santelises, A. 2000. Manual de interpretación de análisis de suelo y agua. 2a. ed. Colección Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola (INCAPA). San Miguel de Allende, Guanajuato, México. 226 p.
- Clouse, S. D. and Sasse, J. M. 1988. Brassinosteroids: essential regulators of plant growth and development. Ann. Rev. Plant Physiol. and Plant Molec. Biol. 49:427-451.
- Cruz R., E. de la; Manalo, M. Q.; Aggangan, N. S. and Tambalo, J. D. 1988. Growth of three legume trees inoculate, with VA mycorrhizal fungi and *Rhizobium*. Plant and Soil 108:111-115.
- Galston, A. W. 1983. Polymines as modulators of plant development. BioScience 33:382-83.
- Gregory, L. E. 1981. Acceleration of plant growth through seed treatment with brassin. Am. J. Bot. 68:586-588.
- Gregory, L. E. and Mandava, N. B. 1982. The activity and interaction of brassinolide and gibberellic acid in mung bean epicotyls. Plant Physiol. 54:239-543.
- Gross, D. and Parthier, B. 1994. Novel natural substances acting in plant growth regulation. J. Plant Growth Regul. 13:93-114.
- Hamada, K. 1986. Brassinolide: in crop cultivation. In: McGregor, P. (ed.) Regulators in Agriculture. Food & Fert. Technol. Ctr. Taipei.

- Key, J. L. 1969. Hormones and nucleic acid metabolism. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 20:449-474.
- Krizek, D. T. and Mandava, N. B. 1982. Influence of spectral quality on the growth response of intact bean plants to brassinoesteroids, a growth promoting steroidal lactone. I. Stem elongation and morphogenesis. *Plant Physiol.* 57:317-323
- Krizek, D. T. and Mandava, N. B. 1982a. Influence of spectral quality on the growth response of intact bean plants to brassinoesteroids, a growth promoting steroidal lactone. II. Assimilate partitioning and chlorophyll content. *Plant Physiol.* 57:324-329.
- Krizek, D. T. and Worley, J. F. 1973. The influence of high intensity on the internodal response of intact bean plants to brassins. *Bot. Gaz.* 13:147-150
- Linderman, R. G. 1993. Effect of microbial interactions in the mycorrhizosphere on plant growth and health. *In: Agroecología, sostenibilidad y educación.* Ferrera-Cerratos, D. y Quintero L., R. (eds.). Colegio de Posgraduados. Centro de Edafología. Montecillo, Estado de México, México.
- Mandava, N. 1988. Plant growth-promoting brassinoesteroids. *Ann. Rev. Plant Physiol. and Plant Molec. Biol.* 39:23-52.
- Meudt, W. J.; Thomson, M. J. and Bennett, H. W. 1983. Investigations on the mechanism of the brassinoesteroid response. III. Techniques for potential enhancement of crop production. 10th Proc. *Plant Growth Regul. Soc. Am.* p. 312-318.
- Meudt, W. J.; Thompson, M. J.; Mandava, N. B. and Worley, J. F. 1984. Method for promoting plant growth. *Can. Patent N° 1173659.* Assigned to USA. 11 p.
- Mitchell, J. W. and Gregory, L. E. 1972. Enhancement of overall growth, a new response to brassins. *Nature* 39(6):239-254.
- Mosse, B. 1986. Micorriza in sustainable agriculture. *Biol. Agric. Hortic.* 3:191-209.
- Okon, Y. and Labandera, C. 1994. Agronomic applications of *Azospirillum* evaluation of 20 years world wide field inoculation. *Soil Biol.* 26 (12):1591-1601.
- Read, D. 1998. Plants on the web. *Nature* 396:22-23.
- Romani, G.; Marre, M. T.; Bonetti, A.; Cerana, R.; Lado, P. and Marre, E. 1983. Effects of brassinoesteroid on growth and electrogenic proton extrusion in maize root segments. *Plant Physiol.* 59:528-532.
- Roth, P.; Bach, T. and Thompson, M. 1989. Brassinoesteroids: potent inhibitors of growth of transformed tobacco callus cultures. *Plant Sci.* 59:63-70.
- Shafir, G. R.; Boyer, J. S. and Gerdeman, J. W. 1972. Nutrient status and mycorrhizal enhancement of water transport in soybean. *Plant Physiol.* 49:700-703.
- Selosse, M. A. and Le Tacon, F. 1998. The land flora: a phototroph-fungus partnership? *Tree* 13 (1):15-20.
- Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2005. Sistema de Información Agropecuaria de Consulta (SIACON) 1980-2003. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. [En línea] Disponible en: <http://www.siap.sagarpa.gob.mx> (Revisado en julio de 2005).
- Steffens, G. L.; Buta, J. G.; Gregory, L. E.; Mandava, N. B.; Meudt, W. J. and Worley, J. F. 1979. New plant-growth regulators from higher plants. *In: Geissbuhler, H. (ed.). Advances in pesticide science.* London Academic. London, England. p. 343-346.
- Takematsu, T.; Takenchi, Y. and Koguchi, M. 1983. New plant growth regulators, Brassinolide analogues: their biological effects and application to agriculture and biomass production. *Chem. Regul. Plants* 18:2-15.
- Tisdale, S. L.; Nelson, W. L.; Beaton, J. D. and Havlin, J. H. 1993. *Soil fertility and fertilizers.* 5th ed. Macmillan. New York, USA. 760 p.
- Uribe V., G.; Jiménez-Osornio, J. and Dzib, E. R. 2004. Contributions to Improvement Fallow System in Yucatán State, México. *In: Manetteje, L. T.; Ramírez, L.; Ibrahim, M.; Sandoval, C.; Ojeda N. and Ku, J. (eds.) The Importance of Silvopastoral System in Rural Livelihoods to Provide Ecosystem Services.* 2nd International Symposium on Silvopastoral Systems. Autonomus University of Yucatán, México. p 136-139.
- Werner, D. 1992. Physiology of nitrogen-fixing legume nodules. Compartments and functions. *In: Stacey, G.; Burris, R. H. and Evans, H. J. (eds.). Biological nitrogen fixation.* Chapman & Hall. New York, USA. p 399-431.
- Yopp, J. H.; Mandava, N. B. and Sasse, J. M. 1981. Brassinolide, a growth promoting steroidal lactone.

I. Activity in selected auxin biossays. *Plant Physiol.* 53:445-452.

Young, C. C.; Juang, T. C. and Chao, C. C. 1998. Effects of *Rhizobium* and vesicular arbuscular mycorrhiza inoculations on nodulation, symbiotic nitrogen fixation and soybean yield in subtropical-tropical fields. *Biol. Fertil. Soils* 6:165-169.