



El Colegio de la Frontera Sur

Impacto de la biofertilización y aplicación de abonos orgánicos en la productividad de maíz (*Zea mays* L.) en Chiapas

TESIS

presentada como requisito parcial para optar al grado de Doctorado en Ciencias en Ecología y Desarrollo Sustentable

por

Yolanda del Carmen Pérez Luna

2012



El Colegio de la Frontera Sur

San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, 04 de diciembre de 2011

Las personas abajo firmantes, miembros del jurado examinador de:

Yolanda del Carmen Pérez Luna

Hacemos constar que hemos revisado y aprobado la tesis titulada “Impacto de la biofertilización y aplicación de abonos orgánicos en la productividad de maíz (*Zea mays* L.) en Chiapas” para obtener el grado de Doctor (a) en Ciencias en Ecología y Desarrollo Sustentable.

	Nombre	Firma
Tutor	Dr. José David Álvarez Solís	_____
Asesor	Dr. Jorge Mendoza Vega	_____
Asesor	Dr. Juan Manuel Pat Fernández	_____
Asesor	Dr. Regino Gómez Álvarez	_____
Sinodal adicional	Dra. Esperanza Huerta Lwanga	_____
Sinodal adicional	Dr. Antonio Federico Gutiérrez Miceli	_____
Sinodal suplente	Dr. Ramón Mariaca Méndez	_____

Forma de citar:

Pérez Luna, YC. 2012. Impacto de la biofertilización y aplicación de abonos orgánicos en la productividad de maíz (*Zea mays* L.) en Chiapas. Tesis de doctorado, El Colegio de la Frontera Sur, San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México. 125 p.

Dedicatoria

A mis padres, Angelita Luna y Antonio Pérez Moreno[†], por su inmenso cariño.

A mis hijos, Argelia y Antonio, por su paciencia durante mis ausencias y por recibirme con una sonrisa a mi regreso. Los amaré por siempre.

Agradecimientos

Con especial reconocimiento al Dr. José David Álvarez Solís por compartir conmigo sus conocimientos y acompañarme en mi formación profesional.

A los Doctores Jorge Mendoza Vega, Juan Manuel Pat Fernández y Regino Gómez Álvarez por sus valiosos comentarios y apoyo durante la realización del doctorado.

Al M.C. Noé Samuel León Martínez, por su invaluable apoyo y amistad durante la realización del trabajo de campo.

A mis hermanos: Irma, Coco, Martha, Bety, Paty y Esaú, por estar conmigo y alentarme siempre.

Al padre de mis hijos, Arturo, por cuidar de ellos y apoyar mi crecimiento profesional.

A mis amigos y compañeros de trabajo: Roberto, Peggy, Delfeena y Sergio, por apoyar mis decisiones y acompañarme en este proceso de crecimiento profesional.

A los Doctores Esperanza Huerta Lwanga, Federico Antonio Gutiérrez Miceli y Ramón Mariaca Méndez por darse el tiempo de leer este trabajo y enriquecerlo con sus aportaciones.

Al Dr. Jorge Luis Zuart Macías por las facilidades otorgadas para la realización de los estudios de doctorado.

A la Lic. Blanca E. Parra Chávez por su gestión ante Promep para la obtención de la beca para estudios de posgrado.

Al Programa de Mejoramiento del Profesorado (Promep) por la beca otorgada.

Al FORDECYT/CONACYT por el apoyo financiero brindado para la realización de este trabajo, a través del proyecto No. 116306.

Al grupo de productores orgánicos de maíz “La Ventana” no solo por permitirme entrar a sus parcelas y desarrollar el trabajo de investigación, sino también por darme la oportunidad de aprender de ellos y convivir con sus familias.

A la Ing. Agroindustrial Norma Elena Figueroa Cruz por su apoyo durante el trabajo en el laboratorio.

Índice general

Agradecimientos

Índice general

Lista de Cuadros

Lista de figuras

RESUMEN

I. INTRODUCCIÓN	14
II. ANTECEDENTES	17
1. Situación actual de la agricultura en México.....	17
2. El suelo en la actividad agrícola	20
3. Agricultura orgánica	22
4. Abonos orgánicos	24
4.1 Humus de lombriz	25
4.2 Abonos verdes	26
4.3 Biofertilizantes.....	28
4.3.1 Hongos micorrícicos.....	30
4.3.1.1 Diversidad de hongos micorrícicos arbusculares	32
4.3.2 Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal	34
4.3.2.1 <i>Azospirillum</i>	35
4. 4. Biofermentos	36
III. JUSTIFICACIÓN	39
IV. OBJETIVOS.....	42
1. Objetivo general	42
2. Objetivos específicos.....	42
V. SITIOS DE ESTUDIO	44
1. Campo experimental.....	44
2. Parcelas de productores	45
VI. INFLUENCIA DEL HUMUS DE LOMBRIZ Y BIOFERTILIZANTES EN EL CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE MAÍZ.....	48
1. Resumen	48
2. Abstract.....	48
3. Introducción.....	49
4. Materiales y métodos.....	51
5. Resultados.....	54
5.1 Crecimiento vegetativo	54
5.2. Colonización y nutrición mineral	55
5.3. Rendimiento de maíz.....	56
6. Discusión	58
7. Conclusiones.....	60

VII. IMPACTO DE LA APLICACIÓN DE BIOFERTILIZANTES EN PARCELAS CON Y SIN COBERTURA DE FRIJOL NESCAFÉ (<i>Mucuna deeringiana</i> Merr.) SOBRE LA PRODUCTIVIDAD DE MAÍZ (<i>Zea mays</i> L.)	63
1. Resumen	63
2. Abstract.....	64
3. Introducción.....	64
4. Materiales y métodos.....	67
4.1 Preparación del terreno e inoculación de semillas.....	70
4.2 Elaboración del fertilizante foliar	70
4.3 Siembra.....	72
4.4 Medición de variables.....	73
4.5 Análisis estadístico	75
5. Resultados.....	75
5.1 Ciclo primavera-verano 2009	75
5.1.1 Crecimiento vegetativo del cultivo.....	75
5.1.2 Colonización y nutrición mineral	76
5.1.3 Rendimiento de maíz.....	76
5.2 Ciclo primavera-verano 2010	78
5.3 Relación costo beneficio de la producción de maíz	83
6. Discusión	84
7. Conclusiones.....	86
VIII. DIVERSIDAD DE HONGOS MICORRÍCICOS ARBUSCULARES ASOCIADOS AL CULTIVO DE MAÍZ, EN CHIAPAS, MÉXICO.....	88
1. Resumen	88
2. Abstract.....	88
3. Introducción.....	89
4. Materiales y métodos.....	91
5. Resultados.....	95
5.1 Composición taxonómica de hongos micorrícicos arbusculares en las parcelas estudiadas.....	95
5.2. Efecto de AVCC y biofertilizantes sobre la densidad, riqueza y diversidad de especies de HMA y colonización de la raíz.....	99
6. Discusión	101
7. Conclusiones.....	104
IX. CONCLUSIONES GENERALES	106
X. LITERATURA CONSULTADA	108

LISTA DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Características físicas y químicas del suelo de la parcela experimental del CUITT, 2008	51
Cuadro 2. Descripción de los tratamientos evaluados en la parcela experimental del CUITT.	52
Cuadro 3. Características químicas del humus de lombriz incorporado en la parcela experimental del CUITT.....	53
Cuadro 4. Efecto de los tratamientos en el crecimiento vegetativo de maíz.	55
Cuadro 5. Efecto de los tratamientos en la colonización de la raíz y contenido nutrimental del follaje de maíz.....	56
Cuadro 6. Efecto principal de Humus, <i>Glomus</i> y <i>Azospirillum</i> y su interacción sobre el rendimiento de grano de maíz.	57
Cuadro 7. Características físicas y químicas del suelo en las parcelas.....	69
Cuadro 8. Descripción de los tratamientos evaluados en el primer año.....	69
Cuadro 9. Arreglo de los tratamientos evaluados en el segundo año	70
Cuadro 10. Características del biofertilizante micorrícico	71
Cuadro 11. Características del fertilizante orgánico foliar	72
Cuadro 12. Prácticas de manejo realizadas en las parcelas	73
Cuadro 13. Condiciones imperantes en las parcelas.....	74
Cuadro 14. Efecto del antecedente de cobertura de frijol nescafé (<i>Mucuna deeringiana</i> Merr.) y de la biofertilización en el desarrollo vegetativo de las plantas de maíz	75
Cuadro 15. Colonización micorrícica y análisis foliar de maíz.....	76
Cuadro 16. Rendimiento de maíz obtenido en el ciclo primavera-verano 2009	77
Cuadro 17. Características de las mazorcas de variedades locales de maíz sembradas en el ciclo primavera-verano 2009 en el ejido La Bella Ilusión.....	79
Cuadro 18. Rendimiento de maíz en la parcela sin cobertura de AVCC	80
Cuadro 19. Valores medios del contenido nutrimental del follaje de maíz.....	82
Cuadro 20. Estructura de costo e ingreso total del sistema de producción Maíz criollo en la comunidad de Bella Ilusión en el municipio de Maravilla Tenejapa, Chiapas	84
Cuadro 21. Características físicas y químicas del suelo en parcelas con y sin AVCC	93
Cuadro 22. Características de las parcelas evaluadas en el Ejido La Bella Ilusión.....	93
Cuadro 23. Especies y morfoespecies de HMA encontradas en la rizosfera de maíz.....	96
Cuadro 24. Morfo-especies de HMA encontradas en las parcelas estudiadas.	98
Cuadro 25. Significancia estadística de los factores evaluados sobre la densidad de esporas, riqueza y diversidad de especies y el porcentaje de colonización micorrícica.....	100
Cuadro 26. Efecto de los factores evaluados sobre la densidad de esporas, riqueza y diversidad de especies de HMA y el porcentaje de colonización (valores medios±error estándar).....	100

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Interacción entre el tratamiento Micorriza y Foliar para la altura de la planta	81
Figura 2. Interacción entre el tratamiento Micorriza y Foliar para el diámetro del tallo	82
Figura 3. Hongos micorrícicos del Ejido La Bella Ilusión, Maravilla Tenejapa, Chiapas. a) <i>G. claroideum</i> , b) <i>G. geosporum</i> , c) <i>G. intraradices</i> , d) <i>G. aff. lamellosum</i> , e) <i>G. luteum</i> , f) <i>G. sinuosum</i> , g) <i>G. verruculosum</i> , h) <i>Glomus</i> sp., i) aff. <i>Glomus</i> , j) <i>A. excavata</i> , k) <i>A. mellea</i> , l) <i>A. aff. morrowiae</i> , m) <i>A. spinosa</i> , n) <i>A. scrobiculata</i> , o) <i>A. aff. scrobiculata</i> , p) <i>E. infrequens</i> , q) <i>Gigaspora gigantea</i> , r) <i>I. shenckii</i> , s) Vesículas e hifas en raíces de maíz. Escala de las esporas: 30 μ m.	97
Figura 4. Efecto de la aplicación de micorrizas y fertilizante orgánico foliar sobre el porcentaje de colonización de la raíz de maíz. Las barras indican el error estándar de las medias (n=7). Letras diferentes indican diferencias significativas (Tukey, p<0.05).	101

RESUMEN

La importancia socio-cultural del cultivo de maíz, base de la alimentación del pueblo de México, y la difícil situación en la que se encuentra la agricultura campesina debido al incremento en el costo de los fertilizantes, entre otros factores, plantea la necesidad de encontrar alternativas agroecológicas que mejoren la calidad del suelo, la producción del cultivo y la productividad del trabajo. Las rizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas y los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) representan dos grupos principales de microorganismos benéficos de la rizosfera de maíz que mejoran la nutrición mineral de la planta; mientras que la aplicación de abonos orgánicos afecta favorablemente las características físicas, químicas y biológicas de los suelos, contribuyendo en ambos casos a la sustentabilidad del agroecosistema. Se conoce que algunas prácticas agrícolas, tales como la secuencia y/o asociación de cultivos y la aplicación de productos químicos alteran las poblaciones de microorganismos rizosféricos, la composición de especies y la colonización de la raíz. Sin embargo, se desconoce de los efectos del uso combinado de biofertilizantes y abonos orgánicos sobre la productividad de maíz, así como de la influencia que tienen las rizobacterias como *Azospirillum* y la aplicación de biofermentos en la colonización de HMA y su actividad. En el presente trabajo se evaluó el efecto que tiene la aplicación de biofertilizantes (hongos micorrízicos, rizobacterias y biofermentos) y abonos orgánicos (humus de lombriz y abonos verdes), sobre la calidad del suelo, el crecimiento, la nutrición mineral y el rendimiento de grano, así como en la rentabilidad del cultivo de maíz. Para ello se establecieron tres experimentos de campo en condiciones de temporal, uno bajo condiciones controladas y dos más bajo las prácticas de manejo locales en parcelas de productores. Las variables evaluadas fueron desarrollo vegetativo, análisis foliar, rendimiento de maíz, relación beneficio/costo, porcentaje de colonización y recuento de esporas de HMA. Con estas últimas se identificaron las especies y se midió la diversidad de HMA como un indicador de la calidad del suelo. Los resultados obtenidos mostraron que con la aplicación de humus de lombriz, el desarrollo vegetativo y sistema radical de las plantas de maíz fue más alto que sin el abono, mientras que el peso seco de follaje y el rendimiento de grano fueron 142 y 27% más alto en el tratamiento con humus+*Glomus*+*Azospirillum* que en el testigo. Se encontró que el humus de lombriz mejoró el crecimiento vegetativo de la planta y tuvo una influencia positiva en la actividad

de los biofertilizantes para promover la producción de biomasa aérea seca y el rendimiento de grano del maíz.

En el experimento desarrollado en los ciclos de cultivo 2009-2010 se encontró que la presencia de abonos verdes/cultivos de cobertura (AVCC) tuvo un efecto positivo sobre el rendimiento de maíz para el primer año; así mismo el rendimiento de maíz fue significativamente más alto en el tratamiento inoculado con micorriza, difiriendo en más de 1000 kg/ha con respecto al testigo en algunos casos. El efecto positivo de la inoculación del biofertilizante micorrízico arbuscular sobre el rendimiento del grano de maíz fue corroborado en el segundo ciclo de cultivo (2010). Los niveles de colonización micorrízica fueron altos en la mayoría de las parcelas en ambos experimentos y no se observó un efecto con significancia estadística de la aplicación del fertilizante foliar sobre el rendimiento de maíz.

En las parcelas de productores se identificaron 23 morfoespecies de HMA de las cuales 14 se llevaron a nivel de especie. La población de HMA corresponde a los géneros *Glomus*, *Acaulospora*, *Entrophospora*, *Intraspora* y *Gigaspora*, siendo los dos primeros los más abundantes con 11 y 8 morfoespecies, respectivamente; mientras que *Entrophospora*, *Gigaspora* e *Intraspora* fueron menos comunes con solo una especie cada uno. Las especies con mayor dominancia relativa fueron *G. geosporum*, *G. claroideum* y *A. scrobiculata* (30.0, 26.2 y 12.6% respectivamente). Se observó un efecto positivo de la presencia de AVCC sobre la riqueza de especies, el número de especies con AVCC superó en 50% al obtenido sin AVCC. En las parcelas con AVCC se encontró 91.3% del total de morfoespecies identificadas, mientras que en las parcelas sin AVCC el 60.9%. El índice de diversidad fue más alto (1.64) en parcelas donde estuvo presente la leguminosa que sin esta (1.22). La siembra de diferentes variedades de semillas locales, aunado a la rotación de AVCC y aplicación de biofertilizantes arrojó una relación costo-beneficio de 1.35, observándose una diferencia estadísticamente significativa ($p=0.017$) para el rendimiento de maíz entre tratamientos, siendo el tratamiento micorrizas uno de los más altos (2101.7 kg ha⁻¹), lo cual indica un beneficio económico para el productor bajo este sistema de producción. Se concluye que la aplicación de hongos micorrízicos, fertilizante orgánico foliar y abono verde son alternativas favorables para sustentar la producción de maíz.

Palabras clave: Rizobacterias, hongos micorrícicos, *Azospirillum*, abonos verdes, humus de lombriz.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN GENERAL

I. INTRODUCCIÓN

La agricultura orgánica es un sistema de producción que excluye el uso de fertilizantes inorgánicos, pesticidas y reguladores de crecimiento. Los sistemas orgánicos dependen principalmente de la asociación y rotación de cultivos, de los residuos de cosechas, estiércoles, abonos verdes, uso de minerales de rocas, biofertilizantes y del control biológico de plagas para mantener la productividad. El empleo de abonos orgánicos permite aportar elementos nutritivos en forma orgánica al suelo, con lo que se incrementa la reserva de ellos y el nivel de fertilidad. La liberación lenta y progresiva es garantía de que elementos móviles, como el nitrógeno, permanezcan retenidos en el suelo, disminuyendo su lixiviación (Núñez, 1981). Además, los abonos orgánicos contribuyen a mejorar la estructura del suelo, favorecen la presencia de microbiota relacionada con el ciclo o liberación de nutrimentos del suelo, aumentan el contenido de C, N y P, la biomasa microbiana y la actividad de hongos micorrízicos arbusculares (HMA), y la estabilidad agregados del suelo (Shindô y Shojaku, 1999).

Existen diferentes tipos de abonos orgánicos, tales como estiércoles (vacuno, gallinaza, porcino) y el producto resultante es el humus. Por su parte, el humus de lombriz es el estado óptimo de descomposición de la materia orgánica y proviene de los excrementos de las lombrices que transforman los desechos orgánicos. Dada la gran cantidad de microorganismos que contiene, mejora la bioestructura y la vida del suelo e incrementa la absorción de nutrimentos por las plantas (Núñez, 2000). Los abonos verdes/cultivos de cobertura (AVCC) se basan en el uso de especies de leguminosas que desarrollan en sus raíces nódulos, en cuyo interior existen bacterias que fijan en el suelo el nitrógeno atmosférico.

Una alternativa para promover el crecimiento y desarrollo de las plantas es la inoculación con microorganismos denominados “rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal” o “biofertilizantes” (Holguín *et al.*, 2003); los más utilizados como biofertilizantes son las bacterias de los géneros *Rhizobium* y *Azospirillum*, así como hongos micorrízicos del género *Glomus* (Holguín *et al.*, 2003) y los efectos benéficos de las rizobacterias y de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) sobre el crecimiento de las plantas han sido ampliamente reconocidos (Giovannetti *et al.*, 2002).

El maíz es el cultivo de mayor importancia para los mexicanos y requiere para su producción una buena nutrición mineral. Este cultivo demanda para su desarrollo óptimo de 22 kg de N, 4kg de P y 19 kg de K por tonelada de grano (Andrade et al., 1996). Así también requiere de Ca, Mg y S en concentraciones menores (3, 3 y 4 kg/ton de grano, respectivamente) y de micronutrientes como B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo y Zn en concentraciones más pequeñas; es importante considerar que estos requerimientos varían en función del nivel de producción y del ambiente (Andrade *et al.*, 1996). Bajo la agricultura convencional, los requerimientos nutrimentales del maíz son cubiertos mediante la aplicación de fertilizantes sintéticos; sin embargo bajo un esquema de producción orgánica estos podrían ser suministrados a través de productos naturales tales como: abonos orgánicos (humus de lombriz), abonos verdes (leguminosas), HMA y rizobacterias, fertilización edáfica y foliar con biofermentos, y a través de la asociación y rotación de cultivos. Por lo tanto, este trabajo tuvo como objetivo determinar el efecto de la aplicación de biofertilizantes (HMA y *Azospirillum*) combinados con abonos orgánicos y AVCC en el rendimiento de maíz, así como en la diversidad de hongos micorrízicos en el cultivo de maíz bajo diferentes estrategias de manejo.

CAPÍTULO II

ANTECEDENTES

II. ANTECEDENTES

1. Situación actual de la agricultura en México

Uno de los problemas a los que se enfrenta la agricultura actual en México se debe sin lugar a dudas a la pérdida de fertilidad de los suelos, derivado de un manejo inadecuado de estos por la implementación de prácticas que involucran insumos externos que afectan tanto al ambiente, como a la salud y economía de los productores. El crecimiento de la población y la constante demanda de alimentos ha influido en la reducción en el periodo de descanso del suelo que permitía su recuperación, influyendo negativamente en los rendimientos de cultivos como maíz y por ende aumentando los costos de producción (Cuanalo y Uicab-Covoh, 2005). Es importante mencionar que la degradación del suelo representa 69% de la superficie nacional, mientras que la salinización se presenta en 30% de la superficie irrigada, ocasionando que el 80% del territorio nacional presente suelos con baja fertilidad (Rello y Saavedra, 2007).

En México, la agricultura que se practica puede clasificarse como de autoconsumo, conocida como de subsistencia o tradicional que se desarrolla en el sur del país, y la comercial que corresponde a la agricultura tecnificada destinada a la comercialización y que se desarrolla en el norte de la República Mexicana. Sin embargo, de manera general se observa que la presión ejercida por el crecimiento desmedido de la población ha obligado a extender la frontera agrícola provocando altas tasas de deforestación (Rello y Saavedra, 2007), y a usar tierras poco fértiles que requerirán la aplicación de fertilizantes para proporcionar nutrimentos que el cultivo demande, trayendo consigo problemas de erosión de suelos y la contaminación de recursos naturales, y aún así no se están satisfaciendo las necesidades alimentarias de la población por lo que desde la década de 1980 México importa maíz, observándose una tendencia creciente en los últimos años (Sagarpa, 2009). Esta medida obedece principalmente a los bajos niveles de producción del cereal ocasionado por falta de créditos, limitada estructura de riego, escasos subsidios otorgados por el gobierno ante cosechas siniestradas por fenómenos naturales y a la apertura comercial por el tratado de libre comercio (CEFP, 2007). Por otro lado, el campo mexicano también está experimentando un abandono, actualmente muchos de los productores emigran y dejan sus tierras porque la agricultura ya no está siendo una actividad rentable.

La tendencia mundial de cambiar cultivos alimenticios hacia la producción de energía: biocombustibles con base en productos agrícolas como el maíz, aunado a otros factores, ha repercutido en la agricultura mexicana poniendo en riesgo la seguridad alimentaria, haciendo que nuestro país se vuelva vulnerable al depender del extranjero para obtener alimentos básicos, con importantes repercusiones en el sector agrícola (Torres, 2003).

La crisis que se vive en el campo no afecta únicamente al ambiente y a los recursos naturales, sino también tiene un fuerte efecto en la economía de los productores. En el afán de tener una agricultura tecnificada dirigida al mercado y a la exportación, muchos productores viven hoy sumidos en el endeudamiento acompañado de bajos rendimientos por no poder adquirir paquetes tecnológicos, sistemas mecanizados y de riego que les permitan mantener monocultivos dependientes de insumos externos, por lo tanto la búsqueda de opciones agrícolas es una imperiosa necesidad para enfrentar la demanda de alimentos.

El maíz constituye el producto agrícola más importante para México. Esta importancia, que no se refleja necesariamente solo en términos de valor monetario, se deriva del hecho de que el maíz es el producto fundamental en la dieta de la mayoría de la población. Pero la importancia cualitativa del maíz en la dieta es aún mayor ya que constituye el producto básico y cotidiano alrededor del cual se organiza toda la alimentación. El maíz puede establecerse en asociaciones complejas con otras plantas, en sistemas de rotación con otros cultivos, o sólo con el apoyo de productos químicos para mantener la fertilidad del suelo.

Sin embargo, la situación actual del maíz en México es precaria, ya que siendo un país con una gran diversidad de razas de este cereal, actualmente se depende de las importaciones para alimentarse, de manera que las importaciones de granos y oleaginosas en 2007 llegaron a sus máximas cifras con respecto al 2006. En el caso de maíz, ascendieron a 10.7 millones de toneladas, con un valor de mil 830 millones de dólares¹.

A este problema se le agrega la crisis energética que se vive hoy en día, la cual tiene serias repercusiones en la agricultura. El aumento de la producción agraria en todos los países del mundo se ha basado en el petróleo que utilizan por la maquinaria empleada en las distintas labores y operaciones del campo, los fertilizantes nitrogenados y otros productos químicos que se emplean en la agricultura moderna los cuales representan una fuerte

¹ Víctor Suárez Carrera. Pésimas cuentas de Calderón: La Economía Agroalimentaria, un desastre. La Jornada del Campo. Abril, 2008.

inversión para el productor por el encarecimiento de estos, además de las serias repercusiones ambientales que representan. En México los fertilizantes nitrogenados, que son los más utilizados, han tenido que ser importados ocasionando una creciente fuga de divisas. En 2007 la balanza comercial de estos insumos fue deficitaria en casi mil nueve millones de dólares, de los que 40 por ciento corresponden a urea². Por lo tanto, se impone como urgencia una ordenación en el empleo de fertilizantes nitrogenados para mantener la productividad ahorrando energía por lo que se hace necesario buscar nuevas alternativas de producción que permitan la reducción de los fertilizantes inorgánicos a favor de una agricultura más limpia, más sana y que fomente la conservación de los suelos.

Los suelos de México son ricos en K por lo que únicamente se les aplica N-P y dado que el maíz, como la mayoría de las gramíneas, demanda alta fertilización de estos dos elementos para proporcionar altos rendimientos y a que el costo de dicho insumo es elevado, se hace necesaria la búsqueda de opciones en la nutrición vegetal para el buen desarrollo del cultivo. Cervantes (2004) evaluó la respuesta de maíz a la inoculación con biofertilizantes en cuanto al rendimiento de elote y grano en condiciones de campo bajo riego. Los rendimientos más altos fueron proporcionados por brasinoesteroides con rendimientos de 17.1 y 7.2 t/ha de elote y grano, respectivamente, rendimientos que corresponden al 15.3 y 14.8 % de incremento con relación al testigo sin biofertilizante. Seguido de *Azospirillum* que presentó rendimientos de 17.0 y 6.9 t/ha de elote y grano, respectivamente. Estos resultados, aunque positivos al uso de biofertilizantes para la producción de maíz, requieren de más investigación para determinar la factibilidad de su uso como fertilización complementaria en maíz de temporal.

Por su parte, Reyes-Méndez y Cantú-Almaguer (2004), en un estudio realizado en Tamaulipas bajo condiciones de temporal, encontraron que los mejores rendimientos de grano se debieron a la aplicación de la fertilización química y que el uso de *G. intrarradices* o de *A. brasilense* no tuvo efecto sobre el incremento del rendimiento de maíz, ni en sus componentes, sin embargo esto puede deberse a que utilizaron un híbrido de maíz.

² Marco Buenrostro y Cristina Barros. 1938: Expropiación petrolera 2008: ¿Expropiación petrolera?. La Jornada del Campo. Abril, 2008.

2. El suelo en la actividad agrícola

El suelo, entendido como un sistema complejo, dinámico y diverso, es uno de los recursos importantes para la producción agrícola, de su mantenimiento y conservación dependerá la producción sostenible de cultivos para satisfacer la demanda de alimentos actual y para generaciones futuras; sin embargo, el manejo inadecuado sobre los agroecosistemas ha originado cambios en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo afectando la productividad (Lal, 2002). Es necesario reconocer al suelo como un sistema con elementos físico-bióticos, constituido por minerales pero también por grupos de organismos con funciones definidas y que son fuertemente afectados por el desarrollo de prácticas agrícolas como la labranza intensiva y la aplicación de compuestos sintéticos que aún cuando proporcionan los nutrimentos necesarios para el cultivo también están asociados a fuertes efectos de acidificación y salinización del suelo, de contaminación del agua y del aire. De manera que debe tenerse en cuenta que un suelo es fértil por el establecimiento, crecimiento y desarrollo continuo de diversos microorganismos, principalmente bacterias y hongos, que descomponen nutrimentos a partir de la materia orgánica proveniente de plantas y animales haciéndolos disponibles para las plantas.

Un suelo fértil puede definirse como aquel suelo que tiene la capacidad de abastecer nutrimentos suficientes para el cultivo, asegurando su crecimiento y desarrollo (Havlin *et al.*, 1999). Sin embargo, este concepto debe incluir los atributos físicos, químicos y biológicos que al asociarse permiten producir cosechas sanas y abundantes (Etchevers *et al.*, 2000). La fertilidad biológica está relacionada con la biomasa microbiana responsable de la descomposición de la materia orgánica proveniente de residuos vegetales y animales, así como del reciclaje de la misma (Astier *et al.*, 2002). El contenido de materia orgánica es generalmente reconocido como un indicador clave de la calidad del suelo (Schjønning *et al.*, 2004), definiéndose a ésta última como "la capacidad de un suelo para funcionar dentro de los límites del ecosistema y uso de la tierra, para sostener la productividad biológica, mantener la calidad del ambiente y promover la salud de plantas y animales" (Doran y Parkin, 1994).

La materia orgánica mejora la estructura del suelo e incrementa la retención de agua; sin embargo, las prácticas agrícolas afectan fuertemente el contenido de materia orgánica de

manera que prácticas como la siembra directa y la aplicación de residuos de cosecha permiten una redistribución o estratificación del carbono orgánico (Dolan *et al.*, 2006).

Con el desarrollo de la agricultura convencional, representada básicamente por la aplicación de insumos de origen sintético, la calidad del suelo ha sido deteriorada. El uso excesivo de fertilizantes químicos generó la disminución en la fertilidad del suelo y por ende contribuyó a la degradación del ambiente (Gyaneshwar *et al.*, 2002). Sin embargo, debemos recordar que nuestros antepasados tuvieron a la agricultura como principal actividad económica, el conocimiento heredado por generaciones les permitió mantener una producción diversa, estableciendo asociaciones de especies que podían crecer juntas, alimentada por insumos internos que por medio de su descomposición retornaban los nutrientes extraídos al suelo durante el desarrollo y cosecha del cultivo. Actualmente, la fuerte presión ejercida sobre la agricultura para producir alimentos demandados por una población en constante crecimiento ha repercutido en la fertilidad del suelo, el establecimiento de monocultivos ha dejado grandes extensiones de suelo desprovisto de su protección natural (árboles y vegetación) por lo que en América del Sur y Norte se pierden de 5 a 10 t/ha/año de suelo por erosión eólica, mientras que únicamente se forma 1 t/ha/año (Gliessman, 2002).

No todos los nutrientes presentes en el suelo están disponibles para las plantas, algunos requieren ser transformados como el caso del nitrógeno atmosférico que a partir del proceso de fijación biológica realizado por algunos microorganismos se incorpora a la biomasa de plantas o al suelo (Gliessman, 2001), siendo esta una función clave de algunos microorganismos del suelo. En el suelo se encuentra un amplio número de microorganismos, incluyendo bacterias, hongos, protozoos y algas (Nogales, 2005), cuya densidad y número depende de la descomposición y concentración de los nutrientes exudados por las raíces de las plantas (Lynch, 1990). Esta comunidad microbiana está formada por bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPB) que incrementan la absorción de agua y nutrientes así como el desarrollo del sistema radical, las biocontrol-PGPB (Bashan y Holguín, 1998) que suprimen el crecimiento de fitopatógenos induciendo a la planta resistencia natural, y los hongos fomadores de micorriza arbuscular (Bonfante-Fassolo y Perotto, 1995) que confieren beneficios a los cultivos como la absorción de P en suelos con baja fertilidad. En la rizosfera de maíz se han encontrado cepas correspondientes a los

géneros de *Burkholderia*, *Bacillus* y *Streptomyces* (Hernández *et al.*, 2003), además de hongos micorrízicos arbusculares.

Es importante mantener la actividad biológica de los suelos agrícolas para no alterar los ciclos biogeoquímicos en los que participan estos microorganismos así como la actividad enzimática desarrollada por los mismos y aprovechar los beneficios generados a los cultivos, de forma que se mantenga la microbiota que incide directamente en la fertilidad del suelo, esto se logrará a través de prácticas agrícolas sustentables que prioricen el mantenimiento y conservación del recurso suelo. También hay que considerar que la sola sustitución de abonos químicos por orgánicos no revertirá el problema de pérdida de fertilidad del suelo, sino que deben incluirse prácticas de manejo específicas que respondan a su capacidad de uso y grado de susceptibilidad a la degradación. De manera que para mantener la fertilidad del suelo se propicie la diversificación de los sistemas de producción, mantener e incrementar la cobertura vegetal, favorecer el reciclaje de material orgánico, practicar labranza mínima o labranza cero para mantener la actividad biológica y hacer uso de microorganismos que beneficien a los cultivos (Brechelt, 2004). La agricultura debe sostener las necesidades presentes y futuras de la población sin tener que pagar un alto precio por ello, es decir, se deben establecer sistemas agrícolas que conserven la biodiversidad y el uso sostenible de los recursos naturales, pero sobre todo evitar la contaminación y pérdida del suelo, recurso indispensable para soportar la producción de alimentos.

3. Agricultura orgánica

La agricultura orgánica puede definirse como un sistema integral de producción que mantiene la biodiversidad, los ciclos biogeoquímicos y la actividad biológica del suelo, incorpora prácticas agrícolas locales que en su conjunto favorecen y mejoran la salud del agroecosistema (Codex Alimentarius Commission, 2001). Promueve la conservación de los recursos naturales y se enfoca principalmente en el mantenimiento e incremento de la fertilidad natural del suelo a través del ciclaje de nutrientes, de la aplicación de abonos orgánicos (estiércoles) y de la no aplicación de fertilizantes y pesticidas sintéticos (Fließbach *et al.*, 2006). Este sistema de producción incluye el desarrollo de prácticas agrícolas que involucren la aplicación de insumos internos en lugar de materiales sintéticos

(Shannon *et al.*, 2002). Para conservar la fertilidad y las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo se aplican abonos orgánicos, mismos que promueven un incremento en la diversidad, desarrollo y actividad de microorganismos benéficos, tales como los hongos micorrízicos arbusculares (Millaleo *et al.*, 2006).

La agricultura orgánica si bien requiere de mayor esfuerzo, demanda mucha mano de obra en sus etapas iniciales (169 jornales/ha en diversos cultivos en México) (FIRA, 2003) es una opción que permite al productor conservar su medio de trabajo, el suelo. Dentro de los beneficios más importantes que esta práctica genera se puede mencionar que no atenta contra la salud del productor y su familia, asegura el auto abasto de alimentos limpios y diversos, los insumos que se incorporan al suelo provienen del mismo lugar, las prácticas que el productor realiza mantienen la actividad biológica del suelo que mejora la estructura y la nutrición del mismo.

Por otra parte, el mercado de productos orgánicos está creciendo aceleradamente, existe una mayor conciencia en el consumidor de adquirir productos sanos y pagar por ello, por lo tanto es una buena oportunidad para que los productores orgánicos sean reconocidos por su esfuerzo en la conservación y en la mitigación del daño ambiental generado por prácticas de la agricultura convencional. En países en desarrollo, ante la grave crisis económica, la agricultura orgánica es el mecanismo para asegurar la alimentación de la población y también permite generar ingresos económicos que mejoren la situación que se vive en el campo. En México, el 85% de la producción orgánica se exporta, el maíz azul y rojo tiene una participación del 0.6%, su venta genera 837 680 dólares (Gómez Cruz *et al.*, 2001) y el principal comprador es Estados Unidos. La superficie sembrada con cultivos orgánicos ha crecido sustantivamente de 23 265 ha (1996) a 307 693 ha (2004/2005) permitiendo la entrada de 270.5 millones de dólares en divisas en este último periodo, generando 40.7 millones de jornales (CIESTAAM, 2005).

Aun cuando los sistemas manejados orgánicamente pueden no ser completamente sostenibles (Gliessman, 2002), presentan una serie de características comunes a los sistemas tradicionales, siendo estos últimos la base para alcanzar una producción de alimentos sustentable. Estas características son: no dependen de insumos externos, enfatizan el reciclaje de nutrimentos, están adaptados a condiciones locales, consideran la diversificación de cultivos aprovechando variaciones microambientales, y conservan la

biodiversidad biológica y cultural (Gliessman, 2002). Para alcanzar sistemas orgánicos sustentables debe hacerse un manejo orgánico del suelo en el que se propicie el incremento en materia orgánica, en el reciclaje de nutrientes y de biota edáfica, además de considerar el establecimiento de policultivos, rotaciones, cultivos de cobertura, entre otros, para incrementar la fauna benéfica e incidir en la salud del cultivo y del agroecosistema en su conjunto (Altieri y Nicholls, 2007); estos elementos permitirán la producción de alimentos sanos garantizando la seguridad alimentaria del productor y de su familia, respetando y conservando los recursos naturales.

Por lo tanto, la agricultura orgánica es “entregarse a la tarea de desenterrar y rescatar el viejo paradigma (no agotado) de las sociedades agrarias que practicaron y garantizaron durante mucho tiempo la autodeterminación alimentaria de sus comunidades, a través del diseño de auténticos modelos de emprendimientos familiares rurales, donde conjugaron sabiduría y habilidades para garantizar la sostenibilidad y el respeto por la naturaleza; esta misma agricultura es mucho más que una simple revolución en las técnicas agrícolas de producción. Es la fundación práctica de un movimiento espiritual, de una revolución, para cambiar la forma de vivir de los seres humanos” (Fregman, en Restrepo y Hensel, 2009).

4. Abonos orgánicos

Los abonos orgánicos se han usado desde tiempos remotos; son todos aquellos residuos de origen animal o vegetal que al descomponerse enriquecen y mejoran las características físicas, químicas y biológicas del suelo además de proporcionar nutrientes para la alimentación de las plantas. Estos abonos son variables en cuanto a sus características físicas y composición química principalmente en el contenido de nutrimentos, así como en el efecto que tienen en el suelo, lo cual depende de su procedencia, edad, manejo y contenido de humedad (Romero *et al.*, 2000).

La materia orgánica que se incorpora al suelo a través de los abonos orgánicos proviene de diferentes actividades como la ganadera (estiércoles, orines y huesos), agrícola (restos de cultivos, podas de árboles y arbustos, arvenses), forestal (aserrín, hojas, ramas y cenizas) y también de la actividad industrial (pulpa de café y bagazo de caña de azúcar p. e.); esta materia orgánica a partir del proceso de humificación es transformada en humus, siendo éste

el estado más avanzado en la descomposición. Este compuesto mejora las propiedades físico-químicas del suelo y a través del proceso de mineralización es transformado en compuestos solubles asimilables por las plantas (Brechelt, 2004), siendo el compuesto más importante del suelo ya que favorece el desarrollo y la actividad de los microorganismos, mejora la bioestructura del suelo, aumenta la capacidad de infiltración del agua reteniendo la humedad del suelo y contribuye a la vigorosidad de las plantas y a la resistencia al ataque de plagas y enfermedades (Núñez, 2000).

Los abonos orgánicos incrementan la cantidad y diversidad de la flora microbiana benéfica liberando paulatinamente los nutrientes que las plantas necesitan para su desarrollo, ya que se les considera como fertilizantes de liberación lenta cuya acción se prolonga con el tiempo favoreciendo la producción de alimentos (Soto, 2003), activan una serie de rizobacterias que protegen a las plantas y que además promueven su crecimiento (Restrepo y Hensel, 2009). Estos abonos han sido utilizados desde tiempos remotos y ha quedado demostrada su influencia en la fertilidad del suelo (Romero et al., 2000).

Existen diferentes tipos de abonos orgánicos, a continuación se describen los utilizados en este trabajo.

4.1 Humus de lombriz

El humus de lombriz es el producto que resulta de las transformaciones bioquímicas y microbiológicas que sufre la materia orgánica al pasar por el tracto digestivo de las lombrices (Edwards *et al.*, 1985), es el estado óptimo de descomposición de la materia orgánica y es uno de los humus más completos en calidad y cantidad nutricional, proviene de los excrementos de las lombrices dedicadas especialmente a transformar los desechos orgánicos. La cantidad de elementos nutritivos que contiene depende de las características químicas del sustrato con que se alimentan las lombrices (Legall y Zoyla, 2007).

El humus de lombriz es un material suelto y de estructura granulada que mejora las condiciones físicas del suelo favoreciendo el desarrollo de las raíces de las plantas; en cuanto a sus características biológicas, contiene altas poblaciones de microorganismos que participan en los procesos de formación del suelo y hacen disponibles nutrientes para la alimentación de plantas mediante su solubilización, el nitrógeno y el fósforo están siete veces más disponibles, el potasio once veces, el calcio dos veces y el magnesio seis veces

más utilizables en este abono que en la materia prima (CEDECO, 2005); las propiedades nutricionales de la vermicomposta varían en función de los desechos utilizados y del proceso que se realice para su obtención (Núñez, 2000).

Otras de las ventajas de usar humus de lombriz es que no dañan al ecosistema y por el contrario, permiten disminuir el uso de fertilizantes inorgánicos, aporta nutrientes minerales para las plantas, estas son más robustas y resistentes al ataque de patógenos, incrementa la aireación del suelo y recupera la fertilidad de los suelos pobres, degradados y erosionados (INIA, 2008).

4.2 Abonos verdes

La aplicación de abonos verdes ha demostrado ser una práctica eficiente en la sustitución de fertilizantes nitrogenados y en el incremento de la productividad de los cultivos (García *et al.*, 2002), además de tener efectos positivos en la conservación del suelo mediante la aplicación de leguminosas de consistencia herbácea como frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), haba (*Vicia faba* L.), alfalfa (*Medicago sativa* L.) y trébol blanco (*Trifolium repens*) que contribuyen al control de la erosión por agua y viento evitando la pérdida de los componentes físicos y biológicos del suelo, y por ende mejorando la fertilidad del mismo (Ferrera-Cerrato y Alarcón, 2001).

Los abonos verdes al descomponerse, dan lugar a una serie de reacciones bioquímicas que incrementan la actividad microbiana del suelo, impactando positivamente en la cantidad y diversidad de microorganismos, los cuales se encargan de la mineralización de los elementos nutritivos haciéndolos disponibles para las plantas (Gomero y Velásquez, 1999). Dentro de las ventajas que se atribuyen a la incorporación de abonos verdes al suelo están el aumento en el contenido de materia orgánica del suelo, incremento en la disponibilidad de macro y micronutrientes en forma asimilable para las plantas, elevan el pH del suelo, incrementan la capacidad de reciclaje y movilización de los nutrientes poco solubles, mejoran la estructura del suelo y su capacidad de retención de agua, reducen la erosión por la cubierta vegetal que mantienen en el suelo y favorecen la actividad de los microorganismos del suelo (Gomero y Velásquez, 1999).

El nitrógeno es el nutrimento más importante para el crecimiento de las plantas. Una de las principales aportaciones de los cultivos de cobertura en la fertilidad de los suelos es precisamente la incorporación de nitrógeno derivado de la fijación biológica de este elemento cuando se utilizan leguminosas (Jantalia, 2005). Dentro de las leguminosas que se han utilizado como AVCC se encuentran: *Canavalia ensiformis* (canavalia, canoalia), *C. gladiata* (frijol rienda), *Dolichos lablab* o *Lablab purpureus* (dólicos, garbanzo), *Vigna unguiculata* (frijol de vaca o caupí), *Cajanus cajan* (frijol de palo o gandúl) y *Mucuna pruriens* (frijol terciopelo o nescafé). Este último ha sido ampliamente utilizado en América Central y del Sur como un eficaz agente para el enriquecimiento y el mantenimiento de la fertilidad del suelo (Buckles, 1995; Lal, 1999).

Muchos autores han encontrado respuesta positiva del maíz a los abonos verdes en rotación, no solo en el crecimiento sino también en los rendimientos de grano, lo cual se atribuye a la incorporación de nitrógeno al sistema en comparación con los rendimientos obtenidos en sistemas bajo barbecho que incorporan plantas con bajos contenidos de nutrimentos (Lathwell, 1990). Burckles *et al.* (1999) observaron que la rotación de los abonos verdes con maíz aumentó los rendimientos del cultivo, por su parte Mascarenhas *et al.* (1998) obtuvieron mejores resultados con la utilización de abonos verdes que no solamente contribuyeron nutricionalmente al cultivo sino también fungieron como controladores de nemátodos.

En el sureste de México, *M. pruriens* ha sido cultivado en campos de maíz durante más de 30 años. Además de su función en la fijación de nitrógeno, Blanco y Gutiérrez (1998) encontraron que *Mucuna* incrementó las poblaciones de esporas de hongos micorrízicos, especialmente del género *Glomus*, lo cual coincide con lo señalado por Kabir y Koide (2002) quienes reportaron que los cultivos de cobertura en la temporada inactiva aumentan la colonización micorrízica de los siguientes cultivos de maíz.

En otros trabajos se menciona que los abonos verdes con base en leguminosas podrían acceder a P soluble del suelo a través de procesos inducidos por la raíz, lo cual es importante en suelos ácidos y pobres en P. Se ha encontrado también que algunos abonos verdes, como *Crotalaria* sp., pueden modificar la microbiota del suelo, disminuyendo en algunos casos la población de nemátodos parásitos e incrementando el nivel de hongos micorrízicos

benéficos (Germani y Plenchette, 2004). Es importante mencionar también que los abonos verdes por su cobertura y capacidad alelopática evitan que las malezas se diseminen (Ortiz, 1995).

4.3 Biofertilizantes

Los biofertilizantes se definen como preparados que contienen células vivas o latentes de cepas microbianas eficientes fijadoras de nitrógeno, solubilizadoras de fósforo o potenciadoras de diversos nutrimentos (Martínez, 1998). Los microorganismos contenidos en los biofertilizantes mejoran el crecimiento de las plantas y tienen un efecto en la sustentabilidad ambiental y productividad del cultivo (Sing *et al.*, 2001).

Los biofertilizantes se aplican a las semillas previo a la siembra o directamente al suelo, con el objetivo de incrementar el número de estos microorganismos en el medio y acelerar los procesos microbianos, de tal forma que se aumenten las cantidades de nutrimentos que pueden estar disponibles y asimilados por las plantas, o aceleran los procesos fisiológicos (facilitan su nutrición, crecimiento y desarrollo, mejoran su tolerancia frente a la tensión hídrica y a los agentes patógenos y, facilitan su adaptación a suelos salinos), que influyen sobre el desarrollo y el rendimiento de los cultivos (Martínez, 2002).

Los biofertilizantes son elaborados con especies seleccionadas de microorganismos incluyendo rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal, cianobacterias fijadoras de N₂, bacterias que suprimen enfermedades en plantas y hongos, microorganismos que degradan sustancias tóxicas del suelo, actinomicetos y otros microorganismos útiles (Singh *et al.*, 2001). Después de la crisis energética mundial de los años setenta del siglo próximo pasado, en países europeos y asiáticos se avanzó rápidamente en el estudio de bacterias asociadas a plantas, sin embargo en México este avance ha sido lento (Okon y Labandera, 1994). En los últimos años, en México, se han obtenido resultados satisfactorios con la aplicación de diversos microorganismos en cultivos anuales en evaluaciones en campo (Aguirre-Medina, 2001), y algunos perennes tropicales en vivero con *Azospirillum* y hongos micorrízicos (Mendoza y Aguirre, 2002; Moroyoqui y Aguirre, 2002).

En 1999 se creó el Programa Nacional de Biofertilizantes desarrollado por el Gobierno Federal, en el cual se incluyó la componente de biofertilizantes microbianos. Dicho

programa se originó como una opción para favorecer la nutrición de las plantas por medios biológicos mediante el planteamiento de diversas estrategias considerando que el uso de los recursos microbiológicos del suelo en los sistemas agrícolas son una alternativa para mejorar el balance biológico en el suelo y reducir el uso de fertilizantes químicos y de otros agroquímicos en los sistemas de producción, principalmente los fertilizantes nitrogenados y fosfatados (Aguirre-Medina, 2004). Los primeros biofertilizantes microbianos, a base de *Azospirillum brasilense*, *Glomus intraradices* y *Rhizobium etli*, distribuidos en el campo mexicano fueron en el programa Alianza para el Campo-SAGARPA durante los ciclos agrícolas primavera-verano y otoño-invierno 1999-2000 (Aguirre-Medina *et al.*, 2009).

En general los biofertilizantes podrían ser una alternativa para el desarrollo de los sistemas sostenibles con posibilidades de proveer beneficios económicamente atractivos y ecológicamente aceptables al reducir las aplicaciones de algunos agroquímicos y mejorar o hacer más eficiente el aprovechamiento de los nutrimentos disponibles en cada hábitat. Esto se fundamenta en el amplio gradiente de actividades fisiológicas que realizan, las cuales permiten mejorar la disponibilidad y transporte de nutrimentos, el crecimiento de las raíces, la fijación del nitrógeno, la solubilización de minerales, la producción de estimuladores del crecimiento vegetal y el biocontrol de patógenos (Barea y Azcón, 1983; Rovira *et al.*, 1983).

Las bacterias que colonizan la raíz y su zona de influencia se denominan rizobacterias (Kloepper, 1996). Estas desempeñan funciones clave para las plantas tales como control biológico de los patógenos mediante efectos antagonistas (Van Loon y Pieterse, 1998), incremento de la biodisponibilidad de elementos minerales como la solubilización de fosfatos, fijación de nitrógeno o la fitoestimulación de la emergencia o el enraizamiento (Zahir *et al.*, 2004).

En algunos trabajos se ha observado que la combinación simultánea de rizobacterias promotoras del crecimiento y hongos micorrízicos arbusculares han inducido sinergias, reflejándose en un incremento del crecimiento, del contenido de fósforo en las plantas y de la producción, comparado con la inoculación simple (Olalde-Portugal y Serratos, 2008).

Actualmente existe interés por determinar el efecto de la aplicación de biofertilizantes (hongos micorrízicos y bacterias) en cultivos de importancia económica, sobre todo en condiciones de campo ya que las respuestas a la inoculación con microorganismos en muchos casos son inconsistentes derivado de factores bióticos y abióticos, así como del

genotipo utilizado. Irizar *et al.* (2003) al evaluar la respuesta de varios cultivos, incluyendo maíz, a la inoculación con *A. brasilense* y *G. intraradices* en suelos pobres y en condiciones de temporal crítico en Guanajuato, encontraron que la inoculación con *Glomus* no reportó incrementos significativos en el rendimiento, mientras que la asociación *Azospirillum+Glomus* produjo rendimientos similares al testigo fertilizado, los cuales fueron mayores con respecto al control, utilizando semilla híbrida (H-311). En Tlaxcala, la asociación *Azospirillum+Glomus* presentó los rendimientos más altos con respecto al testigo, alcanzando un incremento de 32%, mientras que para el Estado de México se alcanzó un incremento del 17% en el rendimiento de maíz inoculado con *Glomus* únicamente. En este trabajo se aplicaron diferentes concentraciones de fertilización química, observando beneficios por parte de los biofertilizantes cuando la fertiización (N, P, K) disminuyó a 1/3 de la dosis recomendada.

En Tabasco y Campeche se analizó el contenido de N y P en el tejido vegetal de maíz, así como el efecto de *Azospirillum* y *Glomus* en el rendimiento de este cultivo. Los resultados obtenidos demostraron que con la aplicación de microorganismos el contenido de estos elementos se incrementó al igual que el rendimiento (Aguirre-Medina *et al.*, 2009).

Sin embargo, Reyes-Méndez y Cantú-Almaguer (2004) encontraron mayor rendimiento de grano de maíz con la aplicación de la fertilización química, mientras que el uso de *G. intraradices* o de *A. brasilense* no presentó un efecto sobre el rendimiento de maíz, ni en sus componentes. En Chiapas se observaron incrementos de 11.5%, 15% y 19% en el rendimiento de maíz con la inoculación de *G. intraradices* (Cruz-Chávez, 2007).

Es necesario continuar con los trabajos para evaluar el comportamiento de estos microorganismos asociados a cultivos, ya que su respuesta puede variar en función del genotipo utilizado, la fecha de siembra e inoculación, las condiciones climáticas, las características físico-químicas del suelo, entre otros.

4.3.1 Hongos micorrícicos

Las micorrizas son un tipo de asociación simbiótica que se establece entre cierto tipo de hongos del suelo y las raíces de las plantas, siendo el hongo micorrízico arbuscular (HMA), del phylum Glomeromycota (Schussler *et al.*, 2001) el más importante para sistemas

agrícolas (Gosling *et al.*, 2006). Esta asociación se presenta en una amplia gama de especies de plantas terrestres (gimnospermas, angiospermas, pteridofitas y briofitas) (Wang y Liu, 2006) y es la más ampliamente encontrada en las regiones tropicales (Chaurasia y Khare, 2005), templadas (Vestberg, 1995) y árticas (Dalpe y Aiken, 1998), misma que se estableció probablemente desde que evolucionó o apareció la adaptación de las plantas a las condiciones terrestres (Brundrett, 2002); por lo tanto se le considera una asociación primitiva que puede ser destruida por las formas de uso del suelo, de manera que un área boscosa recién abierta puede poseer aún inóculos de una amplia gama o diversidad de hongos micorrícicos, que se pueden ir perdiendo en proporción directa con la intensidad del manejo, y especialmente por el uso de agroquímicos que modifican las condiciones físicas y químicas del suelo. En particular, las pérdidas de la materia orgánica del suelo y la reducción en la diversidad y/o actividad microbiana son generalmente afectadas por la degradación de la cubierta vegetal (Jeffries y Barea, 2001).

La micorriza arbuscular desempeña un papel fundamental en la absorción de nutrimentos y en la protección de las plantas frente al estrés ambiental. Los Hongos micorrízicos arbusculares (HMA) tienen la capacidad de incrementar la absorción de P principalmente (Sanders y Tinker 1971), así como de otros nutrientes como N, K, Ca, Mg, Si, Cu, Zn, B y Fe a partir de su hifa externa (Nakano *et al.*, 2001), además de conferir a la planta beneficios tales como estimulación de sustancias reguladoras de crecimiento, aumento en la resistencia al ataque de plagas y enfermedades, tolerancia a estrés hídrico y mejoramiento de la estructura del suelo (Bethlenfalvay y Linderman 1992) e influyen en el crecimiento y desarrollo de las plantas (Smith y Read 1997; Nakano *et al.*, 2001) lo cual repercute directamente en el rendimiento de los cultivos.

Los HMA son probablemente los más abundantes en suelos agrícolas (Cardoso y Kuyper, 2006), son multifuncionales en los agroecosistemas ya que mejoran potencialmente la calidad del suelo en sus atributos físicos (a través de las hifas externas que cohesionan las partículas del suelo para formar agregados estables), químicos (aumentando la absorción de nutrimentos y modificando la composición de la rizosfera que es conocida como micorrizosfera) y biológicamente (a través de las redes alimenticias) (Newsham *et al.*, 1995). Dentro de los factores que determinan el establecimiento de la asociación micorrízica se encuentran la planta, el hongo, el suelo y el ambiente (Sieverding,

1984); plantas con raíces gruesas, poco ramificadas y escasos pelos radicales son más dependientes de la micorriza que aquellas con raíces ramificadas (Janos, 1980). Bonfante (1987) menciona que el factor que más afecta el desarrollo de la micorriza es el balance de nutrimentos en el suelo, de manera que altos niveles de Mn, Cu, Fe, P y Al parecen afectar la simbiosis micorrízica.

Aún cuando los HMA poseen una gran capacidad de adaptación, la intensidad de la colonización por las micorrizas puede variar con la fecha de siembra, la temperatura, el tipo de suelo, el hospedero y las prácticas de manejo (Wang *et al.*, 1993; Jhonson *et al.*, 1992).

4.3.1.1 Diversidad de hongos micorrícicos arbusculares

Hasta hace poco se consideraba que las especies de HMA eran funcionalmente similares enfocándose poco sobre la diversidad de estos hongos en hábitats naturales, pero algunos trabajos han demostrado que la diversidad de estos microorganismos influye sobre la diversidad de plantas (van der Heijden *et al.*, 1998) y sobre la variabilidad y productividad del ecosistema (Hart y Klironomos, 2002) haciendo necesario determinar la riqueza de especies y la composición de la comunidad para tener una mayor comprensión del papel que desempeñan estos hongos en el funcionamiento del ecosistema (Whitcomb y Stutz, 2007).

En áreas con poco disturbio en la vegetación original la relación planta-organismo contribuye al mantenimiento, funcionamiento y estabilidad de los ecosistemas (Read, 1998) y en consecuencia sobre la diversidad de las especies. En el caso de los HMA existen evidencias de que la diversidad de estos microorganismos del suelo sufre un impacto severo con las perturbaciones y algunas especies parecen ser más susceptibles que otras ante las actividades humanas (Cuenca *et al.*, 1998). De manera que prácticas agrícolas como la labranza y el manejo agrícola intensivo (Lovera y Cuenca, 2007) tienen un impacto negativo en la densidad del HMA en el suelo sobre todo en el número de especies (Menéndez *et al.*, 2001). Se ha demostrado que la adición de P vía fertilización en suelos con concentraciones bajas e intermedias de P disponible disminuye la colonización y la densidad de esporas de HMA (Kahiluoto *et al.*, 2001). En el caso de la labranza del suelo, esta afecta el contacto entre el hongo y las raíces (Evans y Miller, 1988) rompiendo la red hifal lo cual disminuye el volumen de suelo que puede ser explorado por el hongo y también la

colonización radical (Evans y Miller, 1990). La aplicación de productos químicos alteran las poblaciones de HMA, la composición de especies y la colonización de la raíz (Kurle y Pflieger, 1994), conllevando la pérdida de la diversidad de hongos micorrízicos presentes en el suelo. Los sistemas orgánicos incluyen actividades que mantienen y mejoran la estructura del suelo y la presencia de microorganismos benéficos favoreciendo el establecimiento de la interacción suelo-planta-HMA. Las enmiendas orgánicas parecen estimular su desarrollo de HMA (Alloush y Clark, 2001).

Los suelos agrícolas generalmente presentan una menor diversidad de HMA comparado con los sistemas naturales (Menéndez *et al.*, 2001), dominando las especies pertenecientes al género *Glomus* (Sjoberg *et al.*, 2004). Esta disminución en la diversidad de especies puede deberse a la presencia de monocultivos, cultivos que no son micotróficos y a prácticas de manejo desfavorables para el desarrollo de los HMA (Gosling *et al.*, 2006) como el manejo intensivo que se realiza en los agroecosistemas (Klironomos *et al.*, 2000) aunado a factores físico-químicos como humedad, temperatura y pH (Ryan y Graham, 2002).

Los estudios sobre HMA, en su mayoría, se han enfocado en determinar la respuesta de la planta a la micorriza dejando a un lado la diversidad taxonómica de los hongos formadores de micorriza arbuscular (Varela y Trejo, 2001). En México se han registrado 44 especies de HMA que corresponden al 29% de las especies conocidas mundialmente. La mayor parte de estos registros proceden de sistemas agrícolas y solamente siete especies se han citado de ambientes naturales. Estas 44 especies proceden de tan solo 11 de las 32 entidades de la República Mexicana; para Chiapas se han reportado únicamente dos especies *Acaulospora scrobiculata* (Trappe) y *Glomus constrictum* Trappe) en coco (*Cocos nucifera*) y caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), respectivamente (Varela y Trejo, 2001).

Determinar la diversidad de HMA no es una tarea sencilla. Un problema es la detección e identificación de especies dado que sus estructuras vegetativas son difíciles de distinguir, por otro lado al medir abundancia y dominancia de especies contando el número de esporas puede no considerar a especies que no esporulan durante la toma de la muestra de suelo (Cousin *et al.*, 2003) y no puede dejarse a un lado la alta heterogeneidad espacial que se presenta en el ambiente del suelo (Ettema y Wardle, 2002). Sin embargo, es necesario considerar las técnicas que se han empleado para tal fin, como la taxonomía tradicional, o las

técnicas moleculares que permitan conocer la composición de especies de HMA presentes en un determinado sitio, esto con la finalidad de determinar si las prácticas de manejo de los cultivos están manteniendo una población diversa de HMA o la están afectando.

4.3.2 Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal

Las bacterias que colonizan la raíz y su zona de influencia (rizosfera) son conocidas como rizobacterias (Kloepper, 1996) y son denominadas PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria, en inglés). Las RPCP ejercen efectos específicos sobre el crecimiento vegetal, a través de diferentes mecanismos tales como la producción de fitohormonas, la fijación de nitrógeno atmosférico y la producción de antibióticos (Vessey, 2003). Algunas especies de PGPR tienen la capacidad de penetrar y proliferar en el interior de las raíces, y de este órgano se trasladan a través del sistema vascular, y sin causar daño, se establecen y desarrollan poblaciones endófitas en los tejidos internos de las plantas (Caballero-Mellado, 2006) por lo cual, desempeñan funciones clave en el control biológico de fitopatógenos (Van Loon y Pieterse, 1998); asimismo, afectan la biodisponibilidad de elementos minerales a través de la solubilización de fosfatos y la fijación de N_2 o la fitoestimulación, al inducir la emergencia o el enraizamiento (Zahir *et al.*, 2004).

Las RPCP al producir fitohormonas favorecen el crecimiento de las plantas. La síntesis de estos compuestos como las auxinas, particularmente el ácido indol acético, promueven el crecimiento de las raíces y la proliferación de pelos radicales, mejorando la absorción de agua y minerales del suelo generando un mayor desarrollo en la planta (Caballero-Mellado, 2006).

Las RPCP y los HMA son cruciales para el funcionamiento de los ecosistemas terrestres naturales, tanto en su diversidad como productividad (Burrows y Pflieger 2002), y en los sistemas de cultivo ya que permiten desarrollar una agricultura sostenible y de bajos insumos.

Azospirillum es el género más caracterizado de las PGPR y *A. brasiliense* la especie más estudiada (Steenhoudt y Vanderleyden, 2000).

4.3.2.1 *Azospirillum*

Es una bacteria Gram-negativa de vida libre que se encuentra asociada a la rizosfera de las plantas como las gramíneas, capaz de fijar nitrógeno atmosférico, así como de adaptarse y competir con los microorganismos presentes en esta zona debido a que su metabolismo carbonado y nitrogenado es muy versátil; puede utilizar un amplio gradiente de sustratos como amonio, nitratos, nitritos, aminoácidos y nitrógeno molecular, como fuentes nitrogenadas, mientras que en condiciones adversas se enquistaba recubriéndose de una capa polisacárida, en la que la acumulación de poli-hidroxibutirato funciona como fuente de carbono y energía (Okon *et al.*, 1976). Se consideran actualmente seis especies de *Azospirillum*, siendo *A. lipoferum* y *A. brasiliense* las primeras en ser descritas y las más ampliamente estudiadas (Tarrand *et al.*, 1978). El género *Azospirillum* tiene una amplia distribución geográfica; aún cuando es más abundante en regiones tropicales también se le encuentra en regiones templadas, frías y desérticas (De Coninck *et al.*, 1988), sin embargo el pH tiene un fuerte efecto sobre su establecimiento, *A. brasiliense* y *A. lipoferum* son más abundantes en suelos con pH más cercano a la neutralidad, en pH cercanos a 5 se les encuentra de forma esporádica (Caballero Mellado, 2001).

Varios estudios destacan la capacidad de *Azospirillum* para estimular el crecimiento vegetal, la producción de cosechas y el contenido de nitrógeno en las plantas (Dobbelaere *et al.*, 2002). Este efecto estimulante se ha atribuido a diversos mecanismos entre los cuales se encuentra la fijación de N₂ y la producción de auxinas. La producción de fitohormonas y la fijación de nitrógeno son procesos fisiológicos de las plantas en los que se reconoce que está implicada la bacteria *Azospirillum*. Su presencia conduce a un mejor desarrollo de las raíces y aumenta la absorción de agua y minerales (Dobbelaere *et al.*, 2001).

La asociación de *Azospirillum* con las raíces de las plantas se presenta en dos etapas independientes (Michiels *et al.*, 1991); en la primera se da una adsorción rápida, débil y reversible que depende de proteínas como la adhesina presente en la superficie bacteriana (Croes *et al.*, 1993), mientras que en la segunda etapa se realiza un anclaje lento pero firme e irreversible que alcanza su máximo nivel 16 horas después de la inoculación (Michiels *et al.*, 1991). La inoculación de diversas plantas con esta bacteria ha demostrado que los principales sitios de colonización son las áreas de elongación celular y las bases de pelos radicales (Kapulnik *et al.*, 1985). Solo algunas células de *Azospirillum* se adhieren a la cofia

o a los pelos radicales, aún cuando se ha reportado la presencia de la bacteria dentro del mucigel que se acumula en la cofia (Umali-García *et al.*, 1980).

A. brasilense ha recibido considerable atención (Steenhoudt y Vanderleyden 2000) debido a su efecto benéfico sobre el crecimiento vegetal. Los experimentos de inoculación en campo con esta bacteria han mostrado beneficios en el rendimiento de las cosechas en diferentes suelos y climas, de manera que del 60 al 70% de los experimentos son exitosos y los incrementos van del 5 al 30% (Okon y Labandera, 1994). En la actualidad se han documentado sus beneficios en Cuba, con resultados positivos en caña de azúcar (Roldos *et al.*, 1994), en maíz (Mascar y Carcaño, 1994) y en tomate (*Solanum lycopersicum*) (Medina, 1994). Se ha observado también que cuando se aplica junto con niveles intermedios de fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio se incrementa en 90% el éxito de los experimentos (Okon y Labandera, 1994) y que la inoculación de cultivos con *Azospirillum* reduce en 40 – 50% la dosis de fertilización sin que se afecte el rendimiento de la cosecha (Itzigsohn *et al.*, 2000). En México, en los años 1999-2000, la inoculación con *Azospirillum* se realizó en 450 000 ha de maíz y 150 000 ha de sorgo, cebada y trigo en regiones climáticas y edáficas diversas, comprendiendo 170 sitios de la República Mexicana, observándose resultados exitosos en 62 a 95% de los casos analizados con incrementos que fluctuaron en un gradiente de 6 a 98%; los incrementos promedios en estos cultivos fueron de alrededor del 26% y dependieron de la variedad y cultivo, tipo de suelo, uso y nivel de fertilizantes (Caballero-Mellado, 2000).

4. 4. Biofermentos

Los biofermentos, conocidos también como bioles o Abonos Líquidos Fermentados, son el resultado de un proceso de fermentación anaeróbica de materiales orgánicos como estiércol, plantas verdes y azúcares (Galindo *et al.*, 2007). Se cree que estas sustancias favorecen el crecimiento vegetal y mejoran la vida microbiana del suelo (Restrepo, 2001).

Por lo general, para preparar biofermentos se mezcla agua con estiércol o leguminosas (fuente de nitrógeno) y melaza o jugo de caña (fuente energética) (Restrepo, 1996); esta mezcla puede ser enriquecida con harina de roca molida y sales minerales (Restrepo, 2002)

para finalmente adicionar alguna fuente de microorganismos (levaduras, leche o suero) que se encarguen de transformar los materiales orgánicos (Restrepo, 2001).

La elaboración de biofermentos requiere menos mano de obra que la preparación de otros abonos orgánicos, como la vermicomposta, además se preparan grandes volúmenes y su realizan diluciones en una proporción de 4 a 10% para su aplicación, haciéndolos mucho más económicos (CEDECO, 2005). Este tipo de abonos aporta además de nutrimentos, vitaminas, enzimas, aminoácidos, ácidos orgánicos, antibióticos y una gran cantidad de microorganismos que establecen un equilibrio entre el suelo y el cultivo lo que favorece la resistencia de este último al ataque de plagas y enfermedades (CEDECO, 2005).

Los biofermentos han sido aplicados vía fertilización foliar, despertando el interés de productores al conocer sus efectos en la corrección de deficiencias nutrimentales de las plantas, en el crecimiento y desarrollo de los cultivos y en rendimiento de los productos cosechados (Trinidad y Aguilar, 1999). Malavolta (1986) menciona que la principal utilidad de estas sustancias reside en complementar los requerimientos de un cultivo que mediante la fertilización básica no se cumple, o cuando se requiere la aplicación tardía de elementos (Fregoni, 1986).

CAPÍTULO III

JUSTIFICACIÓN

III. JUSTIFICACIÓN

Para revertir la problemática derivada de una agricultura convencional centrada principalmente en el incremento del rendimiento de los cultivos a través del mejoramiento genético de semillas, aplicación de insumos de origen sintético, establecimiento de monocultivos y desarrollo de prácticas agrícolas que destruyen la estructura del suelo modificando sus propiedades físicas, químicas y biológicas, es necesario establecer sistemas de producción que reduzcan la dependencia de insumos externos y en su lugar propicien el establecimiento de mecanismos biológicos y orgánicos que contribuyan a mejorar la salud del suelo, la nutrición de las plantas y la productividad de los cultivos, bajo un esquema que propicie el mantenimiento de una estructura diversa de especies vegetales y microbianas y de actividades agrícolas que en conjunto contribuyan a mitigar riesgos derivados de fenómenos meteorológicos, así como el ataque de plagas y enfermedades.

Los hongos micorrízicos arbusculares contribuyen a la productividad de los cultivos y a la sustentabilidad de los ecosistemas. Estos microorganismos proporcionan servicios ecosistémicos, promueven el crecimiento de las plantas, disminuyen los requerimientos de fertilizantes, incrementa la resistencia de las plantas a la sequía, salinidad y contaminación por metales pesados, aumenta la estabilidad del suelo y la retención de agua, así como la resistencia de la planta contra estrés biótico.

Las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal, del género *Azospirillum*, estimulan el crecimiento de las plantas; sin embargo, está bien documentado el efecto negativo que tienen sobre estos microorganismos prácticas agrícolas como la labranza y la aplicación de fertilizantes químicos, conduciendo a una pérdida en su diversidad y en casos más extremos a su desaparición, afectando con ello los ciclos biogeoquímicos y enzimáticos que se realizan en un suelo fértil.

La agricultura orgánica incluye una serie de prácticas agrícolas que permiten conservar la estructura del suelo y la actividad biológica del mismo, tales como la aplicación de abonos orgánicos y el mantenimiento de una estructura vegetal diversa que imita a los ecosistemas naturales. En el Estado de Chiapas, con excepción de la región de la Frailesca, la producción de maíz es básicamente de autoconsumo, los productores son de bajos recursos económicos en su mayoría por lo que la compra de insumos como fertilizantes químicos no es una buena opción, aunado a la existencia de grupos de agricultores convencidos de los problemas que

generan en el ambiente la aplicación de estos productos, existiendo un claro interés de establecer alternativas orgánicas para la producción agrícola. En este sentido, se desconoce los efectos del uso combinado de biofertilizantes (hongos micorrízicos y *Azospirillum*), biofermentos, abonos orgánicos y abonos verdes/cultivos de cobertura sobre la productividad de maíz, por lo tanto es necesario establecer experimentos que permitan conocer más de su comportamiento y respuesta en la producción de cultivos, así como de las posibles interacciones que se establezcan entre los microorganismos del suelo, del efecto de las prácticas agrícolas sobre la riqueza y diversidad de los mismos, y de su impacto sobre los rendimientos agrícolas.

CAPÍTULO IV

OBJETIVOS

IV. OBJETIVOS

1. Objetivo general

Determinar el efecto que tiene la aplicación de biofertilizantes (hongos micorrícicos, rizobacterias y biofermentos) y abonos orgánicos (humus de lombriz y abonos verdes) sobre la calidad del suelo, la nutrición mineral y el rendimiento de maíz (*Zea mays* L.).

2. Objetivos específicos

- Evaluar el efecto que tiene la inoculación sola o combinada de *Azospirillum brasilense* y *Glomus intraradices*, con o sin humus de lombriz, en la colonización radical, crecimiento, contenido nutrimental foliar y el rendimiento de maíz bajo condiciones controladas.
- Evaluar el efecto de la aplicación de biofertilizantes, biofermentos y abonos verdes en la colonización radical, crecimiento, contenido nutrimental foliar, el rendimiento de maíz y la relación costo-beneficio en parcelas de productores.
- Evaluar el efecto de la aplicación de abonos orgánicos vía fertilización edáfica y foliar sobre la diversidad y actividad de los HMA como un índice de calidad del suelo en parcelas de productores.

CAPÍTULO V

SITIOS DE ESTUDIO

V. SITIOS DE ESTUDIO

Se establecieron tres experimentos de campo en condiciones de temporal, uno bajo condiciones semicontroladas para determinar el efecto de la aplicación de los biofertilizantes con las mismas condiciones de suelo y prácticas agroecológicas (Teopisca, Chiapas) y dos más bajo las prácticas de manejo locales en parcelas de productores (Ejido Bella Ilusión, Mpio. de Maravilla Tenejapa, Chiapas) con una amplia heterogeneidad en cuanto a suelos y condiciones de manejo del cultivo con la finalidad de contrastar la respuesta del cultivo de maíz a la aplicación de biofertilizantes y de abonos orgánicos ya que es sabido que el potencial del biofertilizante varía debido a las diferentes condiciones de precipitación, temperatura, características físico-químicas del suelo y del germoplasma utilizado, ya que estos factores causan diversidad en la eficiencia bioestimulante de estos microorganismos. El llevar este experimento a parcelas de productores responde a la necesidad de los mismos de registrar sus experiencias en la aplicación de biofertilizantes con la finalidad de mejorar el rendimiento de maíz y mantener la calidad de sus suelos.

1. Campo experimental

El estudio bajo condiciones semicontroladas se realizó en el Centro Universitario de Investigación y Transferencia de Tecnología de la Universidad Autónoma de Chiapas (CUITT-UNACH), ubicado en el municipio de Teopisca, Chiapas. El municipio se ubica en la región económica "II Altos", limita al norte con San Cristóbal de Las Casas, al este con Huixtán y Amatenango del Valle, al sur con Venustiano Carranza y al oeste con Totolapa. Las coordenadas de la cabecera municipal son: 16° 32' 22" de latitud norte y 92° 28' 25" de longitud oeste y se ubica a una altitud de 1,800 metros sobre el nivel del mar. El clima es templado subhúmedo (C)(w₂)(w), el cual define una época de lluvia en verano y una época de secas en los meses invernales, durante los cuales se presentan heladas nocturnas (noviembre-marzo), con una temperatura media de 12 a 18° C y, en el mes más frío una temperatura variable entre -3 a 18° C. Según la clasificación de la FAO-UNESCO el tipo de suelo corresponde a la denominación de Cambisoles vértico y gléyico, esto es, suelos profundos (70-100 cm), textura limo-arcillosa, poca pedregosidad y drenaje pesado. La vegetación presente corresponde al bosque de pino encino o bosque de pino; pastizales

inducidos o introducidos, cultivos anuales y árboles frutales (Mera, 1989). En el CUITT se han desarrollado trabajos de investigación orientados a evaluar el efecto del manejo integrado de fertilizantes y abonos orgánicos en la actividad enzimática del suelo, en la colonización micorrízica y en el rendimiento de maíz, así como también la aplicación de enmiendas orgánicas y su efecto sobre la actividad metabólica del suelo y el rendimiento del cultivo (Álvarez-Solís *et al.*, 2010).

2. Parcelas de productores

Se establecieron dos experimentos en parcelas de maíz de productores que trabajan con agricultura convencional y orgánica (uso y aplicación de biofertilizantes y abonos orgánicos). El trabajo se realizó en el ejido Bella Ilusión del municipio de Maravilla Tenejapa, Chiapas. El municipio colinda al norte con la microregión de Betania, al este con la Reserva de la Biosfera de Montes Azules, al sur con el vecino país de Guatemala y al oeste con Nuevo Huixtán y Río Blanco. (PRODESIS, 2007). Las coordenadas de la cabecera municipal son 16°08'20" de latitud norte y 91°17'44" de longitud oeste y se ubica a una altitud de 400 metros sobre el nivel del mar. El clima existente en el municipio es Am(f) cálido húmedo con lluvias en verano que abarca el 100% de la superficie municipal. (COMAR, 2001). En los meses de mayo a octubre, la precipitación media fluctúa entre los 1700 mm y los 3000 mm, y en el periodo de noviembre - abril, la precipitación media va de los 400 mm a 800 mm. La flora predominante corresponde a Vegetación secundaria y selvas húmedas y subhúmedas y presenta una gran diversidad en cuanto a suelos que van desde los Litosoles rendzicos hasta los vertisoles (Perfiles Municipales, 2008).

El ejido La Bella Ilusión del municipio de Maravilla Tenejapa, Chiapas, está conformado por 38 familias y tiene una extensión de 1800 ha. La principal actividad económica es la producción agrícola de temporal y desde hace siete años aproximadamente están inmersos dentro de un programa de agricultura orgánica apoyados por el Centro de Capacitación, Asesoría, Medio Ambiente y Defensa del Derecho a la Salud A. C. (CAMADDS). Las tierras para cultivo van desde amarillas poco productivas, tierras coloradas medianamente productivas y tierras negras de alta productividad. Uno de sus cultivos más importantes es el maíz de diferentes variedades tales como jarocho morado,

olotillo crema, huixtleco, salporsito, pinul, chimbo amarillo, entre las más importantes. Varios productores han incorporado el cultivo de frijol nescafé como cobertura en el maíz, no realizan la quema y únicamente rozan la vegetación antes de la siembra. Se realizan dos siembras al año, la primera generalmente en la segunda quincena de abril o primera de mayo, y la segunda a finales del mes de noviembre. Estos productores trabajan bajo un esquema orgánico que prioriza la siembra de variedades locales, el uso de abonos verdes y últimamente la aplicación de biofertilizantes y biofermentos, siendo la familia la principal fuente de mano de obra para el trabajo agrícola. El proceso de innovación agroecológica para la producción de sus cultivos básicos surge como una respuesta hacia la necesidad de asegurar el suministro alimentario familiar, así como mejorar el ambiente ecológico y conseguir un crecimiento económico.

Este trabajo obedece al interés de registrar sistemáticamente el efecto de la aplicación de abonos verdes, biofertilizantes y biofermentos en la producción de maíz, aún cuando los productores reconocen un impacto positivo de los mismos en el rendimiento de sus cosechas y en el mantenimiento del suelo en sus parcelas. Durante la evaluación realizada los productores participaron activamente en la definición del diseño experimental, en la aplicación de los tratamientos y en el seguimiento del desarrollo del cultivo. Este trabajo de investigación se realizó manteniendo todas las prácticas agrícolas que los productores desarrollan en sus parcelas.

CAPÍTULO VI

INFLUENCIA DEL HUMUS DE LOMBRIZ Y BIOFERTILIZANTES EN EL CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE MAÍZ

VI. INFLUENCIA DEL HUMUS DE LOMBRIZ Y BIOFERTILIZANTES EN EL CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE MAÍZ

1. Resumen

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de la aplicación de humus de lombriz, *Glomus intraradices* y *Azospirillum brasilense* sobre el crecimiento, nutrición mineral y rendimiento de grano del cultivo de maíz. El experimento se realizó en campo bajo condiciones de temporal en Teopisca, Chiapas, México. Se evaluaron ocho tratamientos que consistieron en la aplicación o no de humus de lombriz (6 ton ha⁻¹), con y sin la inoculación y co-inoculación de *G. intraradices* y de *A. brasilense*, bajo un diseño en bloques al azar con cuatro repeticiones. Los parámetros del crecimiento: altura de planta, diámetro de tallo, número de hojas y volumen de raíz fueron, respectivamente, 76.7, 31.9, 23.4 y 53.7 % más altos con la aplicación de humus de lombriz que sin el abono. El peso seco de follaje y el rendimiento de grano presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) y fueron 142 y 27 % más alto en el tratamiento con humus+*Glomus*+*Azospirillum* que en el testigo. Se encontró que el humus de lombriz mejoró el crecimiento vegetativo de la planta y tuvo una influencia positiva en la actividad de los biofertilizantes para promover la producción de biomasa aérea seca y el rendimiento de grano del maíz.

PALABRAS CLAVE: *Azospirillum brasilense*, *Zea mays*, *Glomus intraradices*, Micorriza Arbuscular, rizobacterias.

2. Abstract

The present work was conducted with the objective of evaluate the effect of earthworm humus, *Glomus intraradices* and *Azospirillum brasilense* on the growth, mineral nutrition and grain yield of maize. The experiment was accomplished in field under rainfed conditions in Teopisca, state of Chiapas, Mexico. We evaluate eight treatments that consisted in the application of earthworm humus (6 ton ha⁻¹), with and without the inoculation and co-inoculation of *G. intraradices* and *A. brasilense*, under an experimental

design of complete randomized blocks with four replications. The evaluated growth parameters: plant height, stem diameter, number of leaves and root volume were, respectively, 76.7, 31.9, 23.4 and 53.7% higher with the application of earthworm humus than without the manure. The shoot dry weight and grain yield were 142 and 27% higher in treatment with earthworm humus+*Glomus*+*Azospirillum* than in the control. It was found that earthworm humus improved vegetative growth of the plant and had a positive influence on the activity of biofertilizers to promote shoot dry matter production and grain yield of maize.

KEYWORDS: *Azospirillum brasilense*, *Zea mays*, *Glomus intraradices*, Arbuscular Micorrhizal, rhizobacteria.

3. Introducción

El suelo es un hábitat complejo donde un gran número de poblaciones microbianas interactúan con los diversos sustratos, estando muchas de estas poblaciones asociadas a las raíces de las plantas (Reyes *et al.*, 2006). Las rizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas (RPCP) y los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) representan dos grupos de microorganismos benéficos de la rizosfera que mejoran la nutrición mineral de las plantas (Russo *et al.*, 2005); mientras que la aplicación de abonos orgánicos afecta favorablemente las características físicas, químicas y biológicas de los suelos (Edwards *et al.*, 1985).

El humus de lombriz es el producto que resulta de las transformaciones bioquímicas y microbiológicas que sufre la materia orgánica al pasar por el tracto digestivo de las lombrices (Edwards *et al.*, 1985). Dada la gran cantidad de microorganismos asociados y los nutrientes que contiene, el humus de lombriz tiene un alto potencial para mejorar la estructura, la actividad biológica del suelo y la nutrición vegetal (Núñez, 2000). A su vez, las rizobacterias ejercen efectos específicos sobre el crecimiento vegetal, tales como la producción de fitohormonas, la fijación de nitrógeno atmosférico y la producción de antibióticos (Vessey, 2003), por lo cual, desempeñan funciones clave en el control biológico de fitopatógenos (Van Loon y Pieterse, 1998); asimismo, afectan la

biodisponibilidad de elementos minerales a través de la solubilización de fosfatos y la fijación de N₂ o la fitoestimulación, al inducir la emergencia o el enraizamiento (Zahir *et al.*, 2004). Dentro de éstas, *Azospirillum brasilense* ha recibido considerable atención (Steenhoudt y Vanderleyden, 2000) debido a su efecto benéfico sobre el crecimiento vegetal. Varios estudios destacan la capacidad de *Azospirillum* para estimular el crecimiento vegetal, la producción de cosechas y el contenido de nitrógeno en las plantas (Dobbelaere *et al.*, 2002). Este efecto estimulante se ha atribuido a diversos mecanismos entre los cuales se encuentra la fijación de N₂ y la producción de auxinas.

La micorriza arbuscular es un tipo de simbiosis mutualista que se establece entre la mayoría de las plantas y ciertos hongos del suelo. Esta simbiosis desempeña un papel fundamental en la absorción de nutrimentos y en la protección de las plantas frente al estrés ambiental. Los HMA mejoran la absorción de P y otros nutrimentos que son relativamente inmóviles en el suelo, tales como Cu, Fe y Zn, por lo que influye en el crecimiento y desarrollo de las plantas (Smith y Read, 1997). Las RPCP y los HMA son cruciales para el funcionamiento de los ecosistemas terrestres naturales, tanto en su diversidad como productividad (Burrows y Pflieger, 2002), y en los sistemas de cultivo ya que permiten desarrollar una agricultura sostenible y de bajos insumos.

Dentro de los trabajos que se han realizado para evaluar la respuesta de maíz a la inoculación con biofertilizantes, Cervantes (2004) encontró que el rendimiento de elote y grano en condiciones de campo bajo riego fue estimulado por la inoculación de *Azospirillum*. Este resultado, aunque positivo del uso de biofertilizantes para producir maíz, requiere de estudios adicionales para determinar el éxito de su utilización en maíz de temporal. Por su parte, Reyes-Méndez y Cantú-Almaguer (2004) evaluaron en campo el efecto de los biofertilizantes sobre el rendimiento del grano de maíz, encontrando que los mejores rendimientos de grano se debieron a la aplicación de la fertilización química y que el uso de *G. intrarradices* o de *A. brasilense* no presentó un efecto sobre el rendimiento de maíz, ni en sus componentes. Esta divergencia en los resultados observados con la aplicación de biofertilizantes en el cultivo de maíz se encuentra relacionada con la compleja biología del suelo, en donde un gran número de poblaciones microbianas interactúan con los diversos sustratos, estando muchas de estas poblaciones asociadas a las raíces de las plantas (Reyes *et al.*, 2006). Barea *et al.* (2005) plantean que las interacciones entre los

diversos componentes que promueven los procesos ecológicos del suelo deben ser comprendidas y manejadas para un aprovechamiento sostenible del recurso. En el presente trabajo se evaluó el efecto que tiene la aplicación sola o combinada de humus de lombriz, *Azospirillum brasilense* y *Glomus intraradices* sobre el crecimiento, nutrición mineral y rendimiento de grano de maíz en un experimento establecido en campo bajo condiciones de temporal.

4. Materiales y métodos

El trabajo se realizó en el ciclo agrícola primavera-verano de 2008 bajo condiciones de temporal en el Centro Universitario de Investigación y Transferencia de Tecnología (CUITT) de la Universidad Autónoma de Chiapas, ubicado en el municipio de Teopisca, Chiapas, a una altitud de 1800 m. El clima es templado subhúmedo (C)(w2)(w), el cual define una época de lluvia en verano de 1316.3 mm y una época de secas en los meses invernales, durante los cuales se presentan heladas nocturnas (noviembre-marzo), con una temperatura media de 12 a 18° C y, en el mes más frío una temperatura variable entre -3 a 18° C. Según la clasificación de la FAO-UNESCO el suelo corresponde a la denominación Cambisol gléico (Mera, 1989) y sus atributos físicos y químicos se presentan en el Cuadro 1 (NOM-021-RECNAT 2000).

Cuadro 1. Características físicas y químicas del suelo de la parcela experimental del CUITT, 2008

Característica	Método	Valor
Textura	Hidrómetro de Bouyoucos	Arcillosa
Densidad aparente	Probeta	1.2 g ml ⁻¹
pH	Relación 1:2 con H ₂ O	4.8
Materia orgánica	Walkley y Black	4.6%
Nitrógeno total	semi-microkjeldhal	0.25%
Fósforo	Olsen	12.0 mg kg ⁻¹
CIC	acetato de amonio 1N pH 7	35.8 cmol kg ⁻¹

Se evaluaron ocho tratamientos con un arreglo factorial (2^3), distribuidos bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Los factores a considerar fueron: humus de lombriz, *Glomus intraradices* y *Azospirillum brasilense*, cada uno con dos niveles: con y sin su aplicación. Los tratamientos que resultaron fueron: 1) Testigo, 2) *Azospirillum*, 3) *Glomus*, 4) *Glomus*+*Azospirillum*, 5) Humus, 6) Humus+*Azospirillum*, 7) Humus+*Glomus*, y 8) Humus+*Glomus*+*Azospirillum* (Cuadro 2).

Cuadro 2. Descripción de los tratamientos evaluados en la parcela experimental del CUITT.

Tratamientos	Humus	Glomus	Azospirillum
1. Testigo (T)	0	0	0
2. <i>Azospirillum</i> (A)	0	0	1
3. <i>Glomus</i> (G)	0	1	0
4. <i>Glomus</i> + <i>Azospirillum</i> (G+A)	0	1	1
5. Humus (H)	1	0	0
6. Humus+ <i>Azospirillum</i> (H+A)	1	0	1
7. Humus+ <i>Glomus</i> (H+G)	1	1	0
8. Humus+ <i>Glomus</i> + <i>Azospirillum</i> (H+G+A)	1	1	1

La semilla utilizada corresponde a una variedad local regional de maíz amarillo (*Zea mays* L.) y se obtuvieron de la cosecha del ciclo anterior realizada en el mismo sitio de estudio. El humus se elaboró con estiércol ovino y lombriz roja (*Eisenia foetida*), sus atributos químicos se presentan en el Cuadro 3. En los tratamientos con Humus se utilizó una dosis de 6 t ha^{-1} , el cual se incorporó antes de la siembra y al fondo de la cepa en el surco de siembra. En los tratamientos de biofertilización la semilla de maíz fue humedecida con carboximetilcelulosa como adherente y peletizada con 67 g/kg de un biofertilizante comercial con $30,000 \text{ esporas kg}^{-1}$ de *Glomus intraradices*, o con 25 g kg^{-1} de otro biofertilizante con $50 \times 10^7 \text{ células g}^{-1}$ de *Azospirillum brasilense*; en ambos casos de acuerdo con las instrucciones del fabricante (Biofábrica Siglo XXI). En la inoculación combinada la semilla fue humedecida con el adherente y peletizada con ambos biofertilizantes.

Cuadro 3. Características químicas del humus de lombriz incorporado en la parcela experimental del CUITT.

Atributo	Método	Valor
pH	Relación 1:2 con H ₂ O	6.7
Materia orgánica	Walkley y Black	39.3%
Nitrógeno total	semi-microkjeldhal	2.0%
Fósforo total	digestión con HNO ₃ /HClO ₄	254.3 mg kg ⁻¹
CIC	acetato de amonio 1N pH 7	80.7 cmol kg ⁻¹

La siembra se realizó a una distancia entre surcos de 0,9 m y de 0,8 m entre matas, con tres plantas por mata en 7 surcos con 16 matas cada uno, lo que dio un total de 112 matas por unidad experimental (80m²) que corresponde a una densidad de siembra de 13,889 matas ha⁻¹. Se aplicó una dosis de fertilización inorgánica consistente en 60 y 30 kg ha⁻¹ de N y P a todas las unidades experimentales. Como fuente de fósforo se utilizó el superfosfato de calcio triple (SPT), y de nitrógeno la urea. El SPT se aplicó al momento de la siembra debajo de la semilla y la urea se incorporó al pie de la mata en forma fraccionada, la mitad a los 35 días después de la siembra (dds) y el resto a 60 dds.

A los 90 dds se eligieron al azar 5 matas por tratamiento para cada uno de los cuatro bloques, evaluándose: altura de planta con estadal desde la base del suelo al punto de inserción de la última hoja de la planta; diámetro del tallo en el primer entrenudo medido con vernier digital; número de hojas; volumen de la raíz por diferencia de volumen utilizando una probeta; y peso seco de follaje (en estufa a 60° C por 72 horas). Para determinar el porcentaje de colonización por micorrizas las raíces fueron conservadas en FAA (formol-alcohol-ácido acético) hasta su utilización. Posteriormente, las raíces fueron aclaradas con KOH y H₂O₂, y teñidas con azul tripano en lactoglicerol (Phillips y Hayman, 1970). El registro de la frecuencia de segmentos de raíz con estructuras micorrízicas se realizó con un microscopio compuesto (100x), de acuerdo con Giovannetti y Mosse (1980). El porcentaje de infección por *Azospirillum* se determinó a partir segmentos de raíz de aproximadamente 1 cm, lavadas y desinfectadas con NaOCl al 1.2% durante 30 s, colocados en medio de cultivo semisólido NfB libre de nitrógeno (Day y Döbereiner, 1976). El análisis foliar para la determinación de las concentraciones de N (semi-

microkjeldhal) y P (por digestión con $\text{HNO}_3/\text{HClO}_4$) se realizó a partir de una muestra compuesta de láminas foliares ubicadas debajo de las mazorcas de cinco matas para cada unidad experimental, las cuales se pusieron a secar a 60°C por 48 h y se molieron, el contenido nutrimental foliar se determinó a partir de los resultados del análisis foliar extrapolados al peso seco de la biomasa por mata de maíz.

En la madurez fisiológica (210 dds) se cosecharon las mazorcas de 25 matas de maíz en la parte central de las unidades experimentales. Se caracterizaron las mazorcas en términos de la longitud, el número de granos por hilera y el peso de cada mazorca, y se obtuvo el rendimiento de grano. Los datos fueron analizados mediante análisis de varianza multifactorial y prueba de separación de medias de Tukey ($\alpha=0.05$).

5. Resultados

5.1 Crecimiento vegetativo

El efecto de Humus fue altamente significativo ($P \leq 0.001$) en altura de planta, diámetro de tallo y número de hojas; mientras que *G. intraradices* y *A. brasilense* no tuvieron un efecto con significancia estadística en los parámetros de crecimiento evaluados. Se encontró una interacción significativa Humus**Glomus* para altura y diámetro del tallo ($P=0.042$ y $P=0.008$, respectivamente), la cual se debió principalmente a la adición del abono, ya que con la adición de humus la altura y el diámetro del tallo de las plantas de maíz tuvieron una mejoría notable aún sin estar presente la micorriza (Cuadro 4).

La biomasa seca de follaje fue mayor en el tratamiento Humus+*Glomus*+*Azospirillum*, difiriendo significativamente del resto de los tratamientos excepto de aquellos donde se agregó humus. El efecto de Humus fue altamente significativo ($P=0.001$, $\alpha=0.05$), con un incremento de 98.0% en peso seco de biomasa con respecto a la condición sin Humus (Cuadro 4). Así mismo, la aplicación de Humus incrementó en 53.7% el volumen de raíz con respecto a la condición sin Humus; el efecto de este factor fue estadísticamente significativo ($P=0.008$, $\alpha=0.05$) (Cuadro 4). El efecto positivo en el crecimiento de las plantas de maíz ocasionado por la aplicación de humus de lombriz se debe posiblemente a los atributos químicos que este abono presentó (Cuadro 3), ya que las concentraciones de N

Cuadro 4. Efecto de los tratamientos en el crecimiento vegetativo de maíz.

Tratamientos	Altura de planta (m)	Diámetro de tallo (cm)	Número de hojas	Volumen de raíz (mL)	Biomasa aérea seca (g)
Testigo	0.80b ¹	1.87cd	9.9bc	80.6a	129.3c
<i>Azospirillum</i>	0.82b	2.05bc	10.6b	109.4a	160.7bc
<i>Glomus</i>	0.67b	1.75cd	9.6bc	81.1a	116.4c
<i>Glomus</i> + <i>Azospirillum</i>	0.66b	1.62d	9.4c	104.9a	125.6c
Humus	1.33a	2.36ab	12.4a	125.6a	212.9abc
Humus+ <i>Azospirillum</i>	1.28a	2.33ab	11.9a	146.9a	265.3ab
Humus+ <i>Glomus</i>	1.31a	2.43a	12.0a	137.4a	262.9ab
Humus+ <i>Glomus</i> + <i>Azospirillum</i>	1.37a	2.40a	12.3a	168.0a	313.5a

¹Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes entre sí (Tukey, 0.05).

y P son más altas que las exhibidas por el suelo favoreciendo la nutrición y el desarrollo del cultivo.

5.2. Colonización y nutrición mineral

El porcentaje de colonización micorrízica fue menor en el testigo que en los otros tratamientos, con excepción del tratamiento con *Azospirillum* que tuvo un lugar intermedio (Cuadro 5). El análisis multifactorial de varianza mostró un efecto significativo de Humus y de *Glomus* ($P < 0.05$), con un incremento de 11.2 y 12.7% con relación a la condición sin Humus y sin *Glomus*, respectivamente. El porcentaje de infección por *Azospirillum* no varió significativamente entre tratamientos ni entre factores. A pesar de ello, se registraron niveles de infección por *Azospirillum* de 70% en el tratamiento con *Azospirillum* y 43.3% en el Testigo (Cuadro 5).

La concentración de nitrógeno y fósforo en el follaje no presentó diferencias con significancia estadística. No obstante, se observó que los tratamientos con *Glomus* y la combinación Humus+*Glomus*+*Azospirillum* presentaron la tendencia hacia una mayor concentración fósforo (0.28%) y nitrógeno (2.3%) con respecto al resto de los tratamientos (rangos de 0.24 a 0.26 y de 1.6 a 2.1, para P y N, respectivamente). El contenido

nutrimental del follaje mostró diferencias estadísticamente significativas ($P=0.001$ y $P=0.003$, para P y N respectivamente, $\alpha=0.05$) en la cual el tratamiento Humus+*Glomus*+*Azospirillum* presentó los valores más altos de N y P, difiriendo del Testigo y *Glomus* para el N, y del Testigo para el P (Cuadro 5).

Cuadro 5. Efecto de los tratamientos en la colonización de la raíz y contenido nutrimental del follaje de maíz.

Tratamientos	Colonización de la raíz		Contenido nutrimental		Peso de grano (g mata ⁻¹)
	(%)		(g mata ⁻¹)		
	HMA	Azospirillum	N	P	
Testigo	39.3b	43.3a	2.51b	0.34bc	194.3bc
<i>Azospirillum</i>	54.5ab	70.0a	2.94b	0.44bc	176.2bc
<i>Glomus</i>	56.8a	66.0a	2.38b	0.25c	161.5c
<i>Glomus</i> + <i>Azospirillum</i>	57.3a	56.7a	2.82b	0.31c	150.8c
Humus	57.5a	56.7a	4.06ab	0.62abc	205.4bc
Humus+ <i>Azospirillum</i>	55.0a	66.0a	4.03ab	0.56abc	218.1bc
Humus+ <i>Glomus</i>	60.5a	50.0a	4.64ab	0.71ab	245.7ab
Humus+ <i>Glomus</i> + <i>Azospirillum</i>	58.0a	53.3a	5.78a	0.85a	294.1a

5.3. Rendimiento de maíz

El rendimiento de grano fue afectado significativamente por la aplicación de Humus ($P\leq 0.001$), mientras que la inoculación de *Glomus* o de *Azospirillum* no tuvo un efecto significativo (Cuadro 6) Se encontró una interacción Humus**Glomus* altamente significativa ($P\leq 0.001$) y Humus**Azospirillum* significativa ($P\leq 0.047$). El efecto medio de la adición de Humus mostró un incremento de 36% en rendimiento de grano en relación al que no tuvo dicho abono. En la interacción Humus**Glomus* se encontró que en la condición con Humus la inoculación de *Glomus* promovió 17.6% más rendimiento que sin *Glomus*, mientras que en la condición sin Humus la inoculación disminuyó 14.8% el rendimiento en relación al que no fue inoculado con el HMA (Cuadro 6). De manera similar, en la interacción Humus**Azospirillum* se observó que el rendimiento de grano tuvo un incremento del 5% con la inoculación de *Azospirillum* cuando se incorporó el Humus,

mientras que sin Humus la inoculación de la bacteria disminuyó un 10% el rendimiento de grano (Cuadro 6).

Cuadro 6. Efecto principal de Humus, *Glomus* y *Azospirillum* y su interacción sobre el rendimiento de grano de maíz.

Factor		Rendimiento de grano (kg ha ⁻¹)
Humus de lombriz		
	Sin	2260b
	Con	3077a
<i>Glomus intraradices</i>		
	Sin	2635a
	Con	2703a
<i>Azospirillum brasilense</i>		
	Sin	2694a
	Con	2643a
Interacción Humus * <i>Glomus</i>		
Humus	<i>Glomus</i>	
Sin	Sin	2441c
Sin	Con	2080d
Con	Sin	2828b
Con	Con	3326a
Interacción Humus * <i>Azospirillum</i>		
Humus	<i>Azospirillum</i>	
Sin	Sin	2380b
Sin	Con	2141b
Con	Sin	3008a
Con	Con	3146 ^a

Se encontró que sin humus de lombriz la coinoculación de *G. intraradices* y *A. brasilense* generó un bajo rendimiento de maíz, incluso por debajo del rendimiento aportado por el Testigo. Sin embargo, con la aplicación del humus de lombriz hubo una mejoría tanto en los parámetros del crecimiento y el rendimiento de grano, así como en la expresión del beneficio de los microorganismos introducidos. En el conjunto de tratamientos, la aplicación combinada de humus de lombriz, *G. intraradices* y *A. brasilense* presentó los valores más altos de rendimiento de grano del maíz, el cual representó un incremento de 29.8% en relación al tratamiento Testigo. Asimismo, la adición de humus de lombriz a los tratamientos inoculados, ya sea con *G. intraradices* o con *A. brasilense*, propició un rendimiento mayor con respecto a los tratamientos sin humus de lombriz (Cuadro 6).

6. Discusión

Los resultados obtenidos en el presente trabajo demuestran que la adición de humus de lombriz mejoró el crecimiento de las plantas de maíz aún cuando *Glomus* y *Azospirillum* no estuvieron presentes, esto se debe posiblemente a que al adicionar la vermicomposta se incrementa la actividad biológica del suelo influyendo en el contenido de materia orgánica e incrementando la absorción de nutrientes por las plantas (Núñez, 2000). Jodice y Nappi (1987) mencionan que este abono contiene y provee a la planta de elementos minerales poco móviles en el suelo cuya absorción puede aumentarse con la micorriza arbuscular que afecta positivamente la absorción de nutrientes proporcionados por la vermicomposta y que el efecto es mayor que cuando se utilizan por separado, sin embargo en este trabajo se observó una disminución en la altura de las plantas inoculadas con *Glomus* cuando no se adicionó humus de lombriz lo cual puede deberse a la etapa fenológica en la que se encontraban las plantas cuando se realizó la medición, periodo en el que la planta requería de toda la energía para su desarrollo y no para el mantenimiento del hongo. La respuesta hacia una disminución del crecimiento y rendimiento del maíz con la inoculación de *Glomus* cuando no se incorporó el humus de lombriz podría estar regulada por el hospedero debido al costo energético derivados de la fotosíntesis que la planta debe dirigir hacia la rizosfera para mantener al micosimbionte (Smith y Read, 1997), el cual ha sido estimado entre 10 y 20% de la fotosíntesis neta (Marschner y Dell, 1994). Así también debe

considerarse que las micorrizas y rizobacterias compiten con poblaciones nativas y nemátodos micófagos, que en el caso de los HMA reducen su potencial al alimentarse de la hifa extramatricial (Linderman, 1992).

En cuanto al porcentaje de colonización micorrízica el valor más alto se presentó en el tratamiento Humus+*Glomus*, lo cual se debe posiblemente a que las sustancias húmicas influyen positivamente en el número y funciones de los HMA. Matías-Crisóstomo y Ferrera-Cerrato (1993) encontraron en un suelo tepetatoso que la adición de materia orgánica incrementó la incidencia de la micorriza arbuscular en la asociación maíz-frijol-haba; esto también tiene relación con el mejoramiento de las condiciones físicas y químicas del suelo al adicionar vermicomposta, debido a que promueve un incremento en la diversidad, desarrollo y actividad de microorganismos benéficos en especial de los HMA (Schüssler *et al.*, 2001).

La ausencia de diferencias significativas entre tratamientos en la concentración de N y P pero sí en el contenido total de estos nutrimentos en el follaje se relaciona posiblemente con un efecto de dilución en el tejido vegetal debido a una mayor demanda durante la construcción de biomasa, y a su vez, indica que una mayor absorción nutrimental total ocurrió en los tratamientos con alta producción de biomasa aérea seca, tal como se observó en el presente trabajo con la triple asociación Humus+*Glomus*+*Azospirillum*. Lo anterior sugiere la conveniencia de considerar además de la concentración el contenido nutrimental total en la evaluación de la respuesta de las plantas a la inoculación con biofertilizantes, como ha sido el caso en otros estudios (Das *et al.*, 2007; Sharif y Jan, 2008).

Algunos estudios han mostrado que la presencia de *A. brasilense* mejora los rendimientos de maíz (Aguirre-Medina, 2004), sin embargo en el presente trabajo este efecto se notó únicamente cuando se adicionó humus de lombriz al tratamiento inoculado con la bacteria, de lo contrario el rendimiento de maíz fue más bajo incluso que en el tratamiento Testigo. Este fenómeno puede estar relacionado al efecto de factores bióticos y abióticos en el comportamiento de la bacteria (Pecina-Quintero *et al.*, 2005), entre ellos el pH del suelo ya que se ha encontrado una mejor respuesta de *Azospirillum* a pH cercanos a la neutralidad mientras que para el caso de este trabajo este parámetro fue de 4.8, asimismo la presencia de otros microorganismos en la rizosfera y la capacidad de la bacteria para establecerse y competir con la microflora nativa pudieron afectar la respuesta a la

inoculación. Por su parte, la inoculación con *Glomus* parece no haber tenido un efecto importante en el rendimiento de maíz, sin embargo cuando se adicionó humus de lombriz el rendimiento aumentó notablemente lo que concuerda con estudios que se han realizado en donde reportan que la aplicación de sustancias húmicas favorece el establecimiento y la funcionalidad de los HMA (Velasco *et al.*, 2001).

El incremento en rendimiento de grano de maíz observado en la triple asociación humus+*Glomus*+*Azospirillum*, la asociación humus+*Glomus* y humus+*Azospirillum* con respecto al testigo indica que la actividad del HMA y de la bacteria se vio potenciada cuando se aplicó junto con humus de lombriz, generando esta asociación mayor rendimiento de maíz con respecto al tratamiento donde se inocularon los microorganismos de forma aislada, o únicamente se aplicó el humus de lombriz, lo que sugiere un efecto sinérgico entre el abono y los microorganismos inoculados. La respuesta positiva del rendimiento de grano a la aplicación conjunta de humus de lombriz, *G. intraradices* y *A. brasilense*, y su efecto contrario con la sola aplicación de los biofertilizantes, demuestra la importancia del enriquecimiento de la materia orgánica del suelo en la compleja ecología de la rizosfera del maíz.

7. Conclusiones

El humus de lombriz mejoró el crecimiento, la producción de biomasa y el rendimiento de grano de maíz; asimismo, tuvo una influencia positiva en la actividad de *G. intraradices* y de *A. brasilense* para promover la producción de biomasa y el rendimiento de grano del maíz. Con humus de lombriz la coinoculación de *G. intraradices* y *A. brasilense*, así como la inoculación simple de cada uno de estos biofertilizantes tuvieron un efecto estadísticamente significativo sobre el rendimiento de grano en relación al Testigo; sin embargo, cuando no se adicionó humus de lombriz el rendimiento de grano fue menor con la inoculación de los biofertilizantes que en el Testigo. La triple asociación humus+*Glomus*+*Azospirillum* representa una buena opción para mejorar el rendimiento de maíz.

Este capítulo ha sido aceptado para su publicación como artículo en la Revista Gayana

Botánica:

Pérez-Luna, YC, JD Álvarez-Solís, J Mendoza-Vega, JM Patt-Fernández & R Gómez-Álvarez.

CAPÍTULO VII

IMPACTO DE LA APLICACIÓN DE BIOFERTILIZANTES EN PARCELAS CON Y SIN COBERTURA DE FRIJOL NESCAFÉ (*Mucuna deeringiana* Merr.) SOBRE LA PRODUCTIVIDAD DE MAÍZ (*Zea mays* L.)

VII. IMPACTO DE LA APLICACIÓN DE BIOFERTILIZANTES EN PARCELAS CON Y SIN COBERTURA DE FRIJOL NESCAFÉ (*Mucuna deeringiana* Merr.) SOBRE LA PRODUCTIVIDAD DE MAÍZ (*Zea mays* L.)

1. Resumen

El presente trabajo tuvo como objetivo determinar el efecto que tiene la aplicación de biofertilizantes (hongos micorrízicos y fertilizante orgánico foliar) y Abonos verdes/Cultivos de Cobertura (AVCC) (frijol nescafé) en el rendimiento de maíz bajo condiciones de campo y prácticas de manejo que los productores establecen en sus parcelas para la producción de maíz. El estudio se realizó durante dos ciclos de cultivo, 2009 y 2010 ambos en la temporada primavera-verano, bajo condiciones de temporal en el Ejido La Bella Ilusión, Municipio de Maravilla Tenejapa, Chiapas, México. En el primer año se seleccionaron 7 parcelas, de las cuales tres presentaron el antecedente de cobertura con frijol nescafé (*Mucuna deeringiana* Merr) y cuatro sin dicha cobertura, trazándose en cada una de ellas un área experimental de aproximadamente 1500 m², y en el segundo se seleccionaron únicamente dos parcelas con y sin cobertura de frijol nescafé. En los dos periodos se evaluaron cuatro tratamientos: testigo, micorriza, foliar y la combinación micorriza-foliar, bajo un diseño de bloques completamente aleatorizados para el primer experimento, mientras que para el segundo se estableció un cuadro latino 4x4. En el primer año la presencia de AVCC tuvo un efecto positivo sobre el rendimiento de maíz (4213.7 kg ha⁻¹; p=0.013). Los resultados mostraron que el rendimiento de maíz fue significativamente más alto en el tratamiento inoculado con micorriza, difiriendo en más de 1000 kg con respecto al testigo en algunos casos. Los niveles de colonización micorrízica fueron altos en la mayoría de las parcelas y no se observó un efecto de la aplicación del fertilizante foliar sobre el rendimiento de maíz. En el segundo año, el tratamiento micorriza generó los rendimientos más altos en ambas parcelas, sin y con AVCC (2141.5 y 2007.41 kg ha⁻¹, respectivamente) superando en 6% al testigo únicamente en la parcela sin cobertura. La relación costo-beneficio fue de 1.35, indicando ventajas económicas para el productor bajo este sistema de producción de maíz.

PALABRAS CLAVE: Biofermentos, hongos micorrízicos arbusculares, *Mucuna* sp., *Zea mays*

2. Abstract

The present work was conducted with the objective of evaluate the effect of application of biofertilizers (mycorrhizal fungi and foliar organic fertilizer) and green manure/cover crops (AVCC) (nescafe bean) on the grain yield of maize under field conditions and management practices producers established in their fields to corn production. This study was conducted during two cropping seasons, 2009 and 2010 both in the spring-summer season under rainfed conditions in the Ejido La Bella Illusion, Chiapas, Mexico. In the first year 7 plots were selected, of which of which three have been managed with nescafe bean (*Mucuna deerengiana* Merr) and four without such coverage, traced in each experimental area of approximately 1500 m², and the second only two plots were selected with and without coverage nescafe bean. In both periods established four treatments of biofertilization: control, mycorrhiza, mycorrhizae with foliar organic fertilizer, under a block design completely randomized for the first experiment, while the second established a 4x4 Latin square. In the first year AVCC presence had a positive effect on maize yield (4213.7 kg ha⁻¹, P = 0.013). The results showed that corn yield was significantly higher in the treatment inoculated with mycorrhizal fungi, differing in more than 1000 kg from the control in some cases. Mycorrhizal colonization levels were high in most of the plots and there was an effect of foliar fertilizer application on corn yield. In the second year, mycorrhizal treatment produced the highest yields in both plots, with and without AVCC (2141.5 and 2007.41 kg ha⁻¹, respectively) exceeded only 6% of the control plot without coverage. The cost-benefit ratio was 1.35, indicating economic benefits for the producer under this system of maize production.

KEY WORDS: Biofermentos, arbuscular mycorrhizal fungi, *Mucuna* sp., *Zea mays*

3. Introducción

El alto grado de degradación de los suelos agrícolas, la contaminación ambiental derivada del uso excesivo de insumos inorgánicos y la aplicación de métodos intensivos de producción, ha tenido un impacto negativo sobre los rendimientos agrícolas (Martín et al., 2007) a nivel regional, nacional y mundial.

Una alternativa para sustentar la producción de maíz en el Estado de Chiapas es la inoculación con microorganismos promotores del crecimiento denominados

“biofertilizantes” (Alarcón y Ferrera-Cerrato, 2000); los más utilizados son las bacterias de los géneros *Rhizobium* y *Azospirillum*, así como hongos micorrízicos del género *Glomus* (Holguín et al., 2003). Los biofertilizantes contienen cepas microbianas capaces de fijar nitrógeno, solubilizar fósforo o favorecer la disponibilidad de diversos nutrientes (Martínez, 1998). Los inoculantes pueden ser aplicados a las semillas previo a la siembra o directamente al suelo, para incrementar el número de estos microorganismos en el medio, acelerar los procesos microbianos, y mejorar la disponibilidad de nutrientes asimilables por las plantas. Con esto se favorece la nutrición, el crecimiento y desarrollo de los cultivos, y se mejora su tolerancia frente al estrés hídrico y a los agentes patógenos con origen en el suelo (Martínez, 2002). Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) establecen una simbiosis planta-hongo (Walker y Trappe, 1993). Esta asociación se presenta en una amplia gama de especies de plantas terrestres (gimnospermas, angiospermas, pteridofitas y briofitas) (Wang y Liu, 2006). Estos hongos pueden interactuar con una gran variedad de microorganismos en la rizosfera (Barea et al., 2002), potenciando aún más la disponibilidad de nutrientes para las plantas cultivadas.

Otra estrategia que está siendo utilizada por los productores agrícolas es la incorporación de abonos verdes/cultivos de cobertura (AVCC) los cuales son considerados como una estrategia importante para conservar e incrementar la fertilidad de los suelos, debido a que esta práctica permite sustituir la aplicación de fertilizantes químicos y además incrementa la productividad de los cultivos (García et al., 2002). Una leguminosa utilizada para este fin es *Mucuna* sp. cuyo cultivo además de proteger al suelo le aporta también nutrientes que favorecen el crecimiento y desarrollo de cultivos como maíz; contribuyendo a la reducción de la erosión del suelo y aumentando la materia orgánica del mismo, además de presentar un efecto positivo sobre los microorganismos del suelo (Philipp y Gamboa, 2003).

Los biofermentos, preparados que resultan de la fermentación anaeróbica de una mezcla de compuestos como melaza, estiércol, leche, minerales, abonos verdes y levaduras, se aplican directamente al cultivo como un fertilizante foliar con la finalidad de aportar principalmente micronutrientes a la planta en suelos con baja fertilidad (Restrepo, 2001).

Por otro lado, la quema de residuos de cosecha que constituía una de las prácticas más comunes en la preparación de los terrenos para la siembra, se sabe actualmente que afecta

negativamente al suelo (Martínez et al., 2004); debido a esto, en sistemas orgánicos establecidos por los productores se tiene una mayor comprensión de la importancia de la materia orgánica en el suelo, por lo que se ha ido eliminando esta práctica, manteniendo un sistema de roza y pica de los cultivos de cobertura.

El cultivo de maíz forma parte de la cultura agrícola de los pobladores del Ejido “La Bella Ilusión”, siendo éste su principal alimento. En esta zona, el maíz se cultiva en dos ciclos agrícolas primavera-verano y otoño-invierno, el primero bajo condiciones de temporal y el segundo con humedad residual o "tornamil", y desde hace un poco más de 7 años un grupo de productores autodenominado “La Ventana” trabaja bajo un esquema orgánico que prioriza la siembra de variedades locales, el uso de abonos verdes y últimamente la aplicación de biofertilizantes y biofermentos, siendo la familia la principal fuente de mano de obra para el trabajo agrícola. El proceso de innovación agroecológica para la producción de sus cultivos básicos surge como una respuesta hacia la necesidad de asegurar el suministro alimentario familiar, así como mejorar el ambiente ecológico y conseguir un crecimiento económico.

Para sostener la producción de maíz y otros cultivos se han planteado dos estrategias en las regiones donde aún se practica la agricultura de roza-tumba y quema, que van orientadas por un lado a incrementar la producción por unidad de superficie y por el otro a mantener la superficie cultivada mediante una disminución del periodo de barbecho o descanso de la tierra. De acuerdo con Cuanalo y Uicab-Covoh (2005), ésta última ha sido más empleada por los productores, de forma tal que el descanso de hasta 15 años que antes se le daba a la tierra, ahora se ha reducido a 7 años en el mejor de los casos. La experiencia de algunos productores en el Ejido La Bella Ilusión muestra que las parcelas con uso agrícola están siendo sometidas a un proceso de producción continua con descansos reducidos que oscilan de 1 a 4 años. Sin embargo, ante la percepción de que las pérdidas de nutrientes minerales y materia orgánica que sufre el suelo durante la fase de cultivo no se recuperan en periodos de 1-4 años de barbecho natural, por erosión, lavado y la misma cosecha del cultivo, han establecido como una alternativa la práctica de los barbechos mejorados. Esta práctica consiste en la utilización de leguminosas (frijol arroz y nescafé) como cultivos de cobertura que protegen a la parcela frente a la erosión y el lavado, y que al ser incorporadas al suelo mejoran los contenidos de materia orgánica y nutrientes en

periodos más cortos de tiempo que con el barbecho natural (Prinz, 1986), además de desarrollar en sus raíces nódulos, en cuyo interior existen bacterias que fijan en el suelo el nitrógeno atmosférico, enriqueciendo al suelo no solo de este elemento sino también de carbono y mejorando las propiedades físicas y biológicas del suelo y por ende su estructura (Brechelt, 2004). Dentro de las leguminosas que se han utilizado como AVCC se encuentra el frijol terciopelo o nescafé (*Mucuna deeringiana* Merr.), el cual ha sido ampliamente utilizado en América Central y del Sur como un eficaz agente para el enriquecimiento y el mantenimiento de la fertilidad del suelo (Lal, 1999).

El trabajo que los productores del grupo “La Ventana” están desarrollando en la búsqueda de sistemas de producción que les permitan conservar el suelo y su entorno, además de producir su alimento, ofrece la oportunidad de desarrollar esquemas de investigación participativa para conocer, sistematizar e intercambiar las experiencias que se desarrollan con tecnologías más limpias para el ambiente. En el presente trabajo se analiza el efecto de la aplicación de biofertilizantes (hongos micorrízicos y biofermentos) y AVCC (frijol nescafé) en el cultivo de maíz criollo bajo condiciones de temporal en el ejido La Bella Ilusión, municipio de Maravilla Tenejapa, Chiapas, así como la relación beneficio costo de este cultivo bajo un esquema de producción orgánica.

4. Materiales y métodos

El trabajo se realizó en el ciclo agrícola primavera-verano de 2009 y 2010 bajo condiciones de temporal en el Ejido La Bella Ilusión, Municipio de Maravilla Tenejapa. Este municipio colinda al norte con la microregión de Betania, al este con la Reserva de la Biosfera de Montes Azules, al sur con el vecino país de Guatemala y al oeste con Nuevo Huixtán y Río Blanco (PRODESI, 2007). Las coordenadas de la cabecera municipal son 16°08'20" de latitud norte y 91°17'44" de longitud oeste y se ubica a una altitud de 400 m sobre el nivel medio del mar. El clima existente en el municipio es Am(f) cálido húmedo con lluvias en verano que abarca el 100% de la superficie municipal. La vegetación natural corresponde a selva alta perennifolia, alternada con parches de vegetación secundaria (acahuales), pastizales, y cultivos anuales y perennes. Los suelos en la clasificación FAO/UNESCO corresponden a Leptosoles réndzico y lítico, Luvisol crómico y Acrisol pélico. Los suelos

de las parcelas presentaron textura arcillosa; sus principales atributos físicos y químicos se presentan en el Cuadro 7.

En el presente trabajo se mantuvieron las prácticas agroecológicas que los productores desarrollan en sus parcelas con la finalidad de mantener la diversidad de las mismas dentro de la perspectiva de la agricultura orgánica, por lo que la participación del productor fue muy importante para la definición del problema, de los tratamientos para el diseño del trabajo experimental y en la realización del mismo. En el primer año el trabajo se realizó en siete parcelas, mientras que en el segundo año únicamente en dos; en ambos casos, se consideraron parcelas sin y con antecedente del uso de frijol nescafé como abono verde-cultivo de cobertura (AVCC), así como la aplicación del inóculo micorrízico y el fertilizantes orgánico foliar. En el 2009, con la colaboración de los productores se seleccionaron 7 parcelas, de las cuales tres presentaron el antecedente de cobertura de frijol nescafé y cuatro sin dicho antecedente de cobertura. En cada una de las parcelas se trazó un área experimental de aproximadamente 1500 m² en la que se evaluaron cuatro tratamientos: 1. Testigo, 2. Micorriza, 3. Foliar, 4. Micorriza+Foliar , bajo un diseño de bloques completamente aleatorizados con siete repeticiones (Cuadro 8). Los tratamientos se ubicaron aleatoriamente en cada bloque y la unidad experimental tuvo un tamaño promedio de 349 m².

En el 2010, con la participación del productor, se eligieron dos parcelas que cumplieran con la condición con y sin cobertura de frijol nescafé. La parcela con cobertura de frijol se ha trabajado por quince años, de los cuales cuatro se ha sembrado continuamente y tiene dos de haberse introducido frijol nescafé (*Mucuna deeringiana* Merr.), la otra parcela se encontraba con pasto señal (*Brachiaria decumbens*) y Johnson (*Shorgum halepensis*) y se ha trabajado por aproximadamente 25 años cultivando maíz. En cada una de la parcelas se trazó un área experimental de 50 x 32 m, con unidades experimentales de 12.5 x 8 m, los tratamientos considerados fueron: T) testigo, F) Foliar, M) Micorriza, y MF) Micorriza+Foliar bajo un diseño de cuadros latinos de 4x4 (Cuadro 9).

Cuadro 7. Características físicas y químicas del suelo en las parcelas

Parcela	DA (g/ml)	pH	MO (%)	N total (%)	P (mg/kg)	CIC (cmol/kg)
Primer año						
El Cerro	1.00	6.0	8.9	0.48	8.9	82.1
El Aguacate	0.94	6.4	7.6	0.41	12.7	83.1
La Y	0.93	6.3	6.6	0.33	5.6	79.2
La Y (2)	0.95	6.6	6.6	0.33	8.0	65.8
Las Ruinas	1.03	6.5	6	0.30	5.3	82.7
La Curva	0.95	6.5	11.9	0.63	11.2	81.5
El Cedro	0.97	6.3	9.6	0.55	16.6	81.2
Segundo año						
Sin nescafé	1.16	6.5	4.7	0.37	7.7	62.3
Con nescafé	1.13	6.1	7.4	0.48	8.0	64.2

DA = densidad aparente (probeta), MO = materia orgánica (Walkley y Black), N total = nitrógeno total (microKjeldahl), P = fósforo extraíble (Olsen), CIC = capacidad de intercambio de cationes (acetato de amonio 1N, pH 7).

Cuadro 8. Descripción de los tratamientos evaluados en el primer año

Tratamiento	Cobertura de nescafé			
	Sí (n=3)		No (n=4)	
	<i>Glomus</i>	Foliar	<i>Glomus</i>	Foliar
1. Testigo (T)	0	0	0	0
2. Micorrizas (M)	1	0	1	0
3. Foliar (F)	0	1	0	1
4. Micorrizas+Foliar (M+F)	1	1	1	1

Cuadro 9. Arreglo de los tratamientos evaluados en el segundo año

		Parcelas							
		Sin nescafé				Con nescafé			
Hileras	Columnas								
	1	2	3	4	1	2	3	4	
1	FM	M	F	T	T	F	M	FM	
2	M	FM	T	F	F	T	FM	M	
3	F	T	FM	M	M	FM	T	F	
4	T	F	M	FM	FM	M	F	T	

T= testigo, F= Foliar, M= Micorriza y FM= micorriza+foliar

4.1 Preparación del terreno e inoculación de semillas

En cada una de las parcelas se realizó la limpia del terreno con machete, rozando las arvenses y la cobertura que crece en ellas y dejando sobre la superficie del suelo este material. Únicamente en una de las parcelas se realizó la quema de residuos de cosecha y arvenses, esto únicamente para el primer año de experimentación. Previo a la siembra las semillas de maíz fueron inoculadas con el biofertilizante consistente en una mezcla de especies de hongos micorrízicos pertenecientes a los géneros *Glomus* y *Acaulospora*, principalmente, este inóculo se propaga en el ejido utilizando pasto cubano (*Brachiaria brizantha*) como cultivo trampa. Para la inoculación se humedecieron 6 kg de semillas de maíz con aproximadamente 700 ml de agua, estas fueron paletizadas con 1 ½ kg de inóculo micorrízico y se dejaron secar por toda una noche. Al siguiente día se sembraron en los tratamientos Micorriza y Micorriza+Foliar evitando la exposición directa al sol. Las características del biofertilizante micorrízico se presentan en el Cuadro 10.

4.2 Elaboración del fertilizante foliar

Para la preparación del fertilizante foliar se mezclaron los siguientes ingredientes: melaza (4%), leche (6%), minerales (roca) (2%), estiércol de ganado vacuno (25%), ceniza (1.5%) y hojas de frijol nescafé (*Mucuna deeringiana* Merr.) (3%) para el primer año y de mirasol (*Tithonia diversifolia*) para el segundo año. Esta mezcla se dejó fermentar por

Cuadro 10. Características del biofertilizante micorrícico

Características	Valor
Físicas	
Arena (%)	25.8
Arcilla (%)	62.2
Limo (%)	12.0
Clasificación textural	Arcilloso
Químicas	
pH (agua, relación 1/2)	6.4
Materia orgánica (%)	10.3
Nitrógeno total (%)	0.69
Fósforo extraíble (Olsen, mg/kg)	12.4
CIC (cmol ⁺ /kg)	74.1
Microbiológicas	
Humedad (%)	38.8 ± 1.26
Esporas (10 g de sustrato)	92.3 ± 45.6
Raíces colonizadas (g /10 g de sustrato)	1.07 ± 0.43
Colonización micorrízica (%)	84.0 ± 9.6

espacio de 28 días en condiciones anaeróbicas, únicamente removiendo el material cada 3 días. Una vez que la fermentación culminó, el material se filtró y se obtuvo un concentrado (foliar) que se aplicó diluido y por aspersión al cultivo. La composición química de este producto analizado con base en los métodos de la NOM-021-RECNAT 2000, se presenta en el Cuadro 11. La dosis de fertilizante foliar aplicada varió para cada una de las parcelas del primer año, mientras que en el segundo experimento la dosis fue de 30 L/Ha (Cuadro 12).

Cuadro 11. Características del fertilizante orgánico foliar

Característica	Unidad	Biofermento	
		Frijol nescafé	Mirasol
Materia orgánica	%	29.29	19.31
Humus total	%	0.20	0.53
Ácido húmico	%	0.12	0.01
Ácido fúlvico	%	0.08	0.52
Nitrógeno	%	2.07	1.40
Fósforo	%	0.59	0.88
Potasio	Mg/L	740.83	1 217.83
Magnesio	Mg/L	1 109.50	1 044.50
Hierro	Mg/L	493.08	490.58
Manganeso	Mg/L	47.94	35.54
Cobre	Mg/L	107.14	4.81
Zinc	Mg/L	585.25	3.32
Ph		8.22	4.95
Conductividad eléctrica	dS/m	2.24	8.95

4.3 Siembra

La siembra se realizó en los meses de mayo y junio con “cubo” (madero con base cuadrada) con 2 a 4 semillas de maíz por mata a una distancia de 0.70 a 1.20 m entre surcos y matas. Las variedades de maíz sembradas fueron: “pinul”, “jarocho”, “chucuy”, “olotillo blanco”, “tuxpeño” y “tacsá”, todas corresponden a semillas locales que son obtenidas de cosechas anteriores, excepto la última (híbrido). Los productores realizan diferentes prácticas de manejo en las parcelas (Cuadro 12), así como también aplican diferentes dosis de biofertilizantes (Cuadro 13).

Cuadro 12. Prácticas de manejo realizadas en las parcelas

Prácticas	Parcelas								
	Primer año							Segundo año	
	El Cerro	El Aguacate	La Y	La Y (2)	Las Ruinas	La Curva	El Cedro	A	B
Años en descanso	8	1	0	1	0	2	4	0	0
Años cultivado	1	4	15	3	6	12	2	4	25
Preparación Terreno	R	R	R	R-Q	R	R	R	R	R
Fecha siembra	Mayo	Junio	Mayo	Mayo	Junio	Mayo junio	Junio	Mayo	Mayo
Distancia siembra	1-1.2	0.9-0.9	0.9-0.8	1-1	1-1	1-1	1-0.7	1-1	1-1
Densidad (matas/ha)	8333	12321	13875	10000	10000	10000	14300	10000	10000
Plantas mata	4	4	3-4	2-3	2	2-3	2-3	4	4
Limpias	3	2	2	1	2	2	2	3	3

R=Roza, Q=Quema, A= parcela con nescafé, B= parcela con pasto

4.4 Medición de variables

A los 90 días después de la siembra (dds) se eligieron al azar 5 y 10 matas por tratamiento para el primer y segundo año, respectivamente, en la parte central de cada tratamiento en cada una de las parcelas evaluándose: altura de planta con estadal desde la base del suelo a la última hoja expuesta de la planta; diámetro del tallo en el primer entrenudo con vernier digital y número de hojas. Se recolectó una muestra compuesta de raíces finas de plantas de maíz en estadio de floración en todas las parcelas para determinar el porcentaje de colonización del HMA mediante el procedimiento de clareo y tinción descrito por Phillips y Hayman (1970). Se realizó también un análisis foliar determinándose la concentración de N

Cuadro 13. Condiciones imperantes en las parcelas

Tratamientos	Parcelas								
	Primer año							Segundo año	
	El Cerro	El Aguacate	La Y	La Y (2)	Las Ruinas	La Curva	El Cedro	A	B
Abono verde	No	Si	Si	No	Si	No	No	Si	No
Variedad maíz	P	J	Ch, J	Ta	O	Ch, O	Tu	J	J
Aplicación foliar	3	2	2	1	2	2	2	4	4
Dosis foliar (L)	0.5	1	2	0.19	0.25	0.5	0.16	0.6	0.6
Inóculo HMA (kg/kg semilla)	1/6-8	1/12	0.5/6	1/10	1/8	1/8	1/8	1.5/6	1.5/6

P=Pinul (morado), J=Jarocho, Ch= Chucuy, Ta=Tacsá, O=Olotillo Blanco, Tu=Tuxpeño,

(semi-microkjeldhal), P (Olsen) y K (espectrofotometría de absorción atómica en flama); para ello se recolectaron hojas ubicadas en sentido opuesto de las mazorcas. Las hojas fueron puestas a secar en horno a 60° C por 48 h y se molieron. A los 150 dds se evaluaron los componentes del rendimiento, considerándose 20 matas por tratamiento para cada parcela midiéndose, únicamente para el primer experimento, longitud, diámetro y número de hileras de la mazorca, y número de granos por hilera, mientras que para ambos experimentos se evaluó el peso total de la mazorca y peso de grano para determinar rendimiento. Se realizó el análisis costo beneficio de la producción de maíz utilizando biofertilizantes y AVCC a nivel de parcela para el segundo ciclo de cultivo (2010). Este análisis económico se calculó considerando el ingreso total obtenido por la venta del maíz y los costos de producción, entre los que se consideran los costos variables (jornales, biofertilizantes) y los fijos (herramientas de trabajo) de acuerdo a la relación $B/C = \sum IT / \sum CT$, siendo IT= ingreso total y CT= costo total.

4.5 Análisis estadístico

Se utilizó un diseño factorial de tratamientos para ambos experimentos. En el primero se consideraron como factores el antecedente de cobertura (con y sin) y los tratamientos de biofertilización (Testigo, Micorriza, Foliar y Micorriza+Foliar), así como su interacción. En el segundo experimento los factores fueron Micorriza (con y sin) y Foliar (con y sin), y su interacción, para cada una de las parcelas de manera independiente. En ambos casos el análisis de varianza fue de dos vías. Los resultados obtenidos fueron analizados mediante el análisis de varianza multifactorial y por comparación de medias de Tukey ($\alpha=0.05$) con SPSS v.8.

5. Resultados

5.1 Ciclo primavera-verano 2009

5.1.1 Crecimiento vegetativo del cultivo

El antecedente de cobertura de frijol nescafé propició diferencias estadísticamente significativas ($p<0.05$) para el número de plantas por mata, la altura y el diámetro de las plantas de maíz, observándose un efecto positivo del frijol nescafé sobre estas variables; entre tratamientos no se presentaron diferencias estadísticas significativas (Cuadro 14).

Cuadro 14. Efecto del antecedente de cobertura de frijol nescafé (*Mucuna deeringiana* Merr.) y de la biofertilización en el desarrollo vegetativo de las plantas de maíz

Condición	Plantas mata ⁻¹	Altura de plantas (m)	Diámetro de tallo (mm)	Número de hojas
Cobertura				
Sin	2.5b	2.7b	20.6b	11.8a
Con	3.1a	3.1a	21.6a	11.5a
Tratamientos				
Testigo	2.7a	2.9a	21.2a	11.8a
Micorriza	2.8a	2.9a	21.0a	11.6a
Foliar	2.9a	3.0a	21.3a	11.7a
Micorriza+Foliar	2.6a	2.8a	20.7a	11.5 ^a

5.1. 2 Colonización y nutrición mineral

El porcentaje de colonización micorrízica no varió con significancia estadística en relación con el antecedente de cobertura de frijol nescafé; sin embargo, se observaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos de biofertilización ($p=0.0001$). La inoculación con el HMA propició el nivel más alto de colonización (86.6%) superando al testigo en 24%. En el análisis foliar se observaron diferencias estadísticamente significativas ($p=0.0001$) para la concentración de N foliar por el antecedente de frijol nescafé. Plantas desarrolladas en ausencia de cobertura presentaron mayor concentración de N (2.51 g mata^{-1}), y no se observaron diferencias entre tratamientos (Cuadro 15).

5.1. 3 Rendimiento de maíz

El rendimiento de maíz para el ciclo de cultivo 2009 estuvo en el rango de 3.4 ton ha^{-1} a 4.2 ton ha^{-1} . Hay un efecto significativo ($p=0.013$) del factor cobertura, y altamente significativo ($p<0.001$) de la aplicación de biofertilizantes, aunque no hay interacción entre ambos factores ($p=0.108$). La cobertura tuvo un efecto positivo sobre el rendimiento de maíz, favoreciendo en 36 % la producción de grano en comparación con los sitios donde no se tuvo cobertura (Cuadro 16). Es importante mencionar que los resultados de rendimiento

Cuadro 15. Colonización micorrízica y análisis foliar de maíz.

Condición	Colonización de la raíz (%)	Contenido nutrimental (g mata ⁻¹)		
		N	P	K
Frijol nescafé				
Sin	77.5 ^a	2.51a	0.30a	2.46a
Con	76.2 ^a	1.91b	0.25a	2.39a
Tratamientos				
Testigo	70.0b	2.20a	0.26a	2.66a
Micorriza	86.6 ^a	2.14a	0.29a	2.34a
Foliar	74.3b	2.40a	0.31a	2.14a
Micorriza+Foliar	76.9b	2.10a	0.25a	2.57a

Cuadro 16. Rendimiento de maíz obtenido en el ciclo primavera-verano 2009

Condición	Rendimiento de maíz (kg ha-1)
<hr/>	
Cobertura	
Sin	3099.7b
Con	4213.7a
Tratamiento	
Testigo	3402.4b
Micorriza	4198.7a
Foliar	3608.4b
Micorriza+foliar	3436.7b

de maíz se vieron afectados por el viento que azotó la región poco antes de la cosecha, derribando a su paso varias matas.

En cuanto al efecto de la biofertilización los resultados muestran que la inoculación con micorrizas incrementó 23% la producción de maíz con respecto al testigo. Este resultado puede atribuirse a que la presencia de HMA en el suelo beneficia la nutrición vegetal al actuar como extensores del sistema radical de las plantas, de esta forma el cultivo aumenta su capacidad de absorber agua y nutrientes, principalmente fósforo. Los incrementos en los rendimientos de maíz inoculados con micorrizas obtenidos en este trabajo concuerdan con los presentados por Cruz-Chávez (2007), quien reporta incrementos del 11.5 a 19% cuando el maíz es inoculado con HMA (*G. intraradices*). En Chiapas, Camas (1999) encuentra rendimientos más altos (15%) de maíz inoculado con *Azospirillum* y *Glomus*, con respecto al testigo, mientras que para el Estado de México se reporta un incremento del 17% en el rendimiento de maíz inoculado con *Glomus* únicamente.

Asimismo, es necesario destacar que no obstante la ausencia de un efecto estadísticamente significativo, en una parcela se observó que la aplicación de fertilizante orgánico foliar promovió un aumento del 28% en el rendimiento de grano del maíz en relación al testigo, lo cual puede deberse a que se aplicó una dosis mayor (4 L) con respecto al resto de las parcelas consideradas. Debe tenerse en cuenta que el efecto de la fertilización

foliar depende de factores relacionados con la planta, con el ambiente y con la formulación del foliar (Trinidad y Aguilar, 1999). La no respuesta a la fertilización foliar en el rendimiento de maíz en este trabajo puede deberse a las condiciones de fertilidad natural de los suelos (Cuadro 7). No obstante, el productor reconoce un efecto del foliar sobre la vigorosidad y coloración de las plantas de maíz después de su aplicación.

Las variedades de maíz sembradas fueron diferentes para las parcelas evaluadas, de manera que las mazorcas de mayor longitud corresponden a las variedades “pinul morado” y “tacsá”, esta última también presentó el diámetro mayor; sin embargo, “olotillo blanco” tuvo más granos por hilera y por ende mayor producción de grano de maíz. El alto valor observado en “pinul morado” para producción de grano correspondió a la resiembra que el productor realizó en su parcela debido a la falta de humedad durante la siembra, por lo tanto el rendimiento obtenido con esta variedad no fue considerado para fines de comparación con las otras variedades al analizar el rendimiento de grano (Cuadro 17).

5.2 Ciclo primavera-verano 2010

En la parcela sin antecedente de cobertura no hubo efecto significativo de los tratamientos de biofertilización en ninguna de las variables evaluadas. Los valores medios de altura, diámetro y número de hojas fueron de 2.6 m, 20.3 mm y 11, respectivamente. El porcentaje de colonización micorrízica varió de 80.2% en el tratamiento Testigo a 87% en el tratamiento Micorriza+Foliar, y las hojas presentaron tenores medios de N, P y K de 2.23, 0.35 y 2.43 mg/kg, respectivamente. El rendimiento de maíz estuvo en el rango de 2062.6 a 2195.4 kg ha⁻¹ en los diferentes tratamientos, observándose un incremento de 133 kg ha⁻¹ para el tratamiento micorriza, con respecto al testigo (Cuadro 18).

Cuadro 17. Características de las mazorcas de variedades locales de maíz sembradas en el ciclo primavera-verano 2009 en el ejido La Bella Ilusión.

Mazorcas/mata ¹	Media	Desv. Estándar	Error Estándar	Mínimo	Máximo
Pinul (morado)					
Número	4.3	1.38	0.16	2.0	7.0
Diámetro (mm)	47.4	3.15	0.36	40.1	55.4
Longitud (cm)	19.4	1.98	0.22	13.0	23.0
No. Hileras	12.5	1.49	0.17	10.0	17.0
Granos/hilera	36.6	4.83	0.55	26.0	46.0
Peso total (g)	892.2	287.67	32.57	257.7	1689.0
Peso del grano (g)	712.1	229.22	25.95	300.0	1353.0
Jarocho					
Número	2.8	1.00	0.11	1.0	6.0
Diámetro (mm)	47.8	4.14	0.46	34.2	55.7
Longitud (cm)	16.7	2.55	0.28	11.0	23.0
No. Hileras	13.9	1.44	0.16	10.0	18.0
Granos/hilera	34.5	6.02	0.67	19.0	50.0
Peso total (g)	471.1	186.04	20.80	158.7	1077.5
Peso del grano (g)	360.2	147.78	16.52	108.5	843.5
Chucuy y Jarocho					
Número	2.3	0.96	0.11	1.0	5.0
Diámetro (mm)	48.3	4.67	0.53	34.1	60.6
Longitud (cm)	15.8	2.57	0.29	9.0	23.0
No. Hileras	14.1	1.85	0.21	10.0	18.0
Granos/hilera	33.4	6.14	0.69	17.0	48.0
Peso total (g)	386.6	174.69	19.65	58.0	917.0
Peso del grano (g)	316.0	152.07	17.11	40.0	757.0
Tacsa					
Número	1.4	0.61	0.07	1.0	4.0
Diámetro (mm)	50.4	3.28	0.37	39.0	58.0
Longitud (cm)	19.0	3.06	0.34	11.0	27.0
No. Hileras	13.2	1.51	0.17	9.0	17.0
Granos/hilera	33.8	7.38	0.82	7.0	45.0
Peso total (g)	312.5	137.52	15.37	41.4	911.6
Peso del grano (g)	240.2	110.72	12.38	20.7	750.9

¹ Todos los datos están referidos a una mata de maíz, la cual puede estar compuesta de una o más plantas (ver Cuadro 12).

Continuación Cuadro 17.

Atributo ¹	Media	Desv. Estándar	Error Estándar	Mínimo	Máximo
Olotillo (blanco)					
Número	2.8	0.80	0.09	1.0	5.0
Diámetro (mm)	46.5	3.34	0.38	39.1	57.7
Longitud (cm)	17.6	2.61	0.29	12.0	22.0
No. Hileras	13.6	2.19	0.25	10.0	26.0
Granos/hilera	36.7	6.78	0.76	16.0	49.0
Peso total (g)	457.8	143.92	16.19	55.4	821.7
Peso del grano (g)	381.5	123.06	13.85	44.2	676.1
Chucuy y Olotillo					
Número	2.3	0.90	0.10	1.0	5.0
Diámetro (mm)	47.2	5.54	0.63	32.2	60.2
Longitud (cm)	17.3	3.21	0.36	9.0	25.0
No. Hileras	12.4	1.47	0.17	8.0	16.0
Granos/hilera	32.4	8.23	0.93	13.0	48.0
Peso total (g)	396.9	187.88	21.27	100.0	836.2
Peso del grano (g)	293.6	143.45	16.24	43.8	634.7
Tuxpeño					
Número	2.0	0.68	0.08	1.0	3.0
Diámetro (mm)	48.2	4.19	0.48	37.8	55.7
Longitud (cm)	16.7	3.25	0.37	8.0	24.0
No. Hileras	13.6	1.90	0.22	12.0	22.0
Granos/hilera	31.9	7.91	0.91	12.0	53.0
Peso total (g)	350.2	141.62	16.25	75.1	769.7
Peso del grano (g)	280.7	118.75	13.62	52.3	611.3

¹ Todos los datos están referidos a una mata de maíz, la cual puede estar compuesta de una o más plantas (ver Cuadro 12).

Cuadro 18. Rendimiento de maíz en la parcela sin cobertura de AVCC

Tratamientos	Rendimiento de maíz (kg ha-1)
Testigo	2 062.6
Micorriza	2 195.4
Foliar	2 146.5
Micorriza+Foliar	2 161.5

En la parcela con antecedente de cobertura hubo efecto significativo de Micorriza ($p=0.004$) y de la interacción Micorriza*Foliar ($p=0.018$) en altura de planta, con valores más altos con Micorriza que sin Micorriza, particularmente en la condición sin Foliar (Figura 1). Asimismo, se encontró una interacción marginalmente significativa ($p=0.051$) para la interacción Micorriza*Foliar en diámetro del tallo, con valores ligeramente más altos con Micorriza, y con Foliar, que en los otros tratamientos (Figura 2). Sin embargo, la concentración de P foliar fue mayor ($p=0.017$) sin Micorriza que con Micorriza, y hubo una interacción marginal ($p=0.069$) en la concentración de fósforo, con valores ligeramente más altos con Foliar que con Micorriza+Foliar (Cuadro 19). La presencia de fuertes precipitaciones en el ejido afectaron la aplicación y la absorción del foliar por la planta, además las lluvias se llevaron a su paso nutrientes del suelo depositándolos en las partes bajas de las parcelas, influyendo en el control que se tenía en los tratamientos.

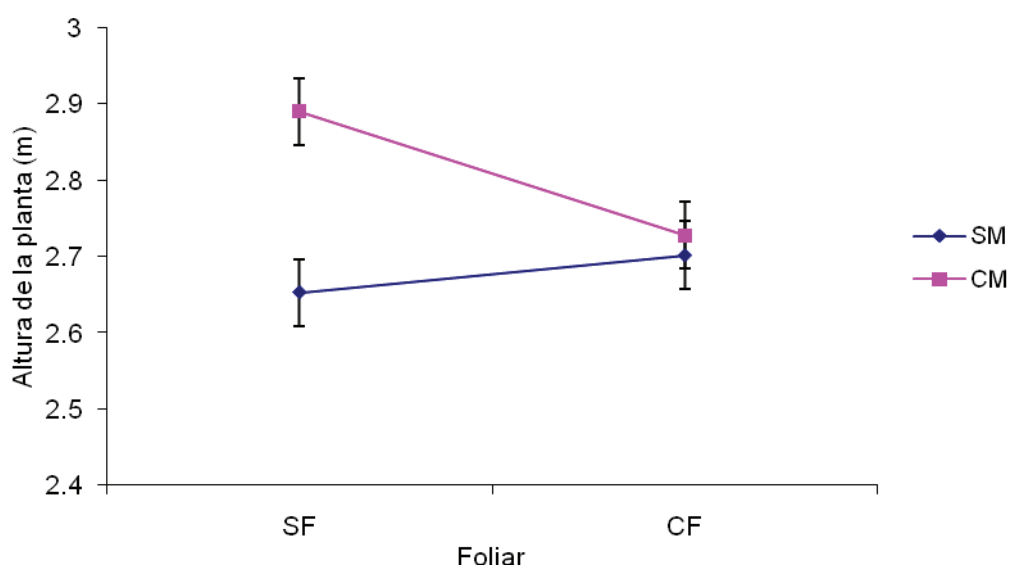


Figura 1. Interacción entre el tratamiento Micorriza y Foliar para la altura de la planta

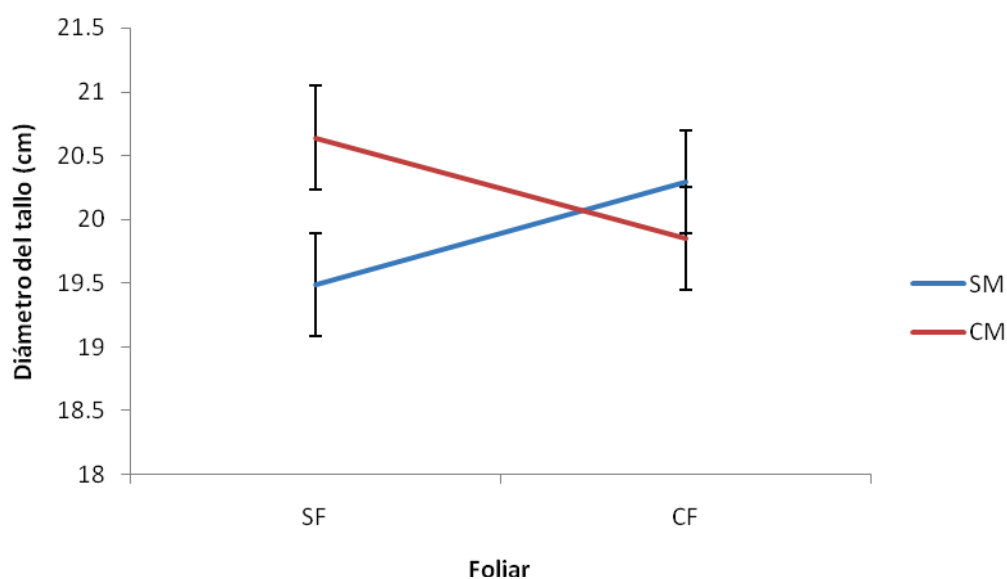


Figura 2. Interacción entre el tratamiento Micorriza y Foliar para el diámetro del tallo

El rendimiento de maíz en la parcela con cobertura de nescafé presentó diferencias estadísticamente significativas ($p=0.017$) entre tratamientos, los rendimientos más alto se observaron en los tratamientos testigo y micorrizas (2229.4 y 2101.7 kg ha^{-1} , respectivamente).

Cuadro 19. Valores medios del contenido nutrimental del follaje de maíz.

Condición	Contenido nutrimental		
	N (%)	P (%)	K (%)
AVCC			
Sin nescafé	2.23a	0.36 ^a	2.45 ^a
Con nescafé	1.97b	0.25b	2.42 ^a
Testigo	2.13a	0.31 ^a	2.42 ^a
Micorrizas	2.09a	0.29 ^a	2.39 ^a
Foliar	2.10a	0.32 ^a	2.51 ^a
Micorriza+foliar	2.08a	0.29 ^a	2.44 ^a

5.3 Relación costo beneficio de la producción de maíz

La rentabilidad económica de los sistemas agrícolas bajo el sistema convencional depende básicamente del costo de los fertilizantes e insumos químicos necesarios para el desarrollo del cultivo (Philipp y Gamboa, 2003); contrario al sistema orgánico, esta rentabilidad está en función de la mano de obra principalmente, así como de la elaboración y aplicación de biofertilizantes (HMA y biofermentos) mismos que se elaboran con insumos internos de la región.

La relación beneficio/costo que considera tanto el rendimiento como los costos de producción, utilizada en este trabajo como indicador de la rentabilidad económica en la producción de maíz con la aplicación de biofertilizantes fue de 1.35, ya que el productor obtuvo un ingreso total de \$10370.00 por la venta de su producción mientras que el costo de producción fue de \$7687.00 (Cuadro 20).

Esto indica que el sistema de la manera como se está manejando tiene ventajas económicas para el productor aparte de las ambientales que no fueron cuantificadas pero que son inherentes a los sistemas de producción orgánica.

Cuadro 20. Estructura de costo e ingreso total del sistema de producción Maíz criollo en la comunidad de Bella Ilusión en el municipio de Maravilla Tenejapa, Chiapas

Rubro	Unidad de Medida	Cantidad	Precio unitario	Total
Producción				
A. Ingreso total	\$/Kg	2074	5.00	10 370.00
Costos variable				
Preparación del terreno	Jornal	10	100.00	1 000.00
Compra de semilla de maíz	Kilogramos	12	10.00	120.00
Compra de inoculantes	Kilogramos	2	80.00	160.00
Siembra de maíz	Jornal	5	100.00	500.00
Aplicación de foliar	Jornal	4	200.00	800.00
Limpia del cultivo	Jornal	20	100.00	2 000.00
Dobla del maíz	Jornal	2	100.00	400.00
Cosecha de maíz	Jornal	12	100.00	1 200.00
Foliar	Litros	30	12.00	192.00
Costales	Pieza	50	10.00	500.00
Flete	Bultos	20	15.00	300.00
B. Costo total variable				7 172.00
Costos fijos				
Herramientas y equipo			Valor real	Amortización
Machete	Pieza	4	50.00	200.00
Lima	Pieza	8	15.00	120.00
Cubo para siembra	Pieza	4	100.00	40.00
Bomba	Pieza	1	650.00	130.00
Ánfora	Pieza	5	50.00	25.00
C. Costo fijo total				515.00
D. Costo total				7 687.00

6. Discusión

El efecto del antecedente de frijol nescafé (*Mucuna deeringiana* Merr.) sobre el número de plantas mata⁻¹ y la altura de las mismas se debe principalmente a que esta leguminosa proporciona N y favorece el desarrollo vegetativo de la planta. Es posible también que el beneficio observado en el maíz por la presencia de AVCC se deba a las raíces largas de

estas leguminosas, que les permite extraer nutrientes que incorporan en sus tejidos y que durante el proceso de descomposición son liberados y absorbidos por las raíces del maíz (Lathwell, 1990). Para el ciclo de cultivo 2009, el efecto del antecedente de cobertura y de la inoculación con Micorriza fue evidente en el rendimiento de maíz.

En cuanto al nivel de colonización, las diferencias observadas entre parcelas con y sin cobertura fueron mínimas, sin embargo se observó un alto porcentaje de colonización en general para las parcelas evaluadas lo cual manifiesta condiciones de suelo adecuadas para mantener la actividad biológica de este tipo de microorganismos y que los cultivos que se mantienen en las parcelas promueven el desarrollo de los mismos. Sorensen *et al.* (2005) mencionan que el uso de AVCC ha reportado incrementos en la colonización por HMA, debido a que la presencia de materia orgánica es fuente de energía para los organismos del suelo, de manera que cuanto mayor sea la producción de biomasa de los AVCC, mayor será la población microbiana del suelo. En este sentido, las parcelas de la Bella Ilusión en general presentan concentraciones importantes de materia orgánica.

Para el ciclo 2009 se observó un efecto positivo de la presencia de frijol nescafé sobre el rendimiento de maíz, el cual ha sido ampliamente documentado en otros trabajos. Al respecto, Burkles *et al.* (1999) reportaron que la rotación de abonos verdes con maíz incrementó los rendimientos del cultivo. En los Tuxtlas Veracruz se han alcanzado incrementos en el rendimiento de maíz de una tonelada por hectárea utilizando abonos verdes. Philipp (1998) reportó que con la cobertura de *Mucuna* el maíz mostró un incremento en su rendimiento de 1.29 t/ha con respecto al maíz sin la leguminosa como cobertura; así mismo, Philipp y Gamboa (2003) indican que la siembra de 32 kg/ha de semilla de *Mucuna* generó incrementos de 1.9 t/ha de maíz, mientras que al incrementar a 52 kg/ha el rendimiento se elevó a 2.4 t/ha. Dentro de los beneficios sobre la producción de maíz que se le atribuyen a los abonos verdes está la fijación de N, el incremento en la fertilidad del suelo, la liberación lenta de nutrientes a partir de su descomposición, el incremento en la disponibilidad de agua para el cultivo lo cual está relacionado con mayor retención de agua por el suelo y reducción de la evaporación, entre otros (Philipp y Gamboa, 2003). En el ciclo de cultivo 2010, en la parcela con el antecedente de cobertura de nescafé hubo más plantas por mata y éstas fueron más altas y con mayor diámetro de tallo, por lo que posiblemente hubo un efecto de dilución de N.

La inoculación con HMA promovió un mayor rendimiento de maíz en la mayoría de las parcelas evaluadas en el ciclo de cultivo 2009, esto se debe principalmente a que los HMA no sólo mejoran la nutrición de P, sino también favorecen una mayor capacidad para translocar N del suelo para que sea asimilado por la planta (Alarcón et al., 2001). Así mismo, la hifa externa de los HMA pueden absorber y translocar otros elementos como K, Ca, Mg, Si, Cu, Zn, B y Fe como lo demuestran algunas evidencias (Nakano *et al.*, 2001) repercutiendo en el rendimiento del grano.

En cuanto a la relación beneficio-costos, el sistema de producción evaluado demuestra que el cultivo de maíz es rentable porque no se ve afectado por los altos precios que tienen actualmente los fertilizantes químicos y demás productos que bajo la agricultura convencional tendrían que ser aplicados para lograr la producción de maíz. Por el contrario, los costos de producción tanto del inóculo como del biofermento están muy por debajo de productos de síntesis química, además de los beneficios que confieren al suelo, al ambiente y al productor.

7. Conclusiones

El uso de AVCC es una opción viable ambiental y económicamente para aportar nutrimentos, carbono orgánico y mejorar las propiedades de los suelos. Además de sus efectos sobre la actividad microbiana del suelo específicamente al incrementar la colonización por HMA. La inoculación con HMA favoreció el incremento en el rendimiento de maíz en las parcelas evaluadas.

La fertilización orgánica foliar no tuvo un efecto con significancia estadística, no obstante que en varias parcelas los rendimientos de maíz obtenidos en dicho tratamiento fueron superiores al obtenido en el testigo.

CAPÍTULO VIII

DIVERSIDAD DE HONGOS MICORRÍVICOS ARBUSCULARES ASOCIADOS AL CULTIVO DE MAÍZ, EN CHIAPAS, MÉXICO

VIII. DIVERSIDAD DE HONGOS MICORRÍCICOS ARBUSCULARES ASOCIADOS AL CULTIVO DE MAÍZ, EN CHIAPAS, MÉXICO

1. Resumen

El presente trabajo tuvo como objetivo conocer la densidad, abundancia y diversidad de especies de hongos micorrícicos arbusculares (HMA) asociadas al cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en parcelas que han sido manejadas con bajos ingresos de insumos externos y evaluar su respuesta a la aplicación de abono verde/cultivo de cobertura (AVCC) y biofertilizantes. El trabajo se realizó en siete parcelas de productores de maíz, de las cuales tres han sido manejadas con frijol nescafé (*Mucuna deeringiana* Merr.) como AVCC y cuatro sin dicho antecedente de manejo. En cada una de las parcelas se establecieron cuatro tratamientos de biofertilización: 1) inoculación con micorriza arbuscular, 2) aplicación de fertilizante orgánico foliar, 3) inoculación con micorriza + fertilizante orgánico foliar, y 4) testigo, los cuales se ordenaron bajo un diseño de bloques completos al azar con siete repeticiones. En total se identificaron 23 morfoespecies, de las cuales 14 se llevaron a nivel de especie, siendo *Glomus* y *Acaulospora* los géneros predominantes. El número de especies con AVCC superó en 50% al obtenido sin AVCC. En las parcelas con AVCC se encontró el 91.3% de morfo-especies de HMA, mientras que en las parcelas sin AVCC el 60.9%. El porcentaje de colonización micorrícica no varió significativamente ($p=0.7630$) entre parcelas con y sin AVCC, sin embargo el nivel de colonización fue más alto con inoculación de micorrizas (86.6%) que en el testigo (71%). Se concluye que el AVCC y la inoculación con micorrizas tuvieron un efecto positivo en la diversidad de especies de HMA y en la colonización de la raíz, respectivamente.

PALABRAS CLAVE: Micorriza arbuscular, biodiversidad, *Mucuna deeringiana*, *Zea mays*, agricultura orgánica

2. Abstract

The present work was conducted with the objective of know the density, abundance and diversity of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) associated with maize (*Zea mays* L.) in plots that have been managed with low incomes of external inputs green manure/cover crop

(AVCC) and biofertilizers. The work was conducted in seven farmer plots with maize crop, of which three have been managed with nescafe bean (*Mucuna deeringiana* Merr.) as AVCC and four without such antecedent of managing. In each plot were established four treatments of biofertilization: 1) inoculation with AMF, 2) foliar application of organic fertilizer, 3) mycorrhizal inoculation with foliar organic fertilizer, and 4) control, which were ordered under a randomized complete block design with seven replications. In total we identified 23 morphospecies, 14 of which were carried at level of species, being *Glomus* and *Acaulospora* the dominant genera. The number of species in plots with AVCC was 50% higher than without AVCC. In the plots with AVCC was found 91.3% of morphospecies of AMF, while in plots without AVCC the 60.9%. The percentage of mycorrhizal colonization was not significantly different ($p=0.7630$) between plots with and without AVCC, but the colonization level was higher with mycorrhizal inoculation (86.6%) than in the control (71%). We conclude that AVCC and inoculation with mycorrhizae had a positive effect on species diversity of AMF and root colonization, respectively.

KEY WORDS: Arbuscular mycorrhiza, biodiversity, *Mucuna deeringiana*, *Zea mays*, organic agriculture

3. Introducción

La micorriza arbuscular (MA) es la simbiosis mutualista que se establece entre hongos del phylum *Glomeromycota* y la mayoría de plantas vasculares (Schübler *et al.* 2001), es de gran importancia en los sistemas agrícolas (Gosling *et al.* 2006), y tiene capacidad de incrementar la absorción de nutrientes poco móviles, principalmente fósforo (P) (Sanders & Tinker 1971; Nakano *et al.* 2001). Además, la MA confiere a la planta otros beneficios, tales como: estimulación del crecimiento, resistencia al ataque de plagas y enfermedades, tolerancia a estrés hídrico, y contribuye a mejorar la estructura del suelo (Bethlenfalvay & Linderman 1992).

La taxonomía de hongos micorrícicos arbusculares (HMA) se basa en caracteres discretos de la estructura subcelular de las esporas (Morton & Betivenga 1994). Schübler (2006) clasificó los HMA en 10 géneros con aproximadamente 193 especies descritas. A pesar que la información sobre diversidad de HMA en ecosistemas naturales y manejados

es escasa, existen evidencias de que ésta podría ser mayor que la reportada (Opik *et al.* 2008). Borstler *et al.* (2006) estimaron que en el mundo podría haber 1250 especies de HMA. No obstante, existe controversia de cómo cambia la diversidad de HMA en ecosistemas naturales que son transformados en agroecosistemas (Sieverding 1991). Hendrix *et al.* (1995) mencionaron que la composición de especies de HMA puede ser explicada en respuesta a cambios en la comunidad de plantas debido a la naturaleza obligada de los simbioses.

En sistemas agrícolas, las prácticas que se realizan afectan a las poblaciones de HMA, la composición de especies y la colonización micorrízica (Kurkle & Pflieger 1994; Schalamuk *et al.* 2006), de manera que la diversidad de estos hongos puede sufrir alteraciones por el manejo agrícola intensivo (Oehl *et al.* 2004; Lovera & Cuenca 2007). El manejo adecuado de rotaciones de cultivos micotróficos afecta positivamente la colonización y la producción de esporas (Bethlenfalvay 1991). El uso de leguminosas como abono verde/cultivo de cobertura (AVCC) protege al suelo y aporta nutrientes que contribuyen al crecimiento, desarrollo y rendimiento del maíz (Philip & Gamboa 2003; Ayala-Sánchez *et al.* 2009), y podría incrementar el número de esporas de HMA, especialmente del género *Glomus* (Blanco y Gutiérrez, 1998). Otra estrategia para optimizar el uso de HMA en la agricultura es la inoculación de la semilla con cepas seleccionadas (Sieverding 1986), aún cuando puede presentarse la competencia entre cepas nativas e introducidas, alterando la acción de éstas (Allen & Boosalis 1983), con sus posibles efectos sobre la diversidad de HMA presentes en el suelo.

El maíz (*Zea mays* L.) es la especie cultivada con más amplia distribución en México en donde cumple una función de gran importancia en el suministro alimentario familiar y se encuentra muy ligada a la cosmovisión de los pueblos indígenas (Ayala-Sanchez *et al.*, 2009). Esta especie ha sido catalogada como una planta micotrófica facultativa que responde a la presencia de HMA en suelos con bajo o moderado nivel de fertilidad (Gavito & Varela, 1995; Gavito & Miller, 1998); aunque también se ha observado que el grado de dependencia micotrófica en suelos con bajo nivel de fósforo varía ampliamente entre variedades de maíz (Khalil *et al.* 1994).

La importancia socio-cultural del cultivo de maíz y la difícil situación en la que se encuentra la agricultura campesina debido al incremento del costo de los fertilizantes, entre

otros factores, plantea la necesidad de encontrar alternativas agroecológicas que mejoren la calidad del suelo, la producción del cultivo y la productividad del trabajo. En el estado de Chiapas, algunos campesinos están incorporando nuevas prácticas agrícolas que les permita asegurar el suministro alimentario familiar, mejorar el ambiente ecológico y alcanzar un crecimiento económico. Entre los procesos de innovación agroecológica que están siendo impulsados en el cultivo de maíz se encuentra el manejo de AVCC, la aplicación de abonos orgánicos líquidos y la inoculación de micorrizas arbusculares. La comprensión del efecto de estas prácticas agronómicas sobre la riqueza de especies y la composición de la comunidad de HMA podría contribuir en la identificación de estrategias de manejo que optimicen los beneficios de la MA en la producción de este cultivo básico. Por lo tanto, el presente trabajo tuvo como objetivo conocer la densidad, abundancia y diversidad de especies de HMA asociadas al cultivo de maíz en parcelas que han sido manejadas con bajos ingresos de insumos externos y evaluar su respuesta a la aplicación de AVCC (*Mucuna deeringiana* Merr.) y biofertilizantes (micorrizas y fertilizante orgánico foliar).

4. Materiales y métodos

El trabajo se realizó en el ciclo agrícola primavera-verano de 2009 bajo condiciones de campo en el Ejido La Bella Ilusión, Municipio de Maravilla Tenejapa, en el estado de Chiapas, México, el cual se encuentra ubicado a 16°08'20" de latitud norte, 91°17'44" de longitud oeste, y a una altitud media de 400 msnm. El clima es Am(f) cálido húmedo con lluvias en verano y precipitación media anual de 2220 mm (COMAR 2001). La vegetación natural corresponde a selva alta perennifolia, que se alterna con parches de vegetación secundaria (acahuales), pastizales, y cultivos anuales y perennes. Los suelos en la clasificación FAO/UNESCO corresponden a Leptosoles réndzico y lítico, Luvisol crómico y Acrisol pélico.

El estudio se condujo con la participación de un grupo de productores que trabajan bajo un esquema de agricultura orgánica desde hace 7 años aproximadamente. Dentro de las prácticas agrícolas que han incorporado se encuentra la siembra de frijol nescafé (*Mucuna deeringiana* Merr.) como AVCC, el cual una vez que ha alcanzado su máximo crecimiento se roza y pica, y se incorpora al suelo previo a la siembra del maíz. Asimismo, cuentan con un módulo de propagación de hongos micorrízicos de donde obtienen el biofertilizante

(constituido por *Glomus geosporum*, *G. intraradices*, *G. claroideum*, *Acaulospora morrowiae* y *A. scrobiculata*) que agregan a la semilla de maíz previo a su siembra; y un módulo de producción de fertilizante orgánico foliar que ellos mismos elaboran mediante un proceso de fermentación anaeróbica a base de leche, estiércol, melaza, ceniza y hojas del frijol nescafé, el cual es aplicado por aspersión en dos o tres ocasiones durante el crecimiento vegetativo del maíz.

Se eligieron siete parcelas, de las cuales tres han sido manejadas con frijol nescafé y cuatro sin dicho antecedente de manejo. Las dimensiones de las parcelas fueron de aproximadamente 1500 m² en las que se sembraron variedades de maíz criollo obtenidas de cosechas anteriores. Cada una de las parcelas fue dividida en cuatro unidades experimentales en las que se aplicaron cuatro tratamientos: 1) inoculación con micorrizas arbusculares, 2) aplicación de fertilizante orgánico foliar, 3) inoculación con micorriza + fertilizante orgánico foliar, y 4) testigo, los cuales se ordenaron bajo un diseño de bloques completos al azar con siete repeticiones. Antes de la siembra se realizó un muestreo de suelos a 20 cm de profundidad con 15 sub-muestras que se mezclaron para formar una muestra compuesta en cada una de las parcelas para determinar sus propiedades físicas y químicas. Los suelos presentaron textura arcillosa: arena (22%), limo (22%) y arcilla (56%); y sus principales atributos físicos y químicos se presentan en el Cuadro 21.

Las semillas de maíz fueron inoculadas con el biofertilizante micorrícico sólido producido por los mismos productores del ejido, el cual presentó 92.3 ± 45.6 esporas/10 g de sustrato y raíces finas con $84.0 \pm 9.6\%$ de colonización micorrícica. Para la inoculación 1 kg de semillas de maíz se humedeció con aproximadamente 100 ml de agua, estas fueron peletizadas con 0.250 kg de inóculo micorrícico y se dejaron secar por toda una noche. Al siguiente día se sembraron en los tratamientos Micorriza y Micorriza+Foliar evitando la exposición directa al sol. El fertilizante foliar contenía 29.3% de materia orgánica, 2.07% de nitrógeno y 0.59% de fósforo. Este se aplicó en dos ocasiones con mochila tipo aspersor en dosis de 0.500 L para cada parcela.

Las parcelas tuvieron diferente composición y estructura vegetal (Cuadro 22), tales como: la presencia o no de sistemas agroforestales de maíz con árboles frutales y maderables, así como la asociación y rotación con cultivos de cobertura como frijol común (*Phaseolus vulgaris*), calabaza (*Cucurbita* sp.) y nescafé (*Mucuna* sp.).

Cuadro 21. Características físicas y químicas del suelo en parcelas con y sin AVCC

Parcela	AVCC	DA (g/ml)	pH	MO (%)	N total (%)	P (mg/kg)	CIC (cmol/kg)
El cerro	No	1.00	6.0	8.9	0.48	8.9	82.1
El aguacate	Sí	0.94	6.4	7.6	0.41	12.7	83.1
La Y	Sí	0.93	6.3	6.6	0.33	5.6	79.2
La Y (2)	No	0.95	6.6	6.6	0.33	8.0	65.8
Las ruinas	Sí	1.03	6.5	6.0	0.30	5.3	82.7
La curva	No	0.95	6.5	11.9	0.63	11.2	81.5
El cedro	No	0.97	6.3	9.6	0.55	16.6	81.2

AVCC=Abono verde/cultivo de cobertura, DA=densidad aparente (probeta), MO=materia orgánica (Walkley y Black), N total=nitrógeno total (microKjeldahl), P=fósforo extraíble (Olsen), CIC=capacidad de intercambio de cationes (acetato de amonio 1N, pH 7).

Cuadro 22. Características de las parcelas evaluadas en el Ejido La Bella Ilusión

Composición	Parcelas						
	El cerro	El aguacate	La Y	La Y (2)	Las ruinas	La curva	El cedro
Variedad de maíz	Pinul	Jarocho	Chucuy, Jarocho	Tacsa	Olotillo blanco	Chucuy, Olotillo blanco	Tuxpeño
Años de descanso	8	1	No	1	No	2	3 – 4
Años en cultivo	1	4	15	3	6	12	2
Otros cultivos	No	No	Frijol, calabaza	No	Frijol	Plátano, lima, toronja, frijol, cedro	Frijol, cedro

Para la identificación morfológica de las especies de HMA, a los 90 días después de la siembra (dds) (10 de agosto de 2011) se recolectó una muestra compuesta de suelo rizosférico (formada por 15 submuestras) para cada uno de los tratamientos establecidos en cada parcela, así como de raíces finas de plantas de maíz en estadio de floración para determinar el porcentaje de colonización del HMA. Las raíces fueron aclaradas con KOH y H₂O₂, y teñidas con azul tripano en lactoglicerol (Phillips & Hayman 1970). El porcentaje de colonización micorrízica se determinó en segmentos de raíces finas con un microscopio compuesto (100x) en tres campos visuales equidistantes sobre cada segmento y se registró la presencia o ausencia de estructuras micorrízicas como hifas, vesículas, arbusculos y esporas (Giovannetti & Mosse 1980). La extracción de esporas se realizó en muestras de 50 g de suelo rizosférico por el método de tamizado y decantación en húmedo con centrifugación en gradiente de sacarosa (50% m/v) (Gerdemann & Nicolson 1963). Del total de esporas aisladas se tomó una muestra de 420 esporas, estas esporas fueron clasificadas por morfotipos de acuerdo a su tamaño y color con un microscopio estereoscópico; y fueron montadas en portaobjetos utilizando polivinil lactoglicerol (PVLG) y PVLG+reactivo Melzer (1:1 v/v) (Morton 1988) y observadas con un microscopio compuesto para diferenciar las características de sus paredes (grosor, color, ornamentaciones, reacción con Melzer), y de la hifa (presencia, forma, tamaño), colocándose 5 esporas para cada reactivo de montaje. La determinación taxonómica se realizó mediante el manual de Schenk & Pérez (1990) y la consulta de la página de Internet de The International Culture Collection of Arbuscular Mycorrhizal Fungi - INVAM (<http://invam.caf.wvu.edu>).

La densidad de esporas se expresó como el número total de esporas presentes en 50 g de suelo rizosférico. La abundancia relativa se obtuvo como el número de esporas de un morfotipo o especie sobre el total de esporas aisladas multiplicado por 100. La riqueza se obtuvo como el número de especies, y para el cálculo del índice de diversidad, se consideró el método propuesto por Shannon-Weaver (H') (Shannon & Weaver 1949) calculado con la siguiente fórmula: $H' = - \sum p_i \ln p_i$, siendo p_i el número de esporas de un morfotipo dividido entre el total de esporas aisladas.

Para evaluar el efecto del antecedente de cobertura (AVCC) y de la biofertilización sobre la densidad de esporas, la abundancia y diversidad de HMA, y el porcentaje de

colonización micorrícica, se aplicó un análisis de varianza factorial con el antecedente de cobertura (parcelas con y sin AVCC) y tratamientos de biofertilización (Micorriza y Foliar) como factores principales, en el cual se incluyó la interacción Micorriza*Foliar. Se utilizó un nivel de probabilidad de 0.05 para definir los valores de significancia. Este análisis se realizó con el software InfoStat v. 2008 (Di Rienzo *et al.* 2008), mientras que para el índice de diversidad (índice de Shannon-Weaver (H')) se utilizó el software FDiversity 2008 (Casanoves *et al.* 2008). Se utilizó la prueba de comparación de medias de Tukey ($p < 0.05$).

5. Resultados

5.1 Composición taxonómica de hongos micorrícicos arbusculares en las parcelas estudiadas

En el conjunto de muestras de suelo rizosférico analizadas se identificaron 23 morfoespecies de las cuales 14 se llevaron a nivel de especie (Cuadro 23, Figura 3). Los géneros *Glomus* y *Acaulospora* fueron más abundantes con 11 y 8 morfoespecies, respectivamente; mientras que *Entrophospora*, *Gigaspora* e *Intraspora* fueron menos comunes con solo una especie cada uno (Figura 3). Las especies con mayor dominancia relativa fueron *G. geosporum*, *G. claroideum* y *A. scrobiculata* (30.0, 26.2 y 12.6% respectivamente).

La densidad de esporas de HMA varió de 45 a 181 (en promedio) por 50 g de suelo en las parcelas estudiadas. Es de hacer notar que la parcela “El Cerro” es un terreno que estuvo en descanso por 8 años, abriéndose de nuevo al cultivo este año, y presentó un alto número de esporas (131 esporas/50 g de suelo, media de 4 repeticiones) comparado con las otras parcelas (45 a 121 esporas/50 g de suelo, media de 4 repeticiones) excepto con la parcela “el Aguacate” que tuvo el valor más alto (181 esporas/50 g de suelo, media de 4 repeticiones); sin embargo, en la parcela “El Cerro” el número de especies de HMA fue bajo (8 especies/50 g de suelo, total de 4 repeticiones) comparado con las parcelas “El Aguacate” y “La Y” que tuvieron antecedente de frijol nescafé y se han cultivado por 4 y 15 años consecutivos, respectivamente, las cuales presentaron el mayor número de especies (13 y 16 especies/50 g de suelo, total de 4 repeticiones) de HMA. Por el contrario, la parcela “El Cedro” en donde se introdujeron plántulas de cedro presentó el menor número de esporas y de especies de HMA (45 esporas y 6 especies/50 g de suelo, media y total de 4 repeticiones) (Cuadro 24).

Cuadro 23. Especies y morfoespecies de HMA encontradas en la rizosfera de maíz

Especies y morfoespecies	Número de esporas	Abundancia relativa (%)
1. <i>G. claroideum</i> (Schenck & Smith)	110	26.2
2. <i>G. aff. Claroideum</i>	2	0.5
3. <i>G. Geosporum</i> [(Nicol. & Gerd.) Walker]	126	30.0
4. <i>G. intraradices</i> (Schenck & Smith)	18	4.3
5. <i>G. aff. Lamellosum</i>	6	1.4
6. <i>G. luteum</i> (Kenn, Stutz & Morton)	27	6.4
7. <i>G. aff. Luteum</i>	7	1.7
8. <i>G. sinuosum</i> (antes <i>Sclerocystis sinuosa</i>) Gerd & Bakshi	7	1.7
9. <i>G. verruculosum</i> (Blaszk.)	2	0.5
10. <i>G. sp.</i>	4	0.9
11. Aff. <i>Glomus</i>	5	1.2
12. <i>A. aff. Denticulata</i>	2	0.5
13. <i>A. excavata</i> (Ingleby and Walker sp. nov.)	4	0.9
14. <i>A. mellea</i> (Spain & Schenck)	5	1.2
15. <i>A. morrowiae</i> (Spain & Schenck)	4	0.9
16. <i>A. aff. Morrowiae</i>	1	0.2
17. <i>A. spinosa</i> (Walker & Trappe)	24	5.7
18. <i>A. scrobiculata</i> (Trappe)	53	12.6
19. <i>A. aff. Scrobiculata</i>	2	0.5
20. <i>E. infrequens</i> (Hall) Ames & Schneider	3	0.7
21. <i>Gi. gigantea</i> [(Nicol. & Gerd.) Gerd. & Trappe]	4	0.9
22. <i>I. shenckii</i> (antes <i>Entrophospora shenckii</i>) [(Sieverd. & S. Toro) Oehl & Sieverd]	2	0.5
23. <i>I. aff. Shenckii</i>	2	0.5
TOTAL	420	100

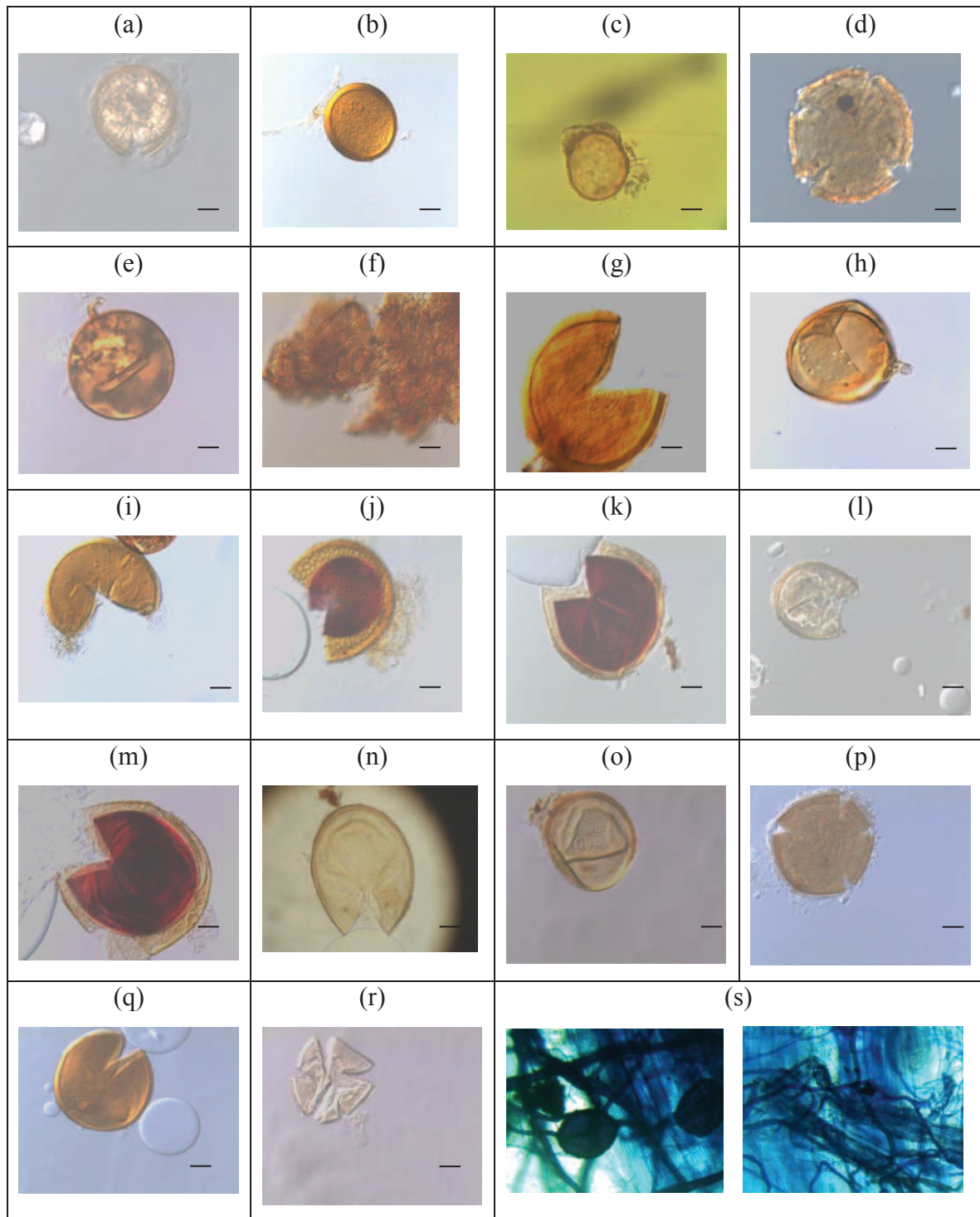


Figura 3. Hongos micorrícicos del Ejido La Bella Ilusión, Maravilla Tenejapa, Chiapas. a) *G. claroideum*, b) *G. geosporum*, c) *G. intraradices*, d) *G. aff. lamellosum*, e) *G. luteum*, f) *G. sinuosum*, g) *G. verruculosum*, h) *Glomus* sp., i) aff. *Glomus*, j) *A. excavata*, k) *A. mellea*, l) *A. aff. morrowiae*, m) *A. spinosa*, n) *A. scrobiculata*, o) *A. aff. scrobiculata*, p) *E. infrequens*, q) *Gigaspora gigantea*, r) *I. shenckii*, s) Vesículas e hifas en raíces de maíz. Escala de las esporas: 30 μ m.

Cuadro 24. Morfo-especies de HMA encontradas en las parcelas estudiadas.

Parcelas	El aguacate	La Y	La Y(2)	Las ruinas	La curva	El cedro
<i>Glomus sp.</i>	<i>aff. Glomus</i>	<i>Glomus sp.</i>	<i>G. claroideum</i>	<i>aff. Glomus</i>	<i>Glomus sp.</i>	<i>G. claroideum</i>
<i>G. claroideum</i>	<i>G. claroideum</i>	<i>aff. Glomus</i>	<i>G. geosporum</i>	<i>G. claroideum</i>	<i>G. claroideum</i>	<i>G. geosporum</i>
<i>G. geosporum</i>	<i>G. aff. claroideum</i>	<i>G. claroideum</i>	<i>G. aff. lamellosum</i>	<i>G. geosporum</i>	<i>G. geosporum</i>	<i>G. intrarradices</i>
<i>G. intrarradices</i>	<i>G. geosporum</i>	<i>G. geosporum</i>	<i>G. luteum</i>	<i>G. intrarradices</i>	<i>G. aff. lamellosum</i>	<i>G. sinuosum</i>
<i>G. luteum</i>	<i>G. aff. lamellosum</i>	<i>G. luteum</i>	<i>G. verruculosum</i>	<i>A. morrowiae</i>	<i>G. luteum</i>	<i>A. spinosa</i>
<i>A. morrowiae</i>	<i>G. luteum</i>	<i>G. aff. luteum</i>	<i>A. aff. denticulata</i>	<i>A. aff. morrowiae</i>	<i>G. sinuosum</i>	<i>A. scrobiculata</i>
<i>A. spinosa</i>	<i>G. aff. luteum</i>	<i>G. sinuosum</i>	<i>A. excavata</i>	<i>A. spinosa</i>	<i>A. aff. denticulata</i>	
<i>A. scrobiculata</i>	<i>A. mellea</i>	<i>A. excavata</i>	<i>A. spinosa</i>	<i>A. scrobiculata</i>	<i>A. mellea</i>	
	<i>A. morrowiae</i>	<i>A. mellea</i>	<i>A. scrobiculata</i>	<i>E. infrequens</i>	<i>A. spinosa</i>	
	<i>A. scrobiculata</i>	<i>A. morrowiae</i>	<i>Gi. gigantea</i>		<i>A. scrobiculata</i>	
	<i>Gi. gigantea</i>	<i>A. spinosa</i>				
	<i>I. shenckii</i>	<i>A. scrobiculata</i>				
	<i>I. aff. shenckii</i>	<i>A. aff. scrobiculata</i>				
		<i>E. infrequens</i>				
		<i>Gi. gigantea</i>				
		<i>I. shenckii</i>				

5.2. Efecto de AVCC y biofertilizantes sobre la densidad, riqueza y diversidad de especies de HMA y colonización de la raíz

La densidad de esporas y el porcentaje de colonización micorrícica no variaron con significancia estadística entre parcelas con y sin AVCC ($p=0.33$ y $p=0.73$); no obstante, se observó que el número de esporas fue cerca de 30% más alto en parcelas con AVCC. El AVCC tuvo un efecto positivo y altamente significativo ($p<0.01$) sobre la riqueza de especies y el índice de diversidad. El efecto de Micorriza fue significativo ($p=0.043$) sobre el porcentaje de colonización micorrícica y no tuvo una influencia significativa sobre el número de esporas, la riqueza de especies y el índice de diversidad. Se observó una interacción significativa ($p=0.010$) Micorriza*Foliar para el porcentaje de colonización micorrícica (Cuadro 25). El número de especies con AVCC superó en 50% al obtenido sin AVCC. En las parcelas con AVCC se encontró 91.3% del total de las morfo-especies identificadas de HMA, mientras que en las parcelas sin AVCC el 60.9%. El índice de diversidad en parcelas con AVCC fue 34.4% más alto que sin AVCC. El porcentaje de colonización micorrícica de maíz fue más alto con Micorriza (80.3%) que sin Micorriza (73.3%) (Cuadro 26). La interacción Micorriza*Foliar se debió a la ausencia de efecto de la micorriza cuando se aplicó el abono orgánico foliar (Figura 4). Es de hacer notar que *E. infrequens*, *I. shenckii* y aff. *Glomus* (Figura 3p, r, i) fueron observados únicamente en parcelas con AVCC; mientras que *G. verruculosum* (Figura 3g) se encontró en una parcela sin AVCC. *G. claroideum*, *G. geosporum* y *A. scrobiculata* (Figura 3a, b, n) estuvieron presentes en los cuatro tratamientos de biofertilización evaluados de todos los sitios; sin embargo *G. sinuosum* y *G. verruculosum* (Figura 3f, g) se observaron solo en donde no se inoculó con HMA. Estudios adicionales son necesarios para confirmar si la introducción de cepas alóctonas desplaza a las cepas nativas.

Cuadro 25. Significancia estadística de los factores evaluados sobre la densidad de esporas, riqueza y diversidad de especies y el porcentaje de colonización micorrízica.

Factores	Número de esporas /50 g de suelo	Riqueza de especies de HMA	Índice de diversidad (H)	Colonización micorrízica
AVCC	0.333	0.003	0.003	0.722
Micorriza	0.319	0.176	0.269	0.043
Foliar	0.960	0.257	0.342	0.345
Micorriza * Foliar	0.415	0.818	1.000	0.010

Cuadro 26. Efecto de los factores evaluados sobre la densidad de esporas, riqueza y diversidad de especies de HMA y el porcentaje de colonización (valores medios±error estándar)

Factores	Número de esporas /50 g de suelo	Riqueza de especies de HMA	Índice de diversidad (H)	Colonización micorrízica
Abono verde				
Sin	94.6(±18.57)a*	4.3(±0.41)b	1.2(±0.08)b	77.4(±2.16)a
Con	122.7(±21.44)a	6.3(±0.47)a	1.6(±0.09)a	76.3(±2.49)a
Micorriza				
Sin	94.4(±19.96)a	4.9(±0.44)a	1.4(±0.09)a	73.3(±2.32)b
Con	122.9(±19.96)a	5.7(±0.44)a	1.5(±0.09)a	80.3(±2.32)a
Foliar				
Sin	107.9(±19.96)a	5.6(±0.44)a	1.5(±0.09)a	78.4(±2.32)ab
Con	109.4(±19.96)a	4.9(±0.44)a	1.4(±0.09)a	75.3(±2.2)ab

* Los valores con diferente letra, para efectos principales de cada factor, difieren significativamente ($p < 0.05$).

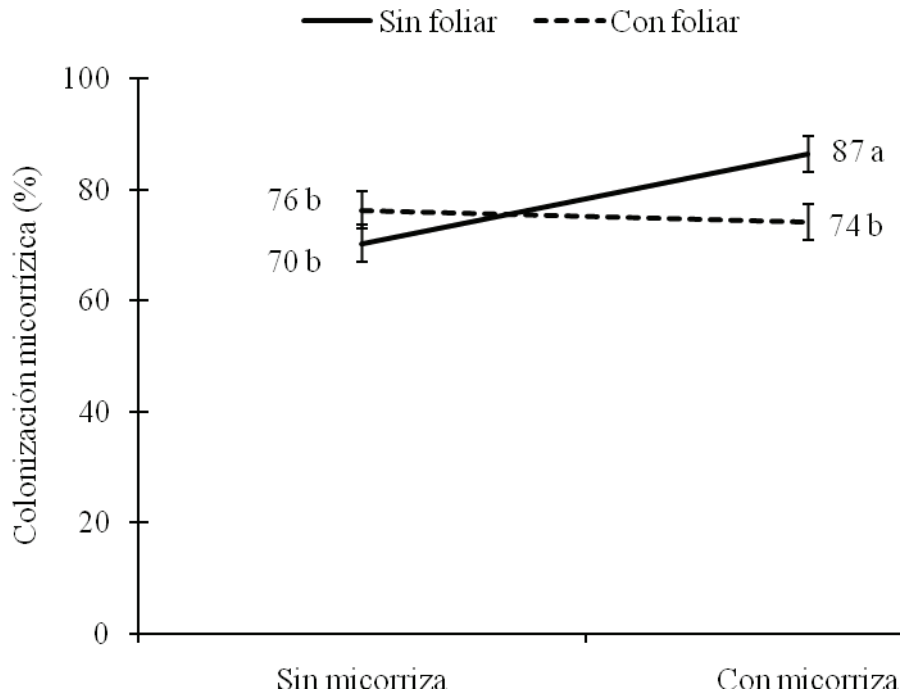


Figura 4. Efecto de la aplicación de micorrizas y fertilizante orgánico foliar sobre el porcentaje de colonización de la raíz de maíz. Las barras indican el error estándar de las medias (n=7). Letras diferentes indican diferencias significativas (Tukey, $p < 0.05$).

6. Discusión

En las parcelas estudiadas se encontraron 23 morfo-especies de HMA asociados a la rizosfera de maíz. El número de especies de HMA encontradas en este estudio es similar al reportado por Serralde & Ramírez (2004) en suelos ácidos del Piedemonte Llanero en Colombia, quienes encontraron 24 morfotipos de HMA asociados a maíz fertilizado con abonos orgánicos (gallinaza) y abonos verdes (Caupí); Mathimaran et al. (2007) identificaron 18 especies de HMA pertenecientes a los géneros *Acaulospora*, *Gigaspora* y *Scutellospora* en maíz con rotación de *Crotalaria* sp. cultivado en un suelo Ferralsol con mayor acidez ($pH=5.0$) que los suelos de las parcelas experimentales de este estudio. En otros estudios se registra un menor número de especies, tal es el caso de Carrenho et al. (2002) quienes registraron 14 especies de HMA en un experimento conducido en macetas de plástico con arena de cuarzo e inoculado con un concentrado de esporas de HMA que fue aislado del suelo de una parcela cultivada con maíz. Oehl et al. (2003) encontraron baja diversidad de HMA en monocultivos continuos de maíz con altos insumos, comparada con la observada en sitios cultivados por 7 años con rotación y aplicación moderada de insumos. Se estima que los monocultivos de maíz contienen entre 5 a 18 especies de HMA, lo cual está relacionado con diferentes prácticas agrícolas (Oehl et al. 2004; Jefwa et al. 2006).

El alto número de morfo-especies encontrado en el presente trabajo puede deberse al historial de manejo que han tenido estos terrenos, a una agricultura de bajos insumos y al momento en que se realizó la cuantificación de esporas. Al respecto, Oehl *et al.* (2004) encontraron que esporas de especies diferentes al género *Glomus*, como la mayoría de especies de *Acaulospora*, así como *Entrophospora infrequens*, estuvieron presentes únicamente en parcelas bajo el sistema de manejo orgánico y no bajo manejo convencional. Estos autores sugirieron que algunas especies de HMA, especialmente *Acaulospora* spp., encuentran un nicho ecológico en suelos de sistemas orgánicos y que puede estar relacionado con el bajo nivel de P disponible en esos suelos. Asimismo, se ha observado que en cultivos trampa bajo luz natural y temperatura ambiental se presenta una estacionalidad y/o patrón de sucesión en la esporulación de los HMA, las especies de *Glomus* son las primeras en esporular, mientras que especies de *Acaulospora* lo hacen después del periodo invernal y las especies de *Scutellospora* esporulan solo entre octubre y diciembre, así como *Gi. gigantea* (Oehl *et al.* 2004).

La diversidad taxonómica es una medida de las especies de HMA presentes en el suelo, la cual puede ser afectada por las prácticas agrícolas así como por el cultivo de especies no micotróficas y el establecimiento de monocultivos, sin embargo la pérdida o disminución de la diversidad taxonómica tiene también un importante impacto sobre la diversidad funcional de los HMA (Sasvári *et al.* 2011).

Los índices de Shannon-Weaver obtenidos en las parcelas estudiadas (1.22 a 1.64) son altos, comparados con los de Shannon-Wiener reportados por Serralde & Ramírez (2004) en maíz bajo diferentes tratamientos (0.78 a 0.91) y en diferentes años (0.88 a 1.01) y a los reportados por Collins *et al.* (1991) en cultivos de maíz y soya (entre 0.42 y 1.59) para dos localidades de Estados Unidos (Waseca y Lambertton).

El efecto positivo del AVCC sobre la riqueza de especies de HMA y el índice de diversidad, observado en este estudio, se debe principalmente a que estos mejoran la actividad biológica del suelo (Crews & Peoples 2004). Se ha reportado que el uso de leguminosas como cobertura, incrementa la población nativa de HMA de dos a tres veces (Deguchi *et al.* 2007) influyendo en la riqueza de especies y en su diversidad. Blanco y Gutiérrez (1998) mencionan que *Mucuna* sp. incrementó las poblaciones de esporas del género *Glomus* principalmente. Sancho & Cervantes (1996) reportan que *Mucuna* sp. al ser una planta altamente competitiva modifica la composición florística del agroecosistema, influyendo en la composición de especies de HMA (Blanco y Gutiérrez 1998).

En los estudios sobre diversidad de HMA se pueden detectar especies dominantes o generalistas. Los resultados obtenidos parecen indicar que de todas las especies identificadas *G. geosporum* y *G. claroideum* parecen manifestarse como generalistas porque fueron encontradas en todas las parcelas evaluadas con una abundancia de 30.0 y 26.2%, respectivamente, lo cual sugiere que pueden competir eficientemente y asegurar el éxito de la inoculación en campo; sin embargo, es importante considerar que la incorporación de inóculos conformados por diversas especies representan una ventaja funcional sobre las plantas cultivadas en sistemas agrícolas. Tal es el caso de la mayor colonización micorrícica observada en las plantas de maíz que fueron inoculadas con el biofertilizante. El género *Glomus* tiene una amplia distribución (Opik *et al.* 2006), por lo que se le ha considerado generalista (Oehl *et al.* 2003). La dominancia de *Glomus* en los suelos agrícolas estudiados se debe posiblemente a que cuenta con un micelio extraradical altamente infectivo, mientras que otros géneros como *Gigaspora* se desarrollan frecuentemente a partir de esporas (Hart & Reader 2002). En este trabajo *Glomus* fue el género predominante, lo cual concuerda con la literatura en donde se menciona que las especies que pertenecen a este género tienen un amplio rango de adaptación en cuanto al tipo de suelo y a las condiciones edafoclimáticas (Kahiluoto *et al.* 2001), además de ser altamente infectivo (Rivera *et al.* 2003); especies de *Acaulospora* prefieren suelos con pH bajos (Siqueira *et al.* 1984); por su parte, *Entrophospora* es altamente diverso en los trópicos (Sieverding 1991) mientras que *Gigaspora* es menos frecuente en agroecosistemas alterados (Siqueira *et al.* 1989) y algunas de sus especies se ven favorecidas en suelos arenosos; en este estudio estos dos últimos géneros, al igual que *Intraspora*, fueron los menos diversos.

La alta dominancia de *G. claroideum* observada en el presente trabajo coincide con los estudios realizados en agroecosistemas en Finlandia (Kahiluoto & Vestberg 1999) y su amplia distribución en suelos cultivables de Europa y Estados Unidos, en donde además se ha observado que forma micorrizas con un amplio rango de hospedantes (Walker & Vestberg 1998). Así mismo, *A. scrobiculata* ha sido reportada en suelos con un rango amplio de niveles de fertilidad (Kahiluoto *et al.* 2001) y fue una de las especies con alta dominancia en las parcelas estudiadas.

Por su parte, *A. excavata* es una especie descrita recientemente (Ingleby *et al.* 1994); en México existen reportes que la ubican en agroecosistemas cafetaleros de Veracruz (Heredia & Arias 2008). En este estudio se encontró en dos parcelas contrastantes, una con presencia de leguminosas como cobertura mientras que la otra es un monocultivo de maíz, en ambos sitios se observaron valores similares de pH (6.3-6.5), MO (6.6-6.0), N (0.33-0.30) y P (5.6-5.3).

G. intraradices estuvo presente únicamente en tres sitios aún cuando se esperaba que fuese una especie mucho más generalista, al respecto pudo haber influido que esta especie presenta esporas pequeñas que al momento de la extracción se hayan perdido.

La diversidad de HMA ha sido poco estudiada para el Estado de Chiapas, en este trabajo se identificaron 23 morfoespecies asociadas al cultivo de maíz de las cuales únicamente dos habían sido reportadas en cultivos de caña de azúcar y coco (Varela & Trejo 2001); y de las 14 especies de HMA registradas, 12 se encontraron en suelos que no fueron inoculados con el hongo micorrízico tratándose por lo tanto de especies nativas.

7. Conclusiones

Se identificaron 23 morfoespecies de HMA en la rizosfera de maíz, entre las cuales el género predominante fue *Glomus*, mostrando a su vez mayor diversidad (11 especies), seguido por *Acaulospora* (8 especies), *Intraspora* (2 especies), *Entrophospora* y *Gigaspora* (con un sola especie respectivamente).

Glomus geosporum y *Glomus claroideum* fueron especies generalistas, y esta última se reconoce como especie dominante.

La presencia de cobertura de frijol nescafé afectó positivamente la riqueza y diversidad de HMA observadas en las parcelas de maíz, generando un índice de diversidad de 1.64.

La biofertilización con micorrizas arbusculares incrementó el porcentaje de colonización de la raíz del maíz y no tuvo efecto significativo en la riqueza ni la diversidad de especies de HMA.

AGRADECIMIENTOS

Al FORDECYT/CONACYT por el apoyo financiero brindado para la realización de este trabajo, a través del proyecto No. 116306.

Al grupo de productores “La Ventana” del ejido La Bella Ilusión que hicieron posible este trabajo. A los revisores externos cuyos comentarios permitieron mejorar este documento.

Este capítulo ha sido enviado para su revisión al Comité Editorial de la Revista Gayana Botánica, se anexa carta de recepción.

CAPÍTULO IX

CONCLUSIONES GENERALES

IX. CONCLUSIONES GENERALES

La aplicación de humus de lombriz tuvo un efecto positivo tanto en el crecimiento vegetativo de la planta como en el rendimiento de maíz, favoreciendo también la colonización de la raíz por hongos micorrícicos.

La adición de humus de lombriz mejoró el efecto de la aplicación de biofertilizantes en el rendimiento del cultivo.

La presencia de abonos verdes en las parcelas evaluadas tuvo un efecto positivo sobre el rendimiento del cultivo; la inoculación con HMA en esta condición generó mayor rendimiento de maíz y no se observó efecto de la aplicación del biofermento.

Las prácticas agrícolas desarrolladas por los productores en el ejido La Bella Ilusión favorecen al mantenimiento de una importante población microbiana, específicamente de HMA, ya que se identificaron 23 morfoespecies de estos hongos en la rizosfera de maíz, entre las cuales el género predominante fue *Glomus*, mostrando a su vez mayor diversidad (11 especies), seguido por *Acaulospora* (8 especies), *Intraspora* (2 especies), *Entrophospora* y *Gigaspora* (con un sola especie respectivamente). *Glomus geosporum* y *Glomus claroideum* fueron especies generalistas, y esta última se reconoce como especie dominante. Esta diversidad es alta comparada con otros agroecosistemas y tiene un impacto positivo sobre la calidad del suelo.

La evaluación de biofertilizantes en campo es una labor que requiere del control de una serie de variables que están inmersas en las prácticas agroecológicas que desarrollan los productores, desde diferentes variedades de maíz como diferentes dosis de aplicación de los mismos biofertilizantes, de ahí la complejidad para determinar el efecto de los mismos.

CAPÍTULO X

LITERATURA CONSULTADA

X. LITERATURA CONSULTADA

Aguirre-Medina, J. F. 2001. Programa Nacional de Biofertilizantes del INIFAP. Informe de labores. Dirección General de la División Agrícola. México, D. F. 20 p.

Aguirre-Medina, J. F. 2004. Biofertilizantes microbianos. Antecedentes del programa y resultados de validación en México. En: Memoria del Simposio de Biofertilización (Eds. A. Díaz-Franco, N. Mayek-Pérez, A. Mendoza y N. Maldonado-Moreno). 25 de noviembre de 2004. Río Bravo, México. pp. 71-87.

Aguirre-Medina, J. F., M. B. Irizar-Garza, A. Durán-Prado, O. A. Grajeda Cabrera, M. A. Peña del Río, C. Loreto-Osti y A. Gutiérrez-Baeza. 2009. Los biofertilizantes microbianos: alternativa para la agricultura en México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Rosario Izapa, Tuxtla Chico, Chiapas, México. 86 p.

Alarcón, A. y R. Ferrera-Cerrato. 2000. Ecología, fisiología y biotecnología de la micorriza arbuscular. Mundi-Prensa. México, D. F. 251 p.

Alarcón, A., M. C. González-Chávez, R. Ferrera-Cerrato y A. Villegas-Monter. 2001. Efectividad de *Glomus fasciculatum* y *Glomus etunicatum* en el crecimiento de *Vitis vinifera* L. micropropagadas. *Terra* 19: 29-35.

Allen, M. y M. Boosalis. 1983. Effects of two species of va mycorrhizal fungi on drought tolerance of winter wheat. *New Phytologist*, 93: 67-76.

Alloush, G.A. y R. B. Clark. 2001. Maize response to phosphate rock and arbuscular mycorrhizal fungi in acidic soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 32, 231–254.

Altieri, M. A. y C. I. Nicholls, 2007. Conversión agroecológica de sistemas convencionales de producción: teoría, estrategias y evaluación. *Ecosistemas*. 2007/1.

Álvarez-Solís, J. D., E. Díaz-Pérez, N. S. León-Martínez y J. Guillén-Velásquez. 2010. Enmiendas orgánicas y actividad metabólica del suelo en el rendimiento de maíz. *Terra Latinoamericana*. 28(3): 239-245.

Andrade, F., H. Echeverría, N. González, S. Uhart y N. Darwich. 1996. Requerimientos de nitrógeno y fósforo de los cultivos de maíz, girasol y soja. *Boletín Técnico* No. 134. EEA INTA Balcarce. Argentina.

Astier-Calderón, M., M. Maass-Moreno y J. Etchevers-Barra. 2002. Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia* 36: 605-620.

Ayala-Sánchez, A., Krishnamurthy, L., y J. A. Basulto-Graniel, J. A. 2009. Leguminosas de cobertera para mejorar y sostener la productividad de maíz en el sur de Yucatán. *Terra Latinoamericana* 27: 63-69.

Baon, J.B., E. Smith S. y M. Alston A. 1994. Phosphorus uptake and growth of barley as affected by soil-temperature and mycorrhizal infection. *Journal Plant Nutrition* 17: 479-492.

Barea, J. M. y C. Azcón-Aguilar. 1983. Mycorrhiza and their significance on nodulating nitrogen fixing plants. *Adv. Agron.* 36: 1-54.

Barea, J. M., R. Azcón R y C. Azcón-Aguilar. 2002. Mycorrhizosphere interactions to improve plant fitness and. Soil quality. *Antonie van Leuwenhoek*.81: 343-35.

Barea, J. M., M. J. Pozo, R. Azcón y C. Azcón-Aguilar. 2005. Microbial co-operation in the rhizosphere. *Journal of Experimental Botany.* 56(417):1761-1778.

Bashan, Y. y G. Holguín. 1998. Proposal for the division of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria into two classification: biocontrol-PGPB (Plant Growth-Promoting Bacteria) and PGPB. *Soil Biol. Biochem.* 30(8-9). 1225-1228.

Bethlenfalvay, G. J. 1991. Mycorrhizae and crop productivity. En: G. J. Bethlenfalvay y J. Linderman R. (eds), *Micorrhizae in Sustainable Agriculture*. pp. 1-27. Special Publication 54. American Society of Agronomy Madison, WI, U.S.A.

Bethlenfalvay, G. J. 1992. Mycorrhizae and crop productivity. *In: Micorrhizae in Sustainable Agriculture*. G. J. Bethlenfalvay, J. Linderman R. (eds). Special Publication 54. American Society of Agronomy Madison, WI, U.S.A. pp. 1-27.

Bethlenfalvay, G. J. y R. G. Linderman. 1992. *Mycorrhizae in sustainable agriculture*. ASA. Special Publication, Madison, Wisconsin.

Blanco, F. y R. Gutiérrez. 1998. Efecto de la *Mucuna* sp. en la composición de la comunidad de hongos MA del suelo y en la respuesta del maíz a la inoculación con hongos MA. *Agronomía Costarricense* 22(2): 153-161.

Bonfante, P. 1987. Vesicular arbuscular mycorrhizae: Fungus-plants interactions at the cellular level. *Symbiosis* 3: 249-268.

Bonfante-Fassolo, P. y Perotto. 1995. Strategies of Arbuscular Micorrhizal fungi when infecting hosts plants. *New Phytol.* 130.3-21.

Borstler, B., C. Renker, A. Kahmen y F. Buscot. 2006. Species composition of arbuscular mycorrhizal fungi in two mountain meadows with differing management types and levels of plant biodiversity. *Biology of Fertility and Soils* 42: 286–298.

Brechelt, A. 2004. Manejo Ecológico del Suelo. Fundación Agricultura y Medio Ambiente. Red de Acción en Plaguicidas y sus alternativas para América Latina. Primera edición. Santiago de Chile, Chile. 28 p.

Brundrett, M. C. 2002. Coevolution of roots and mycorrhizas of land plants. *New Phytologist*. 154: 275–304.

Buckles, D. 1995. Velvetbean: a "new" plant with a history. *Economic Botany*, 49, 13–25.

Burkles, D., B. Trionphe y G. Sain. 1999. Cover crops in hillside agriculture: farmer innovation with *Mucuna*. International Development Center Ottawa. *Agriculture and Environment for Developing Regions*, 4(9): 227 p.

Burrows, R. L. y F. L. Pflieger. 2002. Arbuscular mycorrhizal fungi respond to increasing plant Diversity. *Canadian Journal Botany*. 80, 120-130.

Caballero-Mellado, J. 2000. El género *Azospirillum*: Universidad Autónoma de México.

Caballero-Mellado, J. 2001. El género *Azospirillum*. Programa de Ecología Molecular y Microbiana, Centro de Investigación sobre Fijación de Nitrógeno, UNAM. México.

Caballero-Mellado, J. 2006. "Agriculture Microbiology and Microbe Interaction with Plants". *Revista Latinoamericana de Microbiología*. 48(2):154-161.

Cardoso, I. M., y T. W. Kuyper. 2006. Mycorrhizas and tropical soil fertility. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 116(1-2), 72-84.

Carrenho, R., S. F. B. Trufem y V. L. R. Bononi. 2002. Effects of using different host plants on the detected biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi from an agroecosystem. *Revista Brasileira de Botânica* 25(1): 95-101.

CEFP, 2007. México: El Mercado del Maíz y la Agroindustria de la Tortilla. www.cefp.gob.mx

Cervantes M., J. E. 2004. Resultados preliminares de la Evaluación de Biofertilizantes en Maíz QPM. En: Memoria del Simposio "La Biofertilización como Tecnología Sostenible". Díaz F., A., N., Mayek P., A. Mendoza H. y N. Maldonado M. (eds.). INIFAP. 25 de noviembre de 2004. Tamaulipas, México. Pp. 119.

CEDECO, 2005. Preparación y uso de abonos orgánicos, sólidos y líquidos. Movimiento Agroecológico de América Latina y el Caribe. Editado por Corporación Educativa para el Desarrollo Costarricense. www.cedeco.or.cr.

Chaurasia, B. y P. K. Khare. 2005. *Hordeum vulgare*. : a suitable host for mass production of arbuscular mycorrhizal fungi from natural soil. *Appl Ecol Environ Res* 4:45–53.

CIESTAAM. 2005. Agricultura Orgánica Internacional y propuestas para su desarrollo en México. Reporte de Investigación. Universidad Autónoma de Chapingo.

Codex Alimentarius Commission. FAO/OMS. 2001. Directrices para la producción, elaboración, etiquetado y comercialización de alimentos producidos orgánicamente. CAC/GL 32-1999-Rev. 1- 2001, Roma.

Disponible en <ftp://ftp.fao.org/codex/standar/booklets/Organics/g101-32e.pdf>.

Collins, N., F. Pflieger, R. Crookston, S. Simmons y P. Coipeland. 1991. Vesicular-Arbuscular mycorrhizas respond to corn and soybean cropping history. *New Phytologist* 117: 657-663.

COMAR. 2001. Comisión Mexicana de Ayuda a Refugiados. Chiapas. URL: <http://www.acnur.org/biblioteca/pdf/2086.pdf>

Cousin, J. R., H. Cousins-Diane, G. Corinna y J. C. Stutz. 2003. Preliminary assessment of arbuscular mycorrhizal fungal diversity and community structure in an urban ecosystem. *Mycorrhiza*, 13: 319-326.

Covacevich, F. y H. E. Echeverría. 2010. Indicadores para seleccionar inóculos de hongos micorrízicos arbusculares eficientes en suelos moderadamente ácidos. *CI. Suelo (Argentina)* 28(1): 9-22.

Crews, T. E. y M. B. Peoples. 2004. Legume versus fertilizer sources of nitrogen: ecological trade-offs and human needs. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 102: 279-297.

Croes, C. L., S. Moens, E. van Bastelaere, J. Vanderleyden y Michiels, K. W. 1993. The polar flagellum mediates *Azospirillum brasilense* adsorption to wheat roots. *J Gen Microbiol* 139, 2261-2269.

Cruz-Chávez, F. J. 2007. Transferencia de Tecnología en Biofertilizantes. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Pacífico Sur. Campo Experimental Centro de Chiapas. 10 p.

Cuanalo de la C., H. E. y R. A. Uicab-Covoh. 2005. Investigación Participativa en la Milpa Sin Quema. *TERRA Latinoamericana*. Vol. 23: p.: 587-597.

Cuenca, G., Z. De Andrade y G. Escalante. 1998. Diversity of Glomalean spores from natural, disturbed and revegetated communities growing on nutrient-poor tropical soils. *Soil Biol. Bioch.* 30: 711-719.

Dalpe, Y. y S. G. Aiken. 1998. Arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Festuca* species in the Canadian High Arctic. *Can J Bot* 76:1930–1938.

Das, K., R. Dang, T. N. Shivananda y N. Sekeroglu. 2007. Influence of bio-fertilizers on the biomass yield and nutrient content in *Stevia rebaudiana* Bert. grown in Indian subtropics. *Journal of Medicinal Plants Research* 1(1): 5-8.

Day, J. M. y J. Döbereiner. 1976. Associative symbiosis in tropical grasses: characterization of microorganism on dinitrogen fixing sites. En: *Symposium on Nitrogen fixation*. (Eds. Newton y Mimes). Washington States, pp. 518-538.

De Coninck, K., S. Horemans, S. Randoz y K. Vlassak. 1988. Occurrence and survival of *Azospirillum* spp. in temperate regions. *Plant Soil*, 110: 213–218.

Deguchi, S., S. Shimazaki, S. Uozumi, K. Tawaraya, H. Kawamoto y O. Tanaka. 2007. White clover living mulch increases the yield of silage corn via arbuscular mycorrhizal fungus colonization. *Plant and Soil* 291(1): 219-229.

Di Rienzo, J. A., F. Casanoves, M.G. Balzarini, L. González, M. Tablada y C. W. Robledo. 2008. InfoStat, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

Döbbelaere, S., A. Croonenborghs, A. Thys, D. Ptacek, J. Vanderleyden, P. Dutto, c. Labandera-González, J. Caballero-Mellado, J. Francisco-Aguirre, Y. Kapulnik, S. Brenn, S. Burdman, D. Kadouri, S. Varig y Y. Okon. 2001. Responses of agronomically important crops to inoculation with *Azospirillum*. *Aust. J. Plant. Physiol.* 28:871-879.

Döbbelaere, S., A. Croonenborghs, A. Thys, D. Ptacek, Y. Okon, Y. y J. Vanderleyden. 2002. Effect of inoculation with wild type *Azospirillum brasilense* and *A. irakense* strains on development and nitrogen uptake of spring wheat and grain maize. *Biology and Fertility of Soils* 36: 284-297.

Dolan, M. S., C. E. Clapp, R. R. Allmaras, J. M. Baker y J. A. E. Molina. 2006. Soil organic carbon and nitrogen in a Minnesota soil as related to tillage, residue and nitrogen management. *Soil Tillage Res.* 89: 221-231.

Doran, J.W. y Parkin, B.T. 1994. *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. Soil Science Society of America, Inc. Special Publication. Number 35. Madison, Wisconsin, USA.

Edwards, C.A., I. Burrows, K. E. Fletcher y B.A. Jones. 1985. The use of earthworms for composting farmwastes. pp. 229-242. En: *Composting of agricultural and other wastes*. (Ed. J.K.R. Gasser). Elsevier Publisher. Luxemburgo, U.K.

Etchevers B., J. D., R. A. Fischer, I. Vidal, K. D. Sayre, M. A. Sandoval, K. Oleschko y S. Román C. 2000. Labranza de conservación, índices de calidad del suelo y captura de

Carbono. In: Memorias Simposio Internacional de Labranza de Conservación. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agro Pecuarias-Produce, Mazatlán, Sinaloa.

Ettema, C. H. y D. A. Wardle. 2002. Spatial soil ecology. Review. *TRENDS in Ecology and Evolution* Vol. 17. No. 4.

Evans, D.G. y M.H. Miller. 1988. Vesicular-arbuscular mycorrhizas and the soil-disturbance-induced reduction of nutrients absorption in maize. 1. Causal relations. *New Phytologist* 110: 67–74.

Evans, D.G. y M.H. Miller. 1990. The role of the external mycelial network in the effect of soil disturbance upon vesicular-arbuscular mycorrhizal colonisation of maize. *New Phytologist* 114: 65–71.

Ferrera-Cerrato y Alarcón. 2001. La microbiología del suelo en la agricultura sostenible. *Ciencia Ergo Sum*. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México. pp. 175-183.

FIRA. 2003. Agricultura Orgánica. Una oportunidad sustentable de negocios para el sector agroalimentario mexicano. Boletín informativo. No. 322. vol. XXXV. Año XXXI.

Fließbach, A., H. R. Oberholzer, L. Gunst y P. Mäder. 2006. Soil organic matter and biological soil quality indicators after 21 years of organic and conventional farming. *Agriculture, Ecosystems and Environment*.

Fregoni, M. 1986. Some aspects of epigeal nutrition of grapevines. pp. 205-211. In: A. Alexander (ed.). *Foliar fertilization. Proceedings of the First International Symposium of Foliar Fertilization by Schering Agrochemical*. Division. Berlin. 1985.

Galindo, A., C. Jerónimo, E. Spaans y M. Weil. 2007. Los abonos líquidos fermentados y su efectividad en plántulas de papaya (*Carica papaya* L.). *Tierra Tropical* 3(1):91-96.

García Breijo, F., J. Reig, A. Ibars y E. Estrelles. 2002. La evolución de la simbiosis micorrízica. *Butll. Soc. Micol. Valenciana* 7: 49 – 54.

Gerdemann, J. V. y T. H. Nicolson. 1963. Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological Society* 46: 235–244.

Germani, G. y C. Plenchette. 2004. Potential of *Crotalaria* species as green manure crops for the management of pathogenic nematodes and beneficial mycorrhizal fungi. *Plant and Soil* 266: 333–342. Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands.

Giovannetti, M. y B. Mosse. 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytologist* 84: 489–500.

Giovannetti, M., C. Sbrana y L. Avio. 2002. Arbuscular mycorrhizal fungal mycelium: from germlings to hyphal networks. In: Gianinazzi S, Schuëpp H, Barea JM, Haselwandter K, eds. Mycorrhiza technology in agriculture: from genes to bioproducts. Basel, Switzerland: Birkhäuser Verlag, 49–58.

Gliessman, S.R. 2001. Agroecosystem sustainability: developing practical strategies. Book Series Adv. in Agroecology, CRC Press, Boca Raton, FL.

Gliessman, S. R. 2002. Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible. Turrialba, C. R. CATIE. pp. 359.

Gomero, L y H. Velásquez. 1999. Manejo Ecológico de Suelos: Conceptos, experiencias y técnicas. Ed. RAAA. Lima, Perú.

Gómez Cruz, M.A., R. Schwentesius Rideman, y L. Gómez Tovar. 2001. Agricultura Orgánica de México: Datos Básicos. SAGARPA-CEA y UACH-CIESTAAM.

Gosling, P., A. Hodge, G. Goodlass y G. D. Bending. 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi and organic farming. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 113: 17–35.

Gyaneshwar, P., G. Naresh Kumar, L. K. Parekh y P. S. Poole. 2002. Role of Soil microorganisms in improving nutrition of plants. *Plants and Soil*, 245, 83-93.

Hart, M. H. y R. J. Reader. 2002. Taxonomic basis for variation in the colonization strategy of arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist* 153: 335–344.

Hart, M. M. y J. N. Klironomos. 2002. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi and ecosystem functioning. En: van der Heijden M.G.A. y I.R., Sanders IR (eds), *Mycorrhizal ecology*, pp 225–242. Springer, Berlin Heidelberg New York.

Havlin, J., J. Beaton, S. Tisdale y W. Nelson. 1999. Soil fertility and fertilizers; an introduction to nutrient management. Prentice Hall Inc. Upper Saddle River, New Jersey. 499 p.

Helgason, T., J. W. Merryweather, J. Denison, P. Wilson, J.P.W. Young y A. H. Fitter. 2002. Selectivity and functional diversity in arbuscular mycorrhizas of co-occurring fungi and plants from a temperate deciduous woodland. *Journal of Ecology* 90: 371–384.

Hendrix, J. W., B. Z. Guo y A. N. Z. Q. 1995. Divergence of mycorrhizal fungal communities in crop production systems. En: H.P. Collins, Robertson, G.P. y M.J. Klug (eds), *The significance and regulation of soil biodiversity*, p. 131-140. Kluwer Academic Publishers. Netherlands.

Heredia A., G. y R. M. Arias M. 2008. Hongos saprobios y endomicorrizógenos en suelos. En: Manson, R.H., Hernández-Ortiz, V., Gallina, S. y K. Mehlreter (eds).

Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz. Biodiversidad, manejo y conservación, pp. 193-212. Instituto de Ecología A. C. Instituto Nacional de Ecología INE-SEMARNAT.

Hernández, A., A. Caballero, M. Pazos, R. Ramírez y M. Heydrich. 2003. Identificación de algunos géneros microbianos asociados al cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en diferentes suelos de Cuba. Revista Colombiana de Biotecnología, julio, año/vol. V, número 001. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. Pp. 45-55.

Holguín, G.; Y. Bashan; M. E., Puente; A. Carrillo; G. Bethlenfalvay; A. Rojas; P. Vázquez; G. Toledo; M. Bacilio-Jiménez; B. R. Glick; L.E. González de-Bashan; V. Lebsky; M. Moreno y J. P. Hernández. 2003. "Promoción del crecimiento en plantas por bacterias de la rizósfera: avances de investigación", Rev. Agric. Téc. Méx. Vol. 29.

Ingleby, K., Walker, C. & Mason, P. A. 1994. *Acaulospora excavata* sp. nov. - an endomycorrhizal fungus from Cote d'Ivoire. Mycotaxon 50: 99-105.

INIA, 2008. Tecnologías innovativas apropiadas a la conservación in situ de la agrobiodiversidad. Producción y uso del humus de lombriz. T. Medina H. (Ed.). Lima, Perú. ISBN: 978-9972-44-018-2.

International Culture Collection of (Vesicular) Arbuscular Mycorrhizal Fungi. General life cycle, and the structures formed. Web <http://invam.caf.wvu.edu>

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. Grajeda-Cabrera, J. Valero-Garza y J. F. Aguirre-Medina. 2003. Respuesta de cultivos agrícolas a los biofertilizantes en la región central de México. Agr. Téc. Méx. 29(2):213-225.

Itzigsohn, R.; S. Burdman y Y. Okon. 2000. Plant growth promotion in natural pastures by inoculation with *Azospirillum brasilense* under suboptimal growth conditions. Arid Soil research and Rehabilitation 13. p. 151-158.

Janos, D. P. 1980. Mycorrhizal influence tropical sucesion. Biotropica 12 (suppl.):56-64.

Jantalia, C. P. 2005. Estudo de sistemas de uso do solo em rotações de culturas em sistemas agrícolas brasileiros: dinâmica de nitrogênio e carbono no sistema solo - planta - atmosfera. Tesis de Doctorado. Río de Janeiro. Brasil. Fitotecnia. Universidad Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica. 120 p.

Jeffries, P. y J. Barea. 2001. Arbuscular Mycorrhiza –a key component of sustainable plant-soil ecosystems. En: Hock B. (Ed.). The Mycota IX Fungal Associations. Springer. Berlín, Alemania. pp. 95-113.

Jeffries, P. y J. Barea. 1999. Arbuscular Mycorrhiza a key component of sustainable plant-soil ecosystems. En: *The mycota IX, fungal associations*. Edition Hock. 113p.

Jefwa, J. M., R. Sinclair y J. A. Maghembe. 2006. Diversity of glomales mycorrhizal fungi in maize/sesbania intercrops and maize monocrop systems in southern Malawi. *Agroforestry Systems* 67: 107-114.

Jodice, R. y P. Nappi. 1987. Microbial aspects of composta application in relation to mycorrhizae and nitrogen fixing microorganisms. Pp. 115-125. En: *Compost: production, quality and use*. (Eds. M. de Bertoldi, M. P. Ferranti, P. L. Hermite y F. Zucconi). Elsevier Applied Science. Italy.

Johnson, N. C., P. J. Copeland, R. K. Crookston y F. L. Pflieger. 1992. Mycorrhizae: possible explanation for yield decline with continuous corn and soybean. *Agronomy Journal* 84(3): 387-390.

Kabir, Z. y R. T. Koide. 2002. Effect of autumn and winter mycorrhizal cover crops on soil properties, nutrient uptake and yield of sweet corn in Pennsylvania, USA. *Plant Soil* 238:205–215.

Kahiluoto, H. y M. Vestberg. 1999. Impact of cropping system on mycorrhiza. En: J.E. Olesen, R. Eltun, M. J. Gooding, E. S. Jensen y U. Kopke (eds.), *Designing and testing crop rotations for organic farming*, pp. 305-309. DARCOF Report no. 1.

Kahiluoto, H., E. Ketoja, M. Vestberg y Saarela. 2001. Promotion of AM utilization through reduced P fertilization. 2. Field studies. *Plant Soil* 231: 65–79.

Kapulnik, Y., M. Felman, Y. Okon y Y. Henis. 1985. Contribution of nitrogen fixed by *Azospirillum* to the N nutrition of Spring Wheat in Israel. *Soil Biology and Biochemistry*. 17:509-515.

Klironomos, J.N., J. McCune, M. Hart y J. Neville, J., 2000. The influence of arbuscular mycorrhizae on the relationship between plant diversity and productivity. *Ecology Letters* 3:137-141.

Kloepper, J. W. 1996. Host specificity in microbe-microbe interactions. *Bio Science* 46:406-409.

Koide, R. T. 2000. Functional complementary in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. *New Phytologist* 147: 233-235.

Kurle, J. E. y F. L. Pflieger. 1994. The effects of cultural practices and pesticides on VAM fungi. En: F. L. Pflieger y R. G. Linderman (eds.), *Mycorrhizae and plant health*. pp 101–131. APS Press.

Lal, R. 1999. Restorative effects of *Mucuna utilis* on soil organic C pool of a severely degraded Alfisol in Western Nigeria. pp. 147-156. In: Lal, R., J. Kimble y B.A. Stewart. Global climate change and tropical ecosystems. Lewis Publishers. Boca Raton, FL.

Lal, R. 2002. Enciclopedia of Soil Science. Marcel Dekker, Inc. New York-Basel.

Lathwell, D.J. 1990. Legume Green Manures, Principles for Management based on recent research. TropSoils Bulletin 90(01), Raleigh, NC. 30 p.

Legall, J. y D, Zoila. 2007. Manual básico de lombricultura para condiciones tropicales, [en línea] 2000, Disponible en: <http://cultivodelombrices.com>.

Linderman, R. G. 1992. Vesicular-arbuscular mycorrhizae and soil microbial interactions. pp. 45-70. En: Micorrhizae in sustainable agriculture. (Eds. G. J. Bethlenfalvay y R. G. Linderman). Special Publication 54. American Society of agronomy. Madison, WI.

Lovera, M. y G. Cuenca. 2007. Diversidad de hongos micorrízico arbusculares (HMA) y potencial micorrízico del suelo de una sabana natural y una sabana perturbada de la Gran Sabana, Venezuela. Interciencia 32(2): 108-114.

Lynch, J. M. 1990. The rhizosphere. Eds. Mc. Millansd; London, 366 pp.

Malavolta, E. 1986. Foliar fertilization in Brazil.- Present and perspectivas. pp. 170-192. In: A. Alexander (ed.). Foliar fertilization. Proceedings of the First International Symposium of Foliar Fertilization by Schering AgrochemicalDivision. Berlin. 1985.

Marschner, A., y B. Dell. 1994. Nutrient uptake in mycorrhizai symbiosis. Plant and Soil 159: 89-102.

Martín, G. J., Y. Noda, G. Pentón, D. E. García; F. García, E. González, F. Ojeda, M. Milera, O. López, J. Ly, L. Leiva y J. Arece. 2007. La morera (*Morus alba*, Linn.): una especie de interés para la alimentación animal. Pastos y Forrajes, 30(1): 3-19.

Martínez V., R. 1998. Los biofertilizantes como factores de economía y productividad en la Agricultura Tropical. En Curso-Taller sobre Agricultura Sostenible en el Trópico, La Habana, pp. 25-41.

Martínez V., R. 2002. Características de los biofertilizantes y bioestimuladores en las regiones tropicales. La Habana, CU, Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical "Alejandro Humboldt (INIFAT). 68 p.

Martínez, E., S. Valle, P. Silva y E. Acevedo. 2004. Evaluación de algunas propiedades físicas y químicas de un suelo Mollisol asociadas a manejo en cero labranza. En: Evaluación de parámetros y Procesos Hidrológicos en el Suelo. Compendio de los trabajos presentados en la VII Escuela Latinoamericana de Física de Suelos. La Serena, Chile. Noviembre del 2 al 14 de 2003. UNESCO, Paris. 95-100 p.

Martínez, L. B. y F. I. Pugnaire. 2009. Interacciones entre las comunidades de hongos formadores de micorrizas arbusculares y de plantas. Algunos ejemplos en los ecosistemas semiáridos. *Ecosistemas* 18(2): 44-54.

Mascarenhas, H. A. A., S. S. S. Nogueira, R. T. Tanaka, A L. M. Martins y Q. A C. Carmello. 1998. Efeito na produtividade da rotação de culturas de verão e crotalaria no inverno (NOTA). *Scientia Agrícola*. 55(3):534-537.

Mathimaran, N., R. Ruh, B. Jama, L. Verchot, E. Frossard y J. Jansa. 2007. Impact of agricultural management on arbuscular mycorrhizal fungal communities in Kenyan ferralsol. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 119: 22-32.

Matías-Crisóstomo, J. S. y R. Ferrera-Cerrato. 1993. Efecto de microorganismos y adición de materia orgánica en la colonización micorrízica en la recuperación de tepetates. pp. 53-61. En: *Avances de Investigación*. (Eds. J. Pérez M. y Ferrera Cerrato R.). Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.

Medina, N. 1994. Evaluación agronómica de diferentes biofertilizantes en la nutrición mineral del Tomate (*Lycopersicum sculentum*, Mill) En: *Resúmenes IX Seminario Científico INCA*.

Mendoza, L.A. y M. J. F. Aguirre. 2002. La biofertilización del cacao *Theobroma cacao* L. con *Azospirillum brasilense* y *Glomus intraradices* en etapa de vivero. *Avances de resultados*. Primer Congreso Internacional de Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria Chiapas, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas (Memorias).

Mendoza, R. E., V. Goldmann, J. Rivas, V. Escudero, E. Pagani, M. Collantes y L. Marbán. 2002. Poblaciones de hongos micorrízicos arbusculares en relación con las propiedades del suelo y de la planta hospedante en pastizales de Tierra del Fuego. *Ecología Austral* 12: 105-116.

Menéndez, A. B., J. M. Scervino y A. M. Godeas. 2001. Arbuscular mycorrhizal populations associated with natural and cultivated vegetation on a site of Buenos Aires province, Argentina. *Biol Fertil Soils* 33:373–381.

Mera O., L. M. 1989. Condiciones naturales para la producción. En: *El suelo agrícola en los altos de Chiapas*. (Ed. Parra-Vázquez M. R.). Centro de Investigación Ecológica del Sureste- Universidad Autónoma de Chapingo, Estado de México, México. 21-49 pp.

Michiels, K. W., C. L. Croes y J. Vanderleyden. 1991. Two different modes of attachment of *Azospirillum brasilense* Sp7 to wheat roots. *J. Gen. Microbiol.* 137:2241-2246.

Millaleo, R., C. Montecinos, R. Rubio, A. Contreras y F. Borie. 2006. Efecto de la adición de compost sobre propágulos micorrícicos arbusculares en un suelo volcánico del centro sur de Chile. *R.C. Suelo Nutr. Veg.* 6(3): 26-39.

Moor, M., M. Opik, R. Sen y M. Zobel. 2004. Native arbuscular mycorrhizal fungal communities differentially influence the seedling performance of rare and common *Pulsatilla* species. *Functional Ecology* 18: 554-562.

Moroyoqui-Ovilla, D. M. y Aguirre-Medina J. F. 2002. Avances en el desarrollo vegetativo del café variedad oro azteca con diferentes sustratos y dos microsimbiontes en vivero.

Morton, J. B. y S. P. Bentivenga. 1994. Levels of diversity in endomycorrhizal fungi (Glomales, Zygomycetes) and their role in defining taxonomic and non-taxonomic groups. *Plant Soil* 159: 47-59.

Morton, J. B. 1988. Taxonomy of VA mycorrhizal fungi: classification, nomenclature, and identification. *Mycotaxon* 32: 267-324.

Nakano, A., T. Kazushi y M. Kimura. 2001. Effect of host shoot clipping on carbon and nitrogen sources for arbuscular mycorrhizal fungi. *Mycorrhiza* 10(6): 287-293.

Newsham, K.K., A.H. Fitter y A.R. Watkinson. 1995. Multifunctionality and biodiversity in arbuscular mycorrhizas. *Trends in Ecology and Evolution*. 10:407-411.

Nogales, B. 2005. La microbiología del suelo en la era de la biología molecular: descubriendo la punta del iceberg. *Ecosistemas* 14(2):41-51.

Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación, Martes 31 de diciembre de 2002.

Núñez, M. A. 2000. Manual de técnicas agroecológicas. 1ª edición. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe. México, D. F. ISBN 968-7913-10-X.

Núñez, S. J. 1981. Fundamentos de Edafología. Editorial Universidad Estatal a Distancia. San José Costa Rica.

Oehl, F., E. Sieverding, K. Ineichen, P. Mader, T. Boller y A. Wiemken. 2003. Impact of land use intensity on the species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in agroecosystems of Central Europe. *Applied and Environmental Microbiology* 69: 2816-2824.

Oehl, F., E. Sieverding, P. Mader, P. Dubois, D. Ineichen, K. Boller y A. Wiemken. 2004. Impact of long-term conventional and organic farming on the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi. *Oecologia* 138: 574-583.

Okon, Y. and Labandera Gonzalez, CA. 1994. Agronomic applications of azospirillum: an evaluation of 20 years worldwide field inoculations. *Soil Biology and Biochemistry*, 26, 1592-1601.

Okon, Y., S. L. Albrecht y R. H. Burris. 1976. *J. Bacteriol.*, 128, 592.

Olalde-Portugal V. y R. Serratos. 2008. Biofertilizantes: Micorrizas y bacterias promotoras de crecimiento. En: Díaz-Franco A, Mayek-Pérez N (eds) *La Biofertilización como Tecnología Sostenible*. Plaza y Valdés - CONACYT. Distrito Federal. 257 pp.

Opik, M., M. Moora, J. Liira y M. Zobel. 2006. Composition of root-colonizing arbuscular mycorrhizal fungal communities in different ecosystems around the globe. *Journal of Ecology* 94: 778–790.

Opik, M., M. Moora, M. Zobel, U. Saks, R. Wheatley, F. Wright y T. Daniell. 2008. High diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in a boreal herb-rich coniferous forest. *New Phytologist* 179(3): 867-876.

Ortiz, C. A. 1995. Evaluación de cultivares de pica pica mansa *Mucuna* spp. como cultivo de cobertura. Tesis. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 144 pp.

Pecina-Quintero, V., V. A. Díaz-Franco, H. Williams Alanís, E. Rosales-Robles e I. Garza-Cano. 2005. Influencia de fecha de siembra y biofertilizantes en sorgo. *Revista Fitotecnia Mexicana* 28:389-392.

Phillipp, D. y W. Gamboa. 2003. Observaciones sobre el sistema *Mucuna*-maíz en laderas de Waslala, Región Atlántica de Nicaragua. *Agronomía Mesoamericana* 14(2): 215-221.

Philipp, D. 1998. Monitoreo segunda parte. Informe final CSA. Pro Mundo Humano. Managua Nicaragua. 8 p.

Phillips, J.M. y D.J. Hayman. 1970. Improved procedures for clearing and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society* 55: 158-161.

Prinz, D. 1986. Increasing the productivity of smallholder farming systems by introduction of planted fallows. *Plant Res. Dev.* 24:31-56.

PRODESIS. Proyecto Desarrollo Social Integrado y Sostenible. 2007. *Que la Selva viva*. Maravilla Tenejapa. Gobierno del Estado.

Quilambo, O. 2003. The vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *African Journal Biotechnology* 2(12): 539-546.

Quirós, E., D. Meneses, C. Cervantes y L. Urbina. 1998. Abonos verdes: una alternativa para mejorar la fertilidad del suelo. *PRIAG*. 36 p.

- Read, D. 1998. Plants on the web. *Nature* 396: 22-23.
- Rello, F. y Saavedra, F. 2007. Implicaciones Estructurales de la Liberalización en la Agricultura y el Desarrollo Rural, El Caso de México, Banco Mundial - FLACSO.
- Restrepo, J. 1996. Abonos Orgánicos Fermentados. Experiencias de Agricultores en Centroamérica y Brasil. Corporación Educativa para el Desarrollo Costarricense (CEDECO) y PSST-ACyP de la Organización Internacional del Trabajo (OIT). San José, CR. 189 p.
- Restrepo, J. 2001. Elaboración de abonos orgánicos fermentados y biofertilizantes foliares. Experiencias con agricultores en Mesoamérica y Brasil. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). San José, CR. 155 p.
- Restrepo, J. y J. Hensel. 2009. Manual práctico de agricultura orgánica y panes de piedra. Talleres gráficos de la impresora Feriva, S. A. Cali, Colombia. ISBN. 978-958
- Reyes, I., Valery, A. y Z. Valduz. 2006. Phosphate-solubilizing microorganisms isolated from rhizospheric and bulk soils of colonizer plants at an abandoned rock phosphate mine. *Plant Soil* 287: 69-75.
- Reyes-Méndez, C. A. y M. A. Cantú-Almaguer. 2004. En: Memoria del Simposio “La Biofertilización como Tecnología Sostenible”. Díaz F., A., N., Mayek P., A. Mendoza H. y N. Maldonado M. (eds.). INIFAP, Tamaulipas, México. Pp. 121.
- Rivera, R., F. Fernández, A. Hernández, J. R. Martín y K. Fernández. 2003. Bases científico-técnicas para el manejo de los sistemas agrícolas micorrizados eficientemente. En: Rivera, R. y K. Fernández (eds), Manejo efectivo de la simbiosis micorrízica, una vía hacia la agricultura sostenible. Estudio de caso: el Caribe. INCA. La Habana. 166 p.
- Roldos, J. E., M. Casas, A. Delgado y J. Pérez. 1994. La biotecnología aplicada a la agricultura. En: Reunión Iberoamericana ATCC 29145. *J. Bacterial*. 189 p. 1670-1677.
- Romero, A., F. Jiménez y R. Muschler. 2000. Crecimiento de almácigo de café con abono tipo bocashi y follaje verde de *Erythrina poeppigiana*. *Agroforestería de las Américas* 26, 37- 39.
- Rovira, A. D., G. D. Bowen y R. C. Foster. 1983. The significance of rhizosphere microflora and mycorrhiza in plant nutrition. En *Encyclopedia of Plants*. New Series 15. Springer. Berlín, Alemania. pp. 61-95.
- Russo, A., Felici, C., Toffanin, A., Götz, M., Collados, C, Barea, J. M., Moënne-Loccoz, Y., Smalla, K., Vanderleyden, J. y M. Nuti. 2005. Effect of *Azospirillum* inoculants on arbuscular mycorrhiza establishment in wheat and maize plants. *Biology and Fertility of Soils* 41: 301–309.

Ryan, M.H. y J. H. Graham. 2002. Is there a role for arbuscular mycorrhizal fungi in production agriculture? *Plant Soil* 244, 263–271.

SAGARPA, 2009. Producción récord de maíz con 25 millones de toneladas. sagarpa.gob.mx

Sancho, F. y C. Cervantes. 1996. El uso de plantas de cobertura en sistemas de producción de cultivos perennes y anuales en Costa Rica. En: F. Bertsch, Badilla, W. y E. Bornemisza (eds.), Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales, Vol. 3, Suelos, p. 181-188. UNED y EUNA. San José, Costa Rica.

Sanders, F. E. y P. B. Tinker. 1971. Mechanism of absorption of phosphate from soil by *Endogone* mycorrhizas. *Nature* 233: 278–279.

Sasvári, Z., L. Hornok y K. Posta. The community structure of arbuscular mycorrhizal fungi in roots of maize grown in a 50-year monoculture. *Biology and Fertility of Soils* 47: 167-176.

Schalamuk, S., S. Velázquez, H. Chidichimo y M. Cabello. 2006. Fungal spore Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi associated with spring wheat: effects of tillage. *Mycología* 98(1): 16-22.

Schenk, N. C. y Y. Pérez. 1990. Manual for the identification of VA Mycorrhizal Fungi. Synergistic Publications, Gainesville - USA.

Schjøning, P., Elmholt, S. y Christensen, B.T. (Eds.). 2004. *Managing Soil Quality: Challenges in Modern Agriculture*. CABI Publishing, Wallingford, UK, 368 pp.

Schussler, A., D. Schwarzott y C. Walker. 2001. A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. *Mycological Research* 105: 1413–1421.

Schubler, A. 2006. Phylogeny and taxonomy of Glomeromycota (‘arbuscular mycorrhizal (AM) and related fungi’). URL: <http://AMF-phylogeny.com>.

Serralde O., A. M. y M. M. Ramírez G. 2004. Análisis de poblaciones de micorrizas en maíz (*Zea mays*) cultivado en suelos ácidos bajo diferentes tratamientos agronómicos. *Revista Corpoica* 5(1): 31-40.

Shannon, C. E. y W. Weaver. 1949. *The mathematical theory of communication*. University of Illinois Press, Urbana.

Shannon, D., A. M. Sen y D. B. Johnson. 2002. A comparative study of the microbiology of soils managed under organic and conventional regimes. *Soil Use Manage.* 18:274-283.

Sharif, M. y B. Jan. 2008. Growth and nutrients accumulation of maize plants as affected by the inoculation of Arbuscular Mycorrhizal fungi with rock phosphate. *Soil and Environ.* 27(1): 109-115.

Shindô, H. y M. Shojaku. 1999. Effect of continuous compost application on the activities of various enzymes in soil of double cropping fields. *Jpn J Soil Sci Plant Nutr* 70:66–69.

Sieverding, E. 1984. Curso Nacional sobre Micorrizas; Aspectos básicos de la investigación en micorrizas vesiculoarbusculares. Universidad Nacional de Palmira.

Sieverding, E. 1986. El papel de las micorrizas en la agricultura. *Suelos Ecuatoriales* 16(1): 52-59.

Sieverding, E. 1991. Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems. Eschborn, Germany: GT Z, 371 pp.

Siqueira, J., A. Colozzi-Filho y E. Olivei R. 1989. Ocurrencia de micorrizas vesículo arbusculares em agro ecossistemas naturais do estado de Minas Gerais. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 24: 1499-1506.

Siqueira, J.O., D. H. Hubbel y A. W. Mahmud. 1984. Effects of lemming on spore germination, germ tube growth and root colonization by vesicular–arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant and Soil* 76: 115-124.

Sjoberg, J., P. Persson, A. Martensson, L. Mattsson, A. Adholeya and S. Alström. 2004. Occurrence of Glomeromycota spores and some arbuscular mycorrhiza fungal species in arable fields in Sweden. *Acta Agric Scand B* 54:202-212.

Smith, S.E. y D. J. Read. 1997. *Mycorrhizal Symbiosis*. Academic Press.

Sorensen, J. N., J. Larsen y I. Jakobsen. 2005. Mycorrhiza formation and nutrient concentration in leeks (*Allium porrum*) in relation to previous crop and cover crop management on high P soils. *Plant and Soil* 273: 101–114.

Soto, M. G. 2003. Abonos orgánicos: definiciones y procesos. En: *Abonos orgánicos: principios, aplicaciones e impactos en la agricultura*. Ed Meléndez, G. San José, Costa Rica, pp. 20-49.

Steenhoudt, O. y J. Vanderleyden. 2000. *Azospirillum*, a free-living nitrogen-fixing bacterium closely associated with grasses: genetic, biochemical and ecological aspects *FEMS. Microbiology. Rev.* 24:487-506.

Tarrand, J. J., N. R. Krieg y J. Dobereiner. 1978. A taxonomic study of the *Spirillum* lipoferum group, with descriptions of a new genus, *Azospirillum* gen. nov. and two species,

Azospirillum lipoferum (Beijerinck) comb. nov. and *Azospirillum brasilense* sp. nov. Can J Microbiol 24:967-980.

Torres, F., 2003, "La visión teórica de la seguridad alimentaria como componente de la seguridad nacional", en F. Torres (ed.), Seguridad alimentaria: seguridad nacional, Universidad Nacional Autónoma de México, Plaza y Valdés, México, pp. 15-52.

Trinidad y Aguilar. 1999. Fertilización foliar, respaldo importante en el rendimiento de cultivos. Terra Volúmen 17 número 3, 247:255

Umali-García, M., D. M. Hubell, M. H. Gaskins y F. B. Dazzo. 1980. Appl. Environm. Microbiol. 39:219-226.

Van der Heijden, M. G. A., J. N. Klironomos, M. Ursic, P. Moutoglis, R. Streitwolf-Engel, T. Boller, A. Wiemken y I. R. Sanders. 1998. Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. Nature 396: 69–72.

Van der Heijden, M. G. A, A. Wiemken y I. R. Sanders. 2003. Different arbuscular mycorrhizal fungi alter coexistence and resource distribution between co-occurring plant. New Phytologist 157: 569-578.

Van Loon Bakker, L. C. y C. M. J. Pieterse. 1998. Systemic resistance induced by rhizosphere bacteria. Annual Review of Phytopathology 36:453-483.

Varela, L. y D. Trejo. 2001. Los hongos micorrizógenos arbusculares como componentes de la biodiversidad del suelo en México. Acta Zoológica Mexicana 1(número especial):39-51.

Velasco-Velasco J., R. Ferrera-Cerrato y J. J. Almaráz-Suárez. 2001. Vermicomposta, micorriza arbuscular y *Azospirillum brasilense* en tomate de cáscara. TERRA Latinoamericana, julio-septiembre, año/vol. 19, número 003. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. pp. 241-248.

Verbruggen, E. y E. T. Kiers. 2010. Evolutionary ecology of mycorrhizal functional diversity in agricultural systems. Evolutionary Applications 3: 547-560.

Vessey, K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. Plant Soil 255: 571-586. Yanni Y, Rizkabd.

Vestberg, M. 1995. Occurrence of some Glomales in Finland. Mycorrhiza 5: 329-336.

Walker, C. y M. Vestberg. 1998. Synonymy amongst the arbuscular mycorrhizal fungi: *Glomus claroideum*, *G. maculosum*, *G. multisubstenum* y *G. fistulosum*. Annals of Botany. 82: 601-624.

Walker, C. y J. M. Trappe. 1993. Names and epithets in the Glomales and endogonales. Mycological Research, 97:339-344.

Wang, B. y L. Qiu. 2006. Phylogenetic distribution and evolution of mycorrhizas in land plants. *Mycorrhiza* 16: 299–363. *Glomus claroideum*, *G. maculosum*, *G. multisubstenum* y *G. fistulosum*. *Ann. Bot.* 82: 601-624.

Wang, G. M., D. P. Stribley, P. B. Tinker y C. Walker. 1993. Effects of pH on arbuscular mycorrhizae. Field observations on the long-term liming experiments at Rothamsted and Woburn. *New Phytologist* 124:465-472.

Whitcomb, S. y J. C. Stutz. 2007. Assessing diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in a local community: role of sampling effort and spatial heterogeneity. *Mycorrhiza*. 17(5):429-437.

Zahir, Z. Arshad M., A. y W. T. Frankenberger. 2004. Plant growth promoting rhizobacteria: Applications and perspectives in agriculture. *Advances in Agronomy* 81:97-168.