

RESPUESTA DEL CULTIVO DE MAÍZ A LA APLICACIÓN DE BIOFERTILIZANTES EN EL SISTEMA ROZA, TUMBA Y QUEMA EN SUELO ALFISOL (CHAC-LU'UM, NOMENCLATURA MAYA), EN YUCATÁN, MÉXICO.

MAIZE CROP RESPONSES TO
BIOFERTILIZER APPLICATIONS UNDER SLASH
AND BURN SYSTEM IN ALFISOL SOIL (CHAC-LU'UM MAYAN NOMENCLATURE)
IN YUCATAN, MEXICO

Uribe V., Gabriel¹ ; Petit, Judith² y Dzib E, Roberto¹.

¹ Investigador Programa Maíz. Campo Experimental Mocochoá. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Apartado postal 4-50 Avenida Pérez Ponce S/N, C. P. 97101 Mérida, Yucatán. México. e -mail uribe.gabriel@inifap.gob.mx

² Profesora Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes. (ULA) Mérida, Venezuela. jcpetita@ula.ve.

Resumen

En el estado Yucatán se estima una superficie de 1,197.052 hectáreas de suelo Alfisol (Chac-lu'um nomenclatura Maya), con buen potencial productivo, pero requiere del uso de fertilizantes químicos para la obtención de buenos rendimientos. Mediante el uso de biofertilizantes es posible disminuir el uso de fertilizantes, por tanto en este trabajo se determinó el comportamiento de los biofertilizantes en la producción de maíz en condiciones de temporal en el sistema roza, tumba y quema (agricultura migratoria), por lo que se estableció un trabajo experimental durante cinco años continuos y se observaron cuatro variables de respuesta: altura de planta, días a flor masculina, área foliar y rendimiento de grano. La altura de planta presentó un comportamiento similar cuando se aplican biofertilizantes que cuando se utiliza el fertilizante químico. Situación similar se presentó con los días a flor masculina, con los tratamientos Azospirillum, Azospirillum + Micorriza, Micorriza + Brassinoesteroide y Azospirillum + Micorriza + Brassinoesteroide. Los rendimientos más altos y estadísticamente diferentes se obtuvieron con el uso de Azospirillum, Azospirillum + Micorriza y Azospirillum + Micorriza + Brassinoesteroide, que superaron al tratamiento de fertilización química en un 4.8, 6.5 y 5.3% y al testigo absoluto en un 27.9, 28.5 y 29.9%, respectivamente.

Palabras clave: Maíz, micorriza, Azospirillum brasilense, brassinoesteroide, rendimiento, fertilización química.

Abstract

In Yucatan state an area of 1.197,052 hectares of Alfisol soils (Chac-lu' um Mayan nomenclature) is considered, with good productive potential, but requires chemical fertilizer use for obtaining good yields. By means of biofertilizers is possible to reduce chemical fertilizers use, therefore the main objective of this experiment was to evaluate the effect of biofertilizers in the yield and growth of maize in rainfall conditions and slash and burn system (migratory agriculture). Evaluations were carried out during five years and four variables were observed: height of plant, days of masculine flower, foliar area and grain yield. The height of plant presented similar behavior when biofertilizers are applied and the chemical fertilizer is used. Comparable situation appeared with days of masculine flower, in treatments Azospirillum, Azospirillum + mycorrhiza, mycorrhiza + Brassinosteroids and Azospirillum + mycorrhiza + Brassinosteroids. The highest and statistically different yields with the use of Azospirillum, Azospirillum + mycorrhiza and Azospirillum + mycorrhiza + Brassinosteroids, were obtained and do better than the treatment of chemical fertilization in 4.8, 6.5 and 5, 3% and to the absolute witness in 27.9, 28.5 and 29, 9%, respectively. Key words: Maize, mycorrhiza, Azospirillum brasilense, Brassinosteroids, yield, chemical fertilization,

Key Word: Maize, mycorrhiza, Azospirillum brasilense, Brassinosteroids, yield, chemical fertilization.

INTRODUCCIÓN

El sistema roza, tumba, quema a nivel mundial se estima que lo practica una población de dos millones de personas en 300 ó 500 millones de hectáreas en los trópicos (Crutzen y Andreae, 1990), 95% de la producción de maíz proviene de este sistema de producción que se caracteriza porque quien la practica produce la mayor parte de lo que consume o consume la mayor parte de lo que produce (Nair, 1993). La roza, tumba y quema, tiene un periodo largo de descanso que restaura la fertilidad y elimina malezas. La tasa promedio es de 3 años de cultivo seguidos de 10 años de descanso, pero esta depende de las condiciones de la densidad de población (Vergara, 1987).

El suelo Alfisol (Chac-lu'um en la nomenclatura maya), se utiliza en la producción de maíz bajo condiciones de temporal en el sistema de producción roza, tumba y quema en el estado de Yucatán y se estima que existe una superficie de 1.197.052 hectáreas, es un suelo de color rojizo con pequeñas cantidades de piedra suelta o sin piedra, que yacen sobre roca caliza dura, el drenaje superficial moderado a muy rápido e interno muy rápido, la capacidad productiva es alta, las pendientes son inferiores al 15%, la profundidad puede variar entre 15 y 30 cm.

El objetivo de la biofertilización es el de formar asociaciones de microorganismos-planta, capaces de incrementar la fijación biológica de nitrógeno atmosférico (Da Silva et al., 1999; Hardson, 1999), así como incrementar la disponibilidad de nutrientes y hacer eficiente la absorción de los mismos (Alarcón y Ferrera.Cerrato, 2000; Young et al., 1988; Brown y Bethlenfalvay, 1988; De la Cruz et al. 1988; Werner, 1992; Aguirre y Velazco, 1994; Linderman, 1993; Bethlenfalvay, 1993; Bashan et al., 1993, Uribe, 2004).

Micorrizas: El interés agronómico de las micorrizas radica en la capacidad de las hifas externas de las raíces infectadas para absorber nutrimentos del suelo y trasportarlos a la parte aérea de las plantas, su efecto repercute tanto en nutrientes móviles y de baja movilidad como cobre y zinc (Alarcón y Ferrera-Cerrato, 2000). El beneficio que brinda la asociación hongo-planta es en el crecimiento e incremento de las posibilidades de la toma de nutrientes por las plantas en: los bajos niveles de fósforo asimilable o alta capacidad de fijación de este elemento en el suelo, la alta velocidad en los procesos de fijación en el suelo y sus respectivas pérdidas (Alarcón et al., 1998).

Azospirillum: La mayoría de los estudios sobre la asociación *Azospirillum*-planta se han realizado en cereales y pastos, los resultados obtenidos han demostrado incrementos en peso seco total, concentración de nitrógeno en follaje y grano, número total de espigas, espigas fértiles y mazorcas, una floración y aparición de la espiga más temprana, incremento en el número de espigas y granos por espiga, plantas más altas e incremento en el tamaño de la hoja y tasas de germinación más altas (Albrecht et al., 1981; Bashan, 1986; Fulchieri y Frioni, 1994; Stancheva et al. 1992). Además se ha observado un incremento en el desarrollo del sistema de raíces, tanto en longitud como en volumen (Bashan et al., 1996) y una promoción del crecimiento vegetativo (Kapulnik et al., 1982, 1983).

La inoculación con *Azospirillum* puede afectar positiva o negativamente algunos parámetros de las raíces y del follaje, que están atribuidos a efectos positivos en la absorción de minerales por parte de la planta. Se ha indicado que la absorción de NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{2-} , K^+ , Rb^+ y Fe^{+2} inducida por *Azospirillum* es el factor responsable en incrementar la materia seca foliar y la acumulación de minerales en tallos y hojas (Barton et al., 1986; Lin et al., 1983, Murty y Ladha, 1988; Sarig et al., 1988).

Brassinoesteroide: La fitohormona brassinoesteroide es un extracto obtenido del polen de *Brassica napus* con una estructura esteroideal (Mitchell y Gregory, 1972). Dicho extracto de *Brassica napus* L es reportado como un promotor del crecimiento de las plantas cuando se aplicó en plantas jóvenes de frijol pinto. El brassinoesteroide cuando se aplicó en el segundo entrenudo incrementó la elongación de estos en aproximadamente 200% en comparación con el testigo (Grove et al., 1979). Diversas investigaciones han demostrado que la fitohormona brassinoesteroide tiene un efecto sobre el crecimiento de algunas plantas tales como el frijol, tomate, *Prunus avium*, *Camellia japonica*, *Nicotiana tabacum*, trigo, *Sinapis alba*, maíz, soya, plantas maderables (Grove et al., 1979; Takatsuto et al., 1983; Hewitt et al., 1985; Mandava, 1988; Mitchell y Gregory, 1972). También tiene un efecto sobre el crecimiento de la raíz de algunos cultivos citados anteriormente (Hewitt et al., 1985; Mandava, 1988; Romani et al., 1983).

El efecto que tiene sobre el rendimiento del cultivo de maíz y algunos otros cultivos ha quedado demostrado con las investigaciones realizadas por Galston, (1983); Hamada, (1986); Takematsu et al., (1983); Yokota y Takahashi, (1986).

Se puede indicar que la fitohormona brassinoesteroide su potencial puede estar en el incremento de la biomasa y rendimiento de los cultivos, además de controlar enfermedades y estrés ambiental (Mandava y Thompson, 1983).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la aplicación de biofertilizante y la fitohormona Brassinoesteroide con dos tratamientos de fertilización convencional y observar su respuesta en la producción de maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del sitio experimental

Los trabajos experimentales se establecieron en terrenos del productor cooperante **Sr. Anselmo Dzib Balam** en la localidad de Tinum, del Estado de Yucatán, durante cinco años consecutivos (2000-2004), a una altitud de 50 metros sobre el nivel del mar, en un suelo tipo Cambisol, algunas de sus características se muestran en el Cuadro 1. El clima es tipo Aw0, según la clasificación de Köppen el cual es el más seco de los cálidos subhúmedos con lluvias en verano y un cociente P/T menor a 43.2 con una temperatura media anual de 25°C y una precipitación media anual que varía de 900 1100 mm.

Materiales y métodos

Los biofertilizantes utilizados en la generación de los tratamientos fueron: micorriza (*Glomus intraradices*), bacteria fijadora de nitrógeno (*Azospirillum brasilense*) y la fitohormona Brassinoesteroide. Además se utilizó la fertilización química convencional con los tratamientos 13-33-00, 40-100-00 y un testigo absoluto sin fertilizar y sin biofertilizante.

Cuadro 1. Características físicas y químicas del suelo Alfisol (Chac-lu'um, nomenclatura Maya), en el sistema roza, tumba y quema previo a la quema.

Característica	
pH	7.8
Textura	Migajón arcilloso
Materia orgánica (%)	10.0
Nitrógeno total	0.413
Color	Café rojizo
P aprovechable (ppm)	4.0
K aprovechable (ppm)	225.0
Ca aprovechable (ppm)	2552
Mg aprovechable (ppm)	222
CaCO ₃ Insolubles (%)	7.0

Cuadro 2. Lista de tratamientos evaluados durante cinco años consecutivos (2000-2004) en un suelo Alfisol (Chac-lu'um, en la nomenclatura maya).

Tratamientos de parcela grande	
13-33-00	40-100-00
Tratamientos de parcela chica	
Azospirillum	Azospirillum
Glomus intraradices	Glomus intraradices
Fitohormona Brassinoesteroide	Fitohormona Brassinoesteroide
Azospirillum + Glomus	Azospirillum + Glomus
Azospirillum + Brassinoesteroide	Azospirillum + Brassinoesteroide
Glomus + Brassinoesteroide	Glomus + Brassinoesteroide
Azospirillum + Glomus + Brassinoesteroide	Azospirillum + Glomus + Brassinoesteroide
13-33-00	40-100-00
00-00-00	00-00-00

Los tratamientos evaluados se presentan en el Cuadro 2, estos se establecieron bajo un diseño de bloques al azar con un arreglo de tratamientos en parcelas divididas con cuatro repeticiones, donde la parcela grande estuvo constituida por los tratamientos de fertilización inorgánica 13-33-00 y 40-100-00 y los tratamientos de parcela chica fueron Azospirillum (A), Micorriza (M), Brassinoesteroide (B), A + M, A + B, M + B, A + M + B, fertilización química y testigo absoluto. El Azospirillum se aplicó en dosis de 380 g ha⁻¹ en presentación de turba y la Micorriza en dosis de 1 Kg. ha⁻¹ dicha aplicación se realizó en inoculación a la semilla una noche antes de la siembra y se dejó secar al aire libre; el Brassinoesteroide se aplicó en dosis de 30 g ha⁻¹ en tres aplicaciones la primera se realizó en la semilla, la segunda a los 30 días después de siembra y la última a los 60 días previo a la emisión de la flor masculina. La parcela experimental fue de 24 m², para dejar una parcela útil de 6.4 m².

Las variables de respuesta que se evaluaron fueron: altura final de planta (m), días a flor masculina (50% de emisión de la flor masculina), área foliar (cm²), durante los tres últimos años de evaluación y rendimiento (t ha⁻¹). El análisis de separación de medias se realizó mediante la prueba de diferencia mínima significativa a una probabilidad del 95 y 99 % de ocurrencia, de acuerdo al nivel observado en el análisis de varianza respectivo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza practicado en todas las variables de respuesta fue de un arreglo en parcelas subdivididas donde se utilizó como parcela grande a los años

de evaluación (cinco), como parcela mediana a los tratamientos de fertilización química (dos) y como parcela chica a los tratamientos de biofertilizante, los testigos de fertilización química y el absoluto (nueve).

Altura de planta (m)

Se observaron diferencias estadísticas significativas entre los años de evaluación ($P > F < 0.001$) lo que indica un comportamiento diferencial de la temporada de lluvias. De los cinco años el 2000 fue el año que registró la menor altura y fue estadísticamente diferente de los otros años de evaluación, los años 2001 y 2003 las alturas promedio fueron estadísticamente iguales, pero diferentes a los años 2002 y 2004, que fueron estadísticamente iguales entre si. Los años 2002 y 2004 en promedio la altura observada fue un 7.7% superior a la registrada en los años 2001 y 2003 y un 40.5% a la registrada en el año 2000.

Existen evidencias estadísticas que tanto los tratamientos de parcela mediana, como los de parcela chica, tienen cierta influencia sobre la variable al observarse diferencia estadística significativa en la interacción entre estos (tratamientos de fertilización química vs. tratamientos de biofertilización, fertilización química y testigo absoluto) $P > F = 0.003$, los promedios observados en esta interacción se presentan en el Cuadro 3.

Se observó que el tratamiento testigo absoluto fue el que causó la interacción entre estos dos factores cuando se aplicó el tratamiento 40-100-00 en la parcela mediana, lo que indica que los tratamientos de biofertilizante tienen

Cuadro 3. Altura de planta promedio (m) registrada en la interacción entre los tratamientos de fertilización química y los de biofertilizante en un suelo Alfisol (Chac-lu'um, nomenclatura Maya).

Tratamiento	13-33-00*	40-100-00*	Promedio
Azospirillum	2.44 a	2.44 a	2.44
Micorriza	2.41 a	2.42 a	2.41
Brassinosteroides	2.46 a	2.44 a	2.45
Azospirillum + Micorriza	2.43 a	2.46 a	2.45
Azospirillum + Brassinosteroides	2.40 a	2.49 a	2.45
Micorriza + Brassinosteroides	2.38 a	2.47 a	2.43
Azospirillum + Micorriza + Brassinosteroides	2.40 a	2.44 a	2.42
Fertilización química	2.41 a	2.49 a	2.45
Testigo absoluto	2.44 a	2.29 b	2.37
DMS_{0.01}	0.12	0.12	

* Media con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales mediante la prueba de DMS al 99% de probabilidad.

un comportamiento estadísticamente igual cuando se aplica el tratamiento de fertilización química 13-33-00 con el testigo absoluto que no recibe ningún tipo de aporte de fertilizante.

Los resultados obtenidos contrastan con lo reportado por Bashan, (1993); Fulchieri y Frioni, (1994); Stancheva et al., (1992); quienes indican que la asociación Azospirillum-planta en cereales genera plantas más altas y una promoción del crecimiento, con los reportados por Veeraswamy, et al., (1992), quienes muestran que en plantas de sorgo mediante la inoculación mixta de Azospirillum y hongo micorrízico se incrementaron todos los parámetros de crecimiento de las plantas; con lo reportado por Bethlenfalvay, (1993) y Lindereman, (1993); quienes señalan que se mejora el crecimiento vegetal mediante el uso de micorriza y a los de Mitchell y Gregory, (1972) quienes reportan un incremento en el crecimiento de frijol, soya y plantas maderables con brassinoesteroide, ya que no se observó su contribución en la altura de planta obtenido, pero concuerdan con lo reportado por Gregory y Mandava, (1982); Steffens et. al. (1979) y Yopp et. al. (1981); quienes demuestran que el crecimiento puede ser menor cuando el brassinoesteroide se aplica en plantas con algún deterioro y cuando están con estrés, con los de Gregory y Mandava (1982), los cuales refieren que el brassinoesteroide puede no tener efecto o ser muy pequeño en condiciones de órganos maduros. 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, este efecto se le atribuyó a la concentración de aplicación del brassinoesteroide.

Días a flor masculina

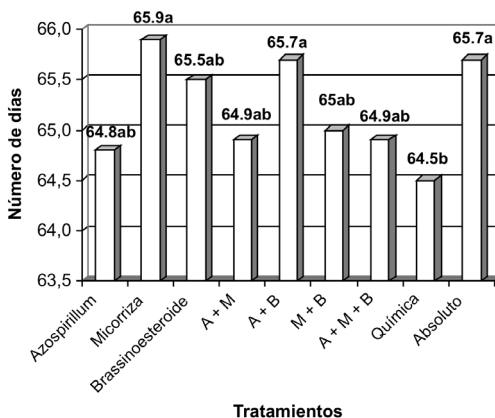
Esta variable registró la emergencia del cultivo hasta que el 50% de la población de plantas presentara la flor masculina. Se registraron diferencias estadísticas significativas entre los años de evaluación ($P > F < 0.001$), los tratamientos de biofertilizante evaluados ($P > F < 0.001$) y la interacción entre los años de evaluación y los tratamientos de biofertilizante ($P > F = 0.010$).

De los años de evaluación durante el año 2000 la emergencia del cultivo se retrasó un total de 10 días debido a que las condiciones de humedad en el suelo no fueron las adecuadas para que se diera el proceso de germinación, de acuerdo con los datos observados en el 2001 se registró el mayor número de días para la emisión de la flor masculina con un promedio de 67, le siguió el año 2003 con 66 días, los que fueron estadísticamente iguales y el año en el cual se registró el menor número de días para la emisión floral masculina fue el 2002 con 63 días, el cual fue estadísticamente igual al 2004 con 64 días.

Con respecto a los tratamientos de parcela chica evaluados se determinó que el tratamiento testigo absoluto tiene un comportamiento estadísticamente igual al tratamiento donde se utiliza la asociación de micorriza-planta y a la de

Azospirillum + Brassinoesteroide al utilizar en promedio un total de días muy similares, 65.9, 65.7 y 65.7, respectivamente (Figura 1). En otro aspecto el tratamiento de fertilización química es el que registró el menor número de días en la emisión de la flor masculina con 64.5, la cual fue estadísticamente igual a los tratamientos Azospirillum, Azospirillum + Micorriza, Azospirillum + Micorriza + Brassinoesteroide, Micorriza + Brassinoesteroide y Brassinoesteroide. Lo anterior indica que mediante el uso de biofertilizantes es posible tener una emisión de flor masculina similar a la que se obtiene mediante la aplicación de fertilizante químico, y que tanto el Azospirillum como la micorriza y el brassinoesteroide contribuyen a que el cultivo de maíz emita de una manera más temprana la flor, al compararla con el tratamiento testigo absoluto, lo anterior concuerda con lo reportado por Albrecht et al., (1981); Bashan, (1986); Fulchieri y Frioni, (1994); Stancheva et al., (1992); quienes señalan que Azospirillum contribuye a una floración y aparición de la espiga más temprana.

La micorriza fue el tratamiento que mayor número de días requirió para la emisión de la flor masculina y presentó un comportamiento estadísticamente igual que el observado con el testigo absoluto y al de la asociación de Azospirillum y Brassinoesteroide, estos tres tratamientos fueron los que mayor tiempo requirieron para la emisión de la flor masculina. En contraste cuando se asocia el Azospirillum con la micorriza en simbiosis doble, o la micorriza con la fitohormona Brassinoesteroide, o bien con la asociación triple de Azospirillum, micorriza y brassinoesteroide se obtiene un comportamiento similar y estadísticamente igual al tratamiento de fertilización química.



Tratamiento con la misma letra es estadísticamente igual de acuerdo con la prueba DMS al 99% de probabilidad.

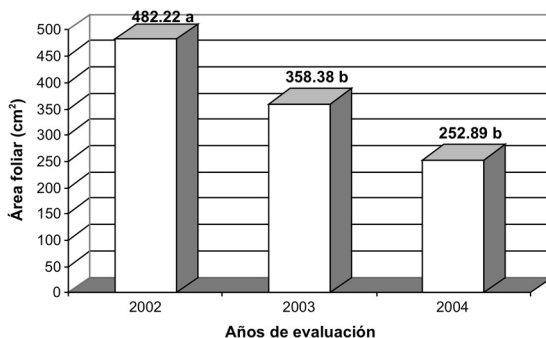
Figura 1. Número de días utilizados en cada uno de los tratamientos para la emisión del 50% de la flor masculina en un suelo Alfisol (Chac-lu'um, nomenclatura Maya)

Área foliar (cm²)

La presente variable de respuesta se evaluó mediante la medición del largo de la hoja por el ancho de la base aplicándose el factor de 0.75 para el cálculo del área foliar, durante tres años únicamente (2002, 2003 y 2004). El análisis practicado registró diferencias estadísticas significativas entre los años de evaluación únicamente ($P > F < 0.001$), el año 2002 fue el que mayor área foliar registró con 482.2 cm² en promedio y fue estadísticamente diferente de los otros dos años el cual superó en un 25.7% al registrado durante el año 2003 y en un 47.6 al de 2004, siendo estos dos años estadísticamente iguales (Figura 2). Al no observarse diferencia estadística significativa entre los tratamientos de biofertilizantes evaluados se puede determinar que en esta variable todos los tratamientos presentan un comportamiento similar al observado por el testigo absoluto, con lo que estos resultados difieren con los reportados por Bashan, (1986); Fulchieri y Frioni, (1994); Stancheva et al., (1992); quienes reportan un incremento en el tamaño de la hoja mediante el uso de Azospirillum, con los de Alarcón et al., (1998), que señalan que la micorriza induce el crecimiento de la planta y con los de Hewitt et al., (1985); Mandava, (1988); Mitchell y Gregory, (1972); quienes han demostrado que la fitohormona brassinoesteroide tiene un efecto sobre el crecimiento de algunas plantas entre las que se encuentra el maíz.

Rendimiento (t.ha-1)

Los rendimientos de grano se ajustaron al 14% de humedad. Se registraron diferencias estadísticas significativas entre los años de evaluación ($P > F < 0.001$), a los tratamientos de fertilización química ($P > F < 0.001$), a los tratamientos de



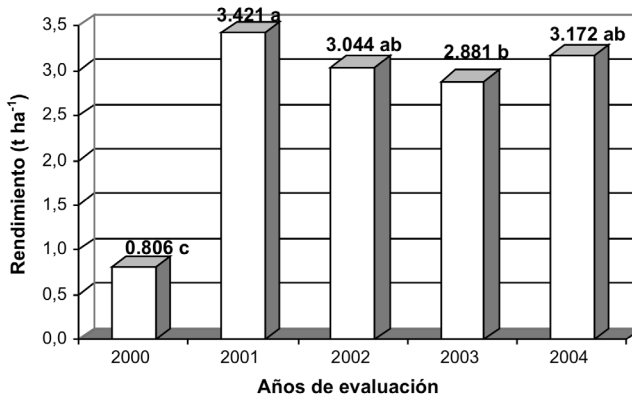
Año con la misma letra es estadísticamente igual de acuerdo con DMS al 99% de probabilidad.

Figura 2. Área foliar (cm²) observada en cada uno de los años de evaluación en un suelo Alfisol (Chac-lu'um, nomenclatura Maya).

biofertilizante ($P>F<0.001$) y a la interacción entre los tratamientos de fertilización química y los de biofertilizante ($P>F=0.025$).

El rendimiento más bajo se obtuvo en el año 2000 con 0.806 t ha⁻¹ y el mayor se registró en el año 2001 con 3.421 t ha⁻¹, el cual fue estadísticamente igual al observado en los años 2004 y 2002 (Figura 3). En cuanto a los tratamientos de fertilización química se registró una diferencia estadística significativa entre el tratamiento 40-100-00 y el tratamiento 13-33-00, donde el primero superó el rendimiento en un 9.8% al segundo. Los resultados obtenidos en los tratamientos de biofertilizantes se presentan en el Cuadro 4, en el que se observa que los tratamientos Azospirillum + Micorriza, Azospirillum + Micorriza + Brassinoesteroide y Azospirillum registraron los rendimientos más altos y estadísticamente iguales entre sí, superaron al tratamiento de fertilización química en un 6.5, 5.3 y 4.8%, respectivamente y en un 29.9, 28.5 y 27.9, en el orden indicado al tratamiento testigo absoluto.

Los resultados obtenidos en esta variable de respuesta concuerdan con los observados por Fuchieri y Frioni, 1994; 1987; Rao et al., 1983; Watanabe y Lin, 1984 quienes indican que el incremento en rendimiento por efecto de la inoculación con Azospirillum puede variar entre un 10 y 30%, que se obtuvieron cuando se compararon con el testigo absoluto. Bashan et al. (1996) establece que incrementos en rendimiento con la inoculación de Azospirillum del 20% se consideran comercialmente valiosos para una agricultura moderna. Bashan et al., (1996) indican que los mejores resultados en rendimiento se obtienen a partir de turba distribuyendo el inoculante al momento de la siembra.



Año con la misma letra es estadísticamente igual de acuerdo con DMS al 99% de probabilidad.

Figura 3. Rendimiento (t ha⁻¹) medio observado en cada uno de los años de evaluación en un suelo Alfisol (Chac-lu'um, nomenclatura Maya).

Del análisis de la interacción de los tratamientos de fertilización química con los tratamientos de biofertilización se determina que el tratamiento 13-33-00 tiene un comportamiento estadísticamente igual al observado con el tratamiento testigo absoluto y de los tratamientos de biofertilizantes (Cuadro 5), lo anterior puede ser debido a que la cantidad de material que queda como aporte de la quema sea lo suficientemente rico para generar rendimientos equiparables a los obtenidos con los biofertilizantes y la fertilización química. En contraste cuando se aplica el tratamiento 40-100-00 todos los tratamientos con biofertilizante

Cuadro 4. Rendimiento (t ha-1) medio observado en cada uno de los tratamientos de biofertilizante evaluados en un suelo Alfisol (Chac-lu'um, nomenclatura Maya)

Tratamiento	Rendimiento* (t ha ⁻¹)
Azospirillum	2.816 a
Micorriza	2.441 ab
Brassinoesteroide	2.744 ab
Azospirillum + Micorriza	2.861 a
Azospirillum + Brassinoesteroide	2.680 ab
Micorriza + Brassinoesteroide	2.723 ab
Azospirillum + Micorriza + Brassinoesteroide	2.829 a
Fertilización química	2.687 ab
Testigo absoluto	2.202 b
DMS_{0,01}	0.584

*Rendimiento con la misma letra es estadísticamente igual de acuerdo con la prueba DMS al 99% de probabilidad.

Cuadro 5. Rendimiento (t ha-1) medio obtenido con la interacción de los tratamientos de fertilización química y los de biofertilizante en un suelo Alfisol (Chac-lu'um, nomenclatura Maya).

Tratamiento	13-33-00*	40-100-00*
Azospirillum	2.522 a	3.111 a
Micorriza	2.251 a	2.632 ab
Brassinoesteroide	2.720 a	2.767 a
Azospirillum + Micorriza	2.751 a	2.971 a
Azospirillum + Brassinoesteroide	2.432 a	2.927 a
Micorriza + Brassinoesteroide	2.574 a	2.872 a
Azospirillum + Micorriza + Brassinoesteroide	2.658 a	3.000 a
Fertilización química	2.498 a	2.876 a
Testigo absoluto	2.344 a	2.060 b
DMS_{0,05}	0.622	0.622

*Media con la misma letra en una misma columna son estadísticamente iguales de acuerdo con DMS al 95% de probabilidad.

presentan un comportamiento estadísticamente igual con este tratamiento, pero estadísticamente diferente al tratamiento testigo absoluto en un suelo de tipo Cambisol y bajo el sistema de producción de roza, tumba y quema.

CONCLUSIONES

En las variables de respuesta estudiadas altura de planta (m), días a emisión del 50% de flor masculina, área foliar (cm²) y rendimiento (t ha⁻¹), se observaron diferencias estadísticas significativas entre los años de evaluación ($P>F<0.001$).

La altura de planta presentó un comportamiento similar entre los tratamientos de biofertilizante, el de fertilización química y el testigo absoluto cuando se aplica el tratamiento 13-33-00 de fertilización química en contraste, cuando se aplicó el tratamiento 40-100-00, este tiene un comportamiento similar con los tratamientos de biofertilizante y se genera una diferencia estadística significativa con el testigo absoluto.

Los tratamientos de biofertilizante Azospirillum, Azospirillum + Micorriza, Micorriza + Brassinoesteroide, Azospirillum + Micorriza + Brassinoesteroide y el tratamiento de fertilización química tienen un comportamiento similar en cuanto a los días a flor requeridos para la emisión del 50% de flor masculina.

No se observó una contribución de los tratamientos de biofertilizante sobre el área foliar, únicamente en los años de evaluación.

En la variable de respuesta rendimiento el tratamiento Azospirillum, Azospirillum + Micorriza y Azospirillum + Micorriza + Brassinoesteroide; fueron los tratamientos que superaron el rendimientos del tratamiento de fertilización química en un 4.8, 5.3 y 6.5%, respectivamente y al testigo absoluto en un 27.9, 28.5 y 29.9%, respectivamente.

BIBLIOGRAFIA

- Aguirre-Medina, J. F. y Velasco-Zebadúa, E. 1994. Componentes morfológicos y fisiológicos del rendimiento en *Leucaena leucocephala* al inocularse con micorriza VA y/o *Rhizobium loti* J. Agricultura. Técnica. México. Vol. 20 (1): 43-45.
- Alarcón, A. y Ferrera-Cerrato, D. 2000. Biofertilizantes: Importancia y Utilización en la agricultura. Agricultura Técnica en México. Vol. 26(2): 191-203.
- Alarcón, A., Ferrera-Cerrato, D., Villegas-Monter, A. y Almaraz., J. 1998. Efecto de la simbiosis micorrízica en la fotosíntesis de *Citrus volkameriana* Tan&Pasq. En Zulueta, R., Escalona, A y Trejo, D. (ed). Avances de la

- Investigación Micorrízica en México. Universidad Veracruzana Xalapa, Ver. México. p. 119-126.
- Albrecht, S. L., Okon, Y., Lonquist, L. y Burris, R. H. 1981. Nitrogen fixation by corn-Azospirillum associations in a temperate climate. *Corp Sci.* 21 :301-306.
- Barton, L. L., Johnson G. V. y Orbock Miller, S. 1986. The effect of Azospirillum brasilense on iron absorption and translocation by sorghum. *J. Plant Nut.* 9:557-565.
- Bashan, Y. 1986. Enhancement of wheat roots colonization and plant development by Azospirillum brasilense Cd following temporary depression of the rhizosphere microflora. *Appl. Environ. Microbiol.* 51:1067-1071.
- Bashan, Y., Holguin, G., Puente, M. E., Carrillo, A., Alcaraz-Mendez, L., López-Cortes, A., y Ochoa, J. L. 1993. Critical Evaluation of plant inoculation with beneficial bacteria from the genus Azospirillum. En *Agroecología, sostenibilidad y educación*. Ferrera-Cerratos, D y Quintero L. R. (ed) Centro de Edafología. Colegio de Posgraduados. Montecillos, Estado de México.
- Bashan, Y., Holuin G., Ferrera-cerrato, D. 1996. Interacciones entre plantas y microorganismos benéficos. I. Azospirillum. *Terra*. Vol. 14(2): 159-194.
- Bethlenfalvay, G. J. 1993. The mycorrhizal plant-soil system in sustainable agriculture. In: *Agroecología, sostenibilidad y educación*. Ed. D. Ferrera-Cerratos y L. R: Quintero. Centro de Edafología. Colegio de Posgraduados. Montecillos, Estado de México.
- Brown, M. S. y Bethlenfalvay, G. J. 1988. The Glycine-Glomus-Rhizobium symbiosis. VII. Photosynthetic nutrient use efficiency in nodulate mycorrhizal soybeans. *Plant Physiol.* 86:1292-97.
- Cohé J., y Meudt, W. 1983. Investigations on the mechanism of the Brassinoesteroid Response. I. Indole-3-acetic acid metabolism and transport. *Plant Physiology* 72. 691-694.
- Crutzen, P. J. y Andreae, M. O. 1990. Biomass burning in the tropics: impacts on atmospheric chemistry and biogeochemical cycles. *Science* 34:110-114.
- Da Silva, P. M., Tsai, S. M. y Bonetti, R. 1999. Respuesta a la inoculación y a la fertilización nitrogenada para incrementar la producción y la fijación biológica de nitrógeno en frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). En: Peña-Cabriales, J. J. y Zapata, F. (Eds.). Aumento de la fijación biológica del nitrógeno en el frijol común en América latina. Arreglos regionales Cooperativos para la Promoción de la Ciencia y la Tecnología Nuclear en América Latina y el Caribe. p. 137-144.

- De La Cruz, R. E.; Manalo; M. Q., Aggangan, N. S. y Tambalo, J. D. 1988. Growth of three legume trees inoculated with VA mycorrhizal fungi and Rhizobium. *Plant and Soil* 108:111-15.
- Fulchieri, M. Y Frioni, L. 1994. Azospirillum inoculation on maize (*Zea mays*): effect on yield in a field experiment in central Argentina. *Soil. Biol. Biochem.* 26:921-923.
- Galston, A. W. 1983. Polyamines as modulators of plant development. *BioScience* 33:382-83.
- Gregory, L. E. Y Mandava, N. B. 1982. The activity and interaction of brassinolide and gibberellic acid in mung bean epicotyls. *Physiol. Plant.* 54:239-43.
- Grove M., Spencer, G. Y Rohwedder, W. 1979. Brassinolide, a plant growth-promoting steroid isolated from *Brassica napus* pollen. *Nature* Vol 28 September 20. 216-217.
- Hamada, K. 1986. Brassinolide: some effects for crop cultivations. *Cnf. Proc. Int. Seminar Plant Growth Regul.* Tokyo, Japan. Oct. 15. 1985.
- Hardson, G. 1999. Métodos para aumentar la fijación simbiótica de nitrógeno. En: Peña-Cabriales, J. J. y Zapata, F... (Eds.) Aumento de la fijación biológica del nitrógeno en el frijol común en América Latina. Arreglos Regionales Cooperativos para la Promoción de la Ciencia y la tecnología Nuclear en América Latina y el caribe. p. 1-18.
- Hewitt, F., Hough, T., O'neil P., Sasse J., Williams, E. y Rowan K. 1985. Effect of Brassinolide and other Growth Regulators on the Germination and Growth of Pollen Tubes of *Prunus avium* using a Multiple Hanging-drop Assay. *Australian Journal of Plant Physiology.* Vol 12 N° 2 pp 201-211.
- Kalpunik, Y., Sarig, S., Nur, I., Okon, Y. y Henis, J. 1982. The effect of Azospirillum inoculation on growth and yield of corn. *Isr. J. Bot.* 31:247-255.
- Kalpunik, Y., Sarig, S., Nur, I. y Okon Y. 1983. Effect of Azospirillum inoculation on yield of field-grown wheat. *Can. J. Microbiol.* 29:895-899.
- Lin, W., Okon, Y. Hardy, R. W. F. 1983. Enhanced mineral uptake by *Zea mays* and *Sorghum bicolor* roots inoculated with *Azospirillum brasilense*. *Appl. Environ. Microbiol.* 45:1775-1779.
- Linderman, R. G. 1993. Effect of microbial interactions in the mycorrhizosphere on plant growth and health. En: Agroecología, sostenibilidad y educación. Ed. Ferrera-Cerratos y Quintero, L. R. Centro de Edafología. Colegio de Posgraduados. Montecillos, Estado de México.
- Mandava, N. 1988. Plant growth-promoting brassinosteroids. *Annual review of plant physiology and plant molecular biology.* Vol. 39 pp 23-52.

- Mandava, N. B., y Thompson, M. J. 1983. Chemistry and functions of brassinolide. In *Proceedings of the Isopentenoid Symposium*, ed. W. D. Nes, G. Fuller, L. S. Tsai, pp. 401-31. New York: Dekker.
- Mitchell, J. W. y Gregory, L. E. 1972. Enhancement of overall growth, a new response to brassins. *Nature* 239:54.
- Murty, M. G. y Ladha, J. K. 1988. Influence of *Azospirillum* inoculation on the mineral uptake and growth of rice under hydroponics conditions. *Plant Soil* 108:281-285.
- Nair, P. K. R. 1993. *An introduction to agroforestry*. Dordrecht, Kluwer pub. 499 p.
- Romani, G., Marre, M. T., Bonetti, A., Cerana, R., Lado, P., y Marre, E. 1983. Effects of brassinoesteroid on growth and electrogenic proton extrusion in Maite root segments. *Physiol. Plant.* 59:528-32.
- Roth P., Bach T. y Thompson M. 1989. Brassinoesteroids: Potent inhibitors of growth of transformed tobacco callus cultures. *Plant Science*, Vol 59 pp63-70.
- Sarig, S., Blum, A. y Okon, Y. 1988. Improvement of the water status and yield of field-grown grain sorghum (*Sorghum bicolor*) by inoculation with *Azospirillum brasilense*. *J. Agric. Sci. Camb.* 110:271-277.
- Stancheva, I., Dimitrov, I., Kaloyanova, N., Dimitrova, A. y Angelov, M. 1992. Effect of inoculation with *Azospirillum brasilense* on photosynthetic enzyme activities and grain yield in Maite. *Agronomie* 12:319-324.
- Steffens, G. L., Buta, J. G., Gregory, L. E., Mandava, N. B., Meudt, W. J., y Worley, J. F. 1979. New plant-growth regulations from higher plants. In *Advances in Pesticide Science*. Ed. H. Geissbuhler, pp. 343-46. London. Academic.
- Takatsuto S., Yazawa N., Ikekawa N., Takematsu T., Takeuchi y Koguchi M. 1983. Structure-Activity relationship of brassinoesteroids. *Phytochemistry*. Vol 22 N° 11 pp 2437-2441.
- Takematsu, T., Takenchi, Y., y 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.
- Uribe, V. G. 2004. *Los Biofertilizantes en la Producción de Maíz en Yucatán*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Sureste. Campo Experimental Uxmal. Folleto Técnico. pp. 27.

- Veeraswamy, J., Padmavathi, T. y Venkateswarlu, K. 1992. Interaction effects of *Glomus intraradices* and *Azospirillum lipoferum* on sorghum. *Indian J. Microbiol.* 32:305-308.
- Vergara, N. T. 1987. Agroforestry: a sustainable land use for fragile ecosystems in the humid tropics, In: Gholz, H. L. (Ed.), *Agroforestry: realities, possibilities and potentials*, pp. 7-19. Dordrecht: Martinus Nijhoff.
- Watanabe, I. y Lin, C. 1984. Response of wetland rice to inoculation with *Azospirillum lipoferum* and *Pseudomonas* sp. *Soil Sci. Plant Nutr.* 30:117-124.
- 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, N. Y. U. S. A. pp 399-431.
- Yokota, T., y Takahashi, N. 1986. Chemistry, physiology and agricultural application of brassinolide and related steroids. In *Plant Growth Substances 1985*, ed. M. Bopp, pp. 129-38. Berlin/Heidelberg:Springer-Verlag.
- Yopp, J. H., Mandava, N. B y Sasse, J. M.. 1981. Brassinolide, a growth promoting steroidal lactone. I. Activity in selected auxin bioassays. *Physiol. Plant.* 53:445-52.
- Young, C. C., Juang, T. C y Chao, C. C. 1988. Effects of *Rhizobium* and vesicular arbuscular mycorrhiza inoculations on nodulation, symbiotic nitrogen fixation and soybean yield in subtropical-tropical fields. *Biol. Fertil. Soils* 6:165-69.