

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA



**USO Y APLICACIÓN DE BIOFERTILIZANTES
MICROBIANOS Y ORGÁNICOS EN SISTEMAS DE
AGROPLASTICULTURA**

CASO DE ESTUDIO

**PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO
DE:**

ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

OPCIÓN: AGROPLASTICULTURA

PRESENTA:

LISBETH CRUZ ALONSO



CENTRO DE INFORMACIÓN

02 SEP 2011

SALTILLO, COAHUILA

RECIBIDO

AGOSTO 2011

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA



**USO Y APLICACIÓN DE BIOFERTILIZANTES
MICROBIANOS Y ORGÁNICOS EN SISTEMAS DE
AGROPLASTICULTURA**

CASO DE ESTUDIO

PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

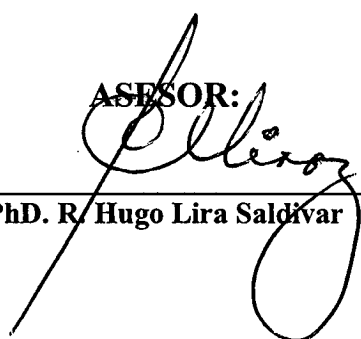
ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

OPCIÓN: AGROPLASTICULTURA

PRESENTA:

LISBETH CRUZ ALONSO

ASESOR:


PhD. R. Hugo Lira Saldivar

SALTILLO, COAHUILA

AGOSTO 2011

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA



USO Y APLICACIÓN DE BIOFERTILIZANTES MICROBIANOS Y ORGÁNICOS EN SISTEMAS DE AGROPLASTICULTURA

CASO DE ESTUDIO

PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

OPCIÓN: AGROPLASTICULTURA

PRESENTA:

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Lisbeth Cruz Alonso', written over a horizontal line.

LISBETH CRUZ ALONSO

EVALUADORES:

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Luis Ibarra Jiménez', written over a horizontal line.

Dr. Luis Ibarra Jiménez

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Eduardo Alfonso Treviño López', written over a horizontal line.

M.C. Eduardo Alfonso Treviño López

SALTILLO, COAHUILA

AGOSTO 2011

CONTENIDO

	Página
Resumen.....	i
Introducción.....	1
Planteamiento y justificación.....	2
Objetivo general.....	3
Alcances de la propuesta.....	3
Antecedentes.....	4
Importancia de los biofertilizantes microbianos.....	6
Definición de biofertilizante y su comercialización.....	6
Formas de aplicación de los biofertilizantes.....	8
Procedimientos de aplicación de los biofertilizantes.....	10
Aplicación directa a la semilla.....	10
Aplicación directa a las plantaciones establecidas.....	11
Aplicación directa a viveros y almácigos.....	11
Asociación de bacterias y plantas.....	11
¿Que son las bacterias PGPR?.....	13
Influencia de las rizobacterias en el crecimiento.....	13
Rizobacterias como control natural de agentes patógenos.....	14
Compuestos que producen el biocontrol de enfermedades.....	16
Potencial de las rizobacterias en la producción agrícola.....	17
Efectos de los biofertilizantes aplicados en diversos cultivos.....	17
Función de las micorrizas.....	18
Efecto de biofertilizantes en cultivo de melón acolchado con polietileno.....	19

Sorgo cultivado con biofertilizantes, fitohormonas y fosforo inorgánico.....	22
Manejo alternativo de <i>Sigatoka negra</i> , utilizando biofertilizantes, en plantaciones comerciales de banano cavendish, variedad Williams Catón Taura.....	23
Efecto de la biofertilización en vivero del cacao (<i>Theobroma cacao</i> L) con <i>Azospirillum brasilense</i>	24
Biofertilizantes microbianos usados como tecnología para incrementar la producción de maíz en México.....	26
Ventajas en el uso de biofertilizantes microbianos en la agricultura.....	27
Cultivos susceptibles a la biofertilización.....	27
Microorganismos utilizados en la biofertilización.....	27
Clasificación taxonómica de <i>Rhizobium</i>	28
Clasificación y propiedades microbiológicas.....	29
Ciclo de vida de los hongos micorrícicos.....	30
Rendimientos en diversos cultivos con aplicación de biofertilizantes.....	31
Simbiosis micorrizica.....	31
Desarrollo de las micorrizas arbusculares.....	33
Primeras etapas del crecimiento a simbiótico de hongos.....	33
Ciclo de vida de micorrizas arbusculares.....	34
Micorrizas y sus diversas funciones.....	35
Simbiosis micorrícica y la nutrición mineral.....	36
Captación de fosfato con la asistencia de la simbiosis de MA.....	37
La ruta de absorción simbiótica Pi (Fosfato inorgánico).....	37
Relación agua-planta.....	38
Fertilización orgánica.....	40
Producción de abono orgánico.....	40
Aéreas de oportunidad.....	42
Conclusión y recomendaciones.....	42

Nomenclatura.....	44
Referencias.....	45

USO Y APLICACIÓN DE BIOFERTILIZANTES MICROBIANOS Y ORGÁNICOS EN SISTEMAS DE AGROPLASTICULTURA

RESUMEN

Un hecho sin precedentes es el rápido cambio en las condiciones ambientales que se observa actualmente en nuestro planeta, donde con el cambio constante también prevalece la capacidad de adaptación de las plantas y los microorganismos terrestres, estos cambios ambientales son la causa del mal uso que se le ha dado a nuestros recursos naturales que a través del tiempo se ha venido agravando a gran escala, contaminando el aire, agua y suelo. Es por eso que actualmente debemos iniciar por la restauración de los hábitats naturales contribuyendo con la utilización de insumos sostenibles y de bajos costos en nuestros sistemas de cultivo, con el objetivo de maximizar los rendimientos de los cultivos y a su vez minimizar la contaminación de nuestro ecosistema evitando el uso de agroquímicos e implementando el uso de microorganismos y compuestos orgánicos en nuestros sistemas de producción.

Por lo tanto una alternativa viable y sustentable es la incorporación de las funciones naturales de los microorganismos benéficos que nos ayudan a mantener la fertilidad del suelo y la productividad de la planta. En la actualidad con los cambios en las condiciones ambientales, los bajos rendimientos en la producción de alimentos y nuestros suelos bastante degradados, está ganando mucha importancia este nuevo sistema y puede ser un enfoque importante el uso y aplicación de biofertilizantes microbianos y orgánicos en nuestros sistemas de cultivos, tanto a campo abierto como en sistemas de agroplasticultura.

Cabe destacar que la asociación simbiótica de la mayoría de los cultivos con micorrizas arbusculares (MA), juega un papel central en muchos procesos biológicos y ecológicos. Ciertos microorganismos como las micorrizas ayudan a sus plantas hospederas en absorber el fósforo (P), absorción de nitrógeno (N) y también algunos relativamente inmóviles trabajan elementos como el zinc (Zn), cobre (Cu) y hierro (Fe). Las MA también benefician a las plantas por la absorción de agua, resistencia de las plantas y el control biológico de fitopatógenos, adaptación a una variedad de estreses ambientales tales como sequía, calor, la salinidad, la contaminación por metales pesados, la producción de hormonas de crecimiento y ciertas enzimas, e incluso en la absorción de los elementos radiactivos.

El establecimiento de la asociación simbiótica por lo general implica reconocimiento mutuo y un alto grado de coordinación a nivel morfológico y fisiológico, que requiere una mejora continua celulares y el diálogo molecular entre ambos socios. Esto ha llevado a la identificación de los genes (información genética de microorganismos) y con esto la sustitución de los productos químicos, modificando las estructuras de los componentes pertenecientes a la simbiosis, sin embargo, el conocimiento científico sobre la fisiología y la función de estos hongos es aún limitada.

Este caso de estudio se desarrolla con la finalidad de recabar información reciente que nos ayude en el conocimiento actual sobre las funciones y mecanismos en el desarrollo de la simbiosis de las MA, la interacción con las plantas, sus bases moleculares, funciones de los nutrientes, intercambio entre las MA y las plantas hospederas, absorción de agua, protección contra las enfermedades, solución a la degradación del suelos, todo esto con el uso y aplicación de biofertilizantes microbianos y orgánico, que tiene la finalidad de que sea extensa la información existente el cual más adelante sirva para poner en práctica estos nuevos sistemas de producción al área de agroplasticultura, aumentando a su vez la producción y disminuyendo la contaminación con el sistema agrícola tradicional.

Palabras clave: Micorrizas arbusculares; *Rhizobium*; *Azospirillum*; *Azotobacter*; agricultura sustentable; fertilizantes microbianos; fertilizantes orgánicos; agroplasticultura.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad existe una necesidad urgente de encontrar un equilibrio entre la producción de los alimentos sanos y el cuidado de nuestro ecosistema, ya que la población mundial es cada vez mayor y la conservación de la diversidad biológica es menor, así como el uso en el suministro de materia orgánica o insumos de bajo nivel de contaminación a nuestros recursos naturales como el agua, aire y suelo (Dodd, 2000).

Anteriormente, el suelo fue tratado como "base de recursos" con su función de apoyo subordinado a la producción de alimentos y en la escala de prioridades, el suelo siempre ha tomado el segundo lugar. Recientemente, los científicos han reconocido la importancia de la tierra no sólo como una base de recursos agrícolas, sino como un sistema complejo, vivo y frágil que debe ser protegido y gestionados por su propio bien para garantizar su estabilidad a largo plazo y la productividad de alimentos sanos (Aryal y Xu, 2001).

Una mayor conciencia del medio ambiente ha llevado progresivamente a un cambio de tratamiento convencional intensivo y sustentable del agro ecosistema de producción de cultivos. Y en los sistemas de cultivo de las actividades naturales de los microorganismos contribuyendo al control biológico de patógenos de plantas y mejorar el suministro de nutrientes, manteniendo así la salud de los cultivos y la producción simbiótica de hongos micorrízicos arbusculares, llamados comúnmente micorrizas arbusculares (MA), forman un componente clave de las poblaciones microbianas que influyen en el crecimiento vegetal y la productividad del suelo (Johansson *et al.*, 2004).

Las funciones naturales de estos microorganismos pueden haber sido marginados en la agricultura intensiva, ya que las comunidades microbianas en los sistemas agrícolas convencionales se han modificado debido a la labranza y altos insumos de los fertilizantes inorgánicos, herbicidas y pesticidas (Gianinazzi *et al.*, 2002). Un una mejor comprensión de las interacciones microbianas es crucial para el desarrollo sustentable del suelo, la fertilidad y la producción de cultivos sanos.

La gran mayoría de las especies vegetales en los ecosistemas terrestres forma simbiosis con microorganismos rizosfera para tomar esenciales nutrientes (Bonfante, 2008;

Parniske, 2008; Helgason y Fitter, 2009). Un número de los estos microbios habitan en la rizosfera, incluyendo hongos micorrícicos, bacterias promotoras del crecimiento (BPC) y rizobacterias, Otras plantas estimulantes del crecimiento (Van der Putten *et al.*, 2007). La endosimbiosis forma entre las raíces de más del 80% de las las especies de plantas de la tierra, su asociación simbiótica es las más extendida en el reino vegetal (Redecker *et al.*, 2000; Helgason y Fitter, 2009).

Estos hongos pueden estimular el crecimiento de las plantas y la reproducción, proporcionando a sus anfitriones con servicios tales como un mayor acceso a la limitación de nutrientes (fósforo y nitrógeno) y mejorando la absorción de agua. A cambio, las plantas proporcionan estos microbios con carbón (Parniske, 2008; Smith y Read, 2008).

Una característica importante de las legumbres es que utilizan más nitrógeno y fósforo del medio ambiente con la ayuda de bacterias y hongos micorrícicos nodulados que viven en sus raíces, por lo tanto, la aplicación de las MA como las del género *Rhizobium* y demás fertilizantes orgánicos, como la fertilización biológica en las leguminosas, hortalizas y cereales pueden contribuir a mejorar la producción de alimentos y a disminuir la contaminación de los ecosistemas que cada día están más deteriorados. Por lo tanto, estos microorganismos contribuyen a tener una agricultura sustentable.

PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACIÓN

Tomando en cuenta lo antes señalado, la utilización de los biofertilizantes en los sistemas productivos es una alternativa viable y sumamente importante para lograr un desarrollo agrícola ecológicamente sustentable, ya que permite una producción a bajo costo, no contamina el ambiente y mantiene la conservación del suelo desde el punto de vista de fertilidad y biodiversidad.

En la actualidad, el uso de biofertilizantes, aplicados como inoculantes dentro de los sistemas de producción agrícola, está teniendo un gran auge, especialmente para lograr una mayor disponibilidad de nutrientes que permitan un rendimiento superior de los cultivos, con la conservación del medio ambiente y una mayor tasa de retorno de la inversión.

El empleo de las BPC representa un gran potencial por su efecto dual, ya que son agentes de control biológico y ayudan al desarrollo de las plantas, por lo que ofrecen

ciertas ventajas en comparación con la aplicación de productos químicos. Por lo tanto, estos agentes microbianos pueden ser empleados como parte de programas de manejo integrado para reducir el uso de químicos, así como lograr una reducción del daño ambiental y mejor de la calidad del agua, incrementando la seguridad de la salud pública. La aplicación coordinada de agentes de biocontrol con plaguicidas puede reducir las acciones deletéreas de microorganismos competitivos y puede además aumentar la producción de los cultivos, debido al posible efecto de promotores de crecimiento de los biocontroladores.

OBJETIVO GENERAL.

Utilizando información reciente de la literatura científica, se identificaron los principales géneros y especies de bacterias y hongos micorrícicos que pueden ser empleados como biofertilizantes, señalando las técnicas empleadas para su producción masiva a nivel de planta piloto y a escala industrial; esto mismo se deberá realizar para las bacterias promotoras del crecimiento de las plantas. Por último, se identificará su uso potencial para productores agrícolas a nivel ejidal y agricultores con mayores recursos económicos, así como la manera de emplearlas con las técnicas de agroplasticultura.

ALCANCE DE LA PROPUESTA.

El alcance se orientó a realizar una compilación bibliográfica sobre el estado actual del conocimiento en relación con el uso de microorganismos benéficos con y sin el uso de la agroplasticultura. Dentro de este contexto es fundamental lograr determinar el balance químico y biológico que permita mantener la capacidad productiva del suelo durante la producción agrícola.

ANTECEDENTES

La agricultura es la actividad humana que más estrecha relación tiene con el medio ambiente y con la sobrevivencia del hombre en el planeta, pues debe atender la demanda de alimentos provocada por la explosión demográfica y la inequidad social. Asimismo, se ha convertido en una causa significativa del deterioro, la contaminación y el agotamiento de los recursos naturales, de tal manera que México ocupa uno de los primeros lugares en el mundo en la acelerada tasa de deforestación. La destrucción de bosques y selvas tiene como causa primordial a las actividades agropecuarias que cada año eliminan entre 400 mil y un millón de hectáreas de ecosistemas forestales, debido a que en la agricultura se utilizan sistemas tradicionales de cultivo el cual deteriora los suelos y otros recursos naturales y por lo tanto se tiene que ir buscar nuevos espacios agrícolas en el cual producir y explotar (Quadri, 2009).

Actualmente la superficie dedicada a la agricultura en México es de aproximadamente 21 millones de hectáreas (10.5% del territorio nacional) y una alternativa sustentable y rentable para los cultivos de esta superficie son el uso los biofertilizantes microbianos para uso agrícola ya que estos productos son elaborados con diferentes microorganismos que presentan un efecto positivo sobre algunos procesos de descomposición y síntesis que se dan en el suelo; los microorganismos se desarrollan en medios de cultivo específicos (o se propagan en condiciones adecuadas), para luego adicionarlos a un soporte o sustrato que aporta el medio para la sobrevivencia y conservación de los microorganismos.

Dichos productos pueden ser líquidos o sólidos, los cuales, una vez aplicados al suelo, a las semillas o a las plantas, encuentran las condiciones adecuadas para iniciar su actividad biológica, como es incrementar la velocidad de descomposición de sustratos. Estos productos pueden contener uno o más microorganismos, de tal forma que se mantengan los principios básicos de ecosistemas naturales, los cuales, son sustentables por sus constituyentes, la calidad y cantidad de sus poblaciones. Otro aspecto importante es que los suelos presentan grandes variaciones con respecto al tipo y número de microorganismos. Generalmente los suelos más fértiles, menos degradados, con más contenido de materias orgánicas y menos contaminadas con productos químicos, permiten mantener altas poblaciones de microorganismos, con una mayor diversidad de especies.

También, el éxito en la aplicación de inoculantes dependerá del conocimiento de los requerimientos nutricionales del cultivo, así como de su interacción con otros microorganismos, incluyendo su habilidad para coexistir en cultivos mezclados, tanto antes como después de su aplicación al suelo.

Por otro lado, un fertilizante orgánico es un producto que proviene de estiércoles, materiales animales, restos vegetales, de alimentos u otra fuente orgánica y natural. En cambio los fertilizantes inorgánicos como los nitrogenados están elaborados a partir de combustibles fósiles y aire u obtenidos de minería, como los fosfatos o el potasio, calcio, zinc. Actualmente los fertilizantes inorgánicos suelen ser muy caros y con dosis más precisas y concentradas. Sin embargo, salvo en cultivo hidropónico, siempre es necesario añadir los fertilizantes orgánicos para reponer la materia orgánica del suelo, (SAGARPA, 2010).

En México son pocas las investigaciones que se han realizado sobre el uso de las BPC en diversos cultivos y especialmente en los hortícolas en los que también actúan como microorganismos antagonistas de fitopatógenos. La mayoría de estas investigaciones han sido efectuadas en laboratorio o invernadero y muy pocos en condiciones de campo. En la mayoría de los casos el modo de acción de los microorganismos con actividad de biocontrol ha sido la producción de metabolitos con actividad antibiótica, entre ellos, el género *Bacillus*, el cual es un promisorio candidato, ya que se caracteriza por sintetizar péptidos con actividad antibacteriana y anti fúngica. En la actualidad se tiene mayor conciencia social sobre la explotación racional de los recursos naturales, al haberse demostrado la importancia de las relaciones entre los organismos y las plantas. Esta nueva actitud ha favorecido el desarrollo de tecnologías de producción de menos contaminantes y ecológicamente más racionales, como el uso de los recursos microbiológicos del suelo en la agricultura.

IMPORTANCIA DE LOS BIOFERTILIZANTES MICROBIANOS

Un papel importante para las plantas juegan las bacterias benéficas del suelo, ya que al asociarse con ellas les permiten, por una parte, aumentar su crecimiento y desarrollo y, por otra, las protegen contra otros organismos del suelo que causan enfermedades. Ecológicamente, a esta relación benéfica entre las bacterias y las plantas se le denomina “mutualismo”, el cual se define como la condición en la que dos seres vivos de diversas especies viven juntos habitualmente (pero no necesariamente), con beneficio recíproco para el hospedero (planta) y el simbiote (bacteria).

Los microorganismos benéficos para la agricultura son muchos y desarrollan sus funciones bajo la influencia de las raíces de las plantas. La raíz, además de las funciones de anclaje, absorción, transporte de agua y nutrientes al sistema vascular, pone a la planta en contacto con la rizosfera, es decir, la zona del suelo que rodea a las raíces de las plantas donde abundan los microorganismos especialmente en la región del crecimiento en la raíz donde se da un flujo de compuestos orgánicos que sirven a los microorganismos como fuente de carbono. Las fuentes de carbono pueden ser los residuos de las células liberado por la lisis de las células viejas de la epidermis, el mucilago y los exudados radicales de bajo peso molecular. Además las fuentes de carbono, los microorganismos obtienen de la rizosfera, agua, condiciones favorables de O₂ y mayor acceso a minerales como molibdeno, hierro potasio, y magnesio (Loredo *et al.*, 2007).

DEFINICION DE BIOFERTILIZANTE Y SU COMERCIALIZACIÓN

La diversidad de efectos y su inducción en el desarrollo de las plantas, establecen el concepto de biofertilizante. **Se denomina biofertilizante** a un producto que contiene uno o varios microorganismos del suelo y puede ser aplicado a la semilla o a los suelos mismos con el fin de incrementar su número, asociarse directa o indirectamente al sistema radical de las plantas, favorecer su interacción e incrementar el desarrollo vegetal y reproductivo de la planta huésped.

Los biofertilizantes mas comercializados en la actualidad, son inocuos para el hombre y el ambiente. La mayor respuesta agronómica se ha encontrado en suelos de baja fertilidad. Son más económicos y de fácil transportación, en comparación con los fertilizantes de origen químico sintético que utilizan los productores. Existen diversas presentaciones para su comercialización (Figura 1.)

Los más comunes son los que se aplican a las semilla y van impregnados en turba (material orgánica de líquenes), pero también pueden distribuirse en suelo molido, medios de agar, caldos nutritivos, liofilizados, o en medios de aceite.

Los que se aplican al suelo pueden ser granulados o en polvo y generalmente se mezclan con algún material inerte o suelo de la misma parcela para facilitar su distribución en el mismo terreno. En algunos casos se agregan en su formulación, otros aditivos, como nutrimentos y micronutrimentos. Los microorganismos que se utilizan en la agricultura, como en el caso de las bacterias, pueden impregnarse en los soportes elegidos y estos pueden estar o no esterilizados. Los soportes esterilizados son más costosos pero mantienen la viabilidad de los microorganismos por mayor tiempo.

El soporte o transportador donde se impregnan las bacterias, además de mostrar uniformidad química, física y no ser tóxico, debe tener la capacidad de almacenar humedad, ser de fácil esterilización y biodegradable. Este componente representa la mayor porción en volumen o peso final del producto.

Naturalmente un solo soporte o transportador no reúne todas estas características deseables, pero no se debe buscar el que presente la mayoría de ellas. Además de las bacterias fijadoras de nitrógeno como *Azospirillum*, *Rhizobium*, *Bradyrhizobium* y los hongos micorrizicos que transportan P, otros nutrimentos y agua, también se utilizan como biofertilizantes los microorganismos *Azotobacter*, *Anabaena*, *Frankia*, *Bacillus* y *Pseudomonas*, entre otros.

Los primeros biofertilizantes microbianos distribuidos en grandes cantidades en el campo mexicano fueron en el programa Alianza para el campo SAGARPA durante el ciclo agrícola de Primavera-Verano (PV) 1999, Otoño- Invierno (OI) 1999-2000 y PV 2000. Los microorganismos utilizados fueron *Azospirillum brasilense*, *Glomus intraradices* y *Rhizobium etli*.

En total se distribuyeron para 1, 882,263 ha en casi todo el país. Desde el principio tuvieron amplia aceptación por los productores agropecuarios de México. Se han utilizado en cultivos anuales y perennes con diferentes sistemas de manejo debido a sus importantes y múltiples funciones en la agricultura, como en la nutrición de los cultivos, especialmente con nitrógeno y fósforo (Aguirre-Medina, 2006).

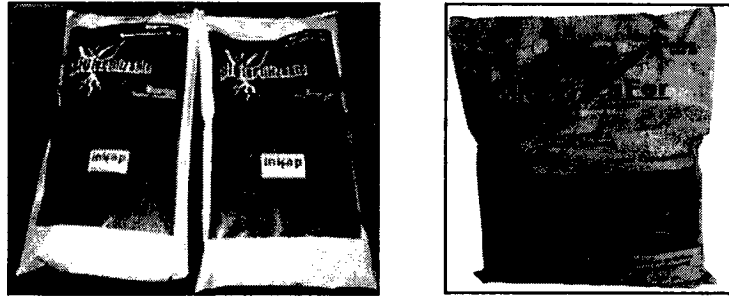


Figura 1. Presentación de dos biofertilizantes comerciales nacionales. Fuente: http://www.inifap.gob.mx/noticias/nota_maiz_frijol_fertilizantes.html

El uso de estos productos ha mejorado la comprensión de la relación planta-microorganismo en su contribución a minimizar los riesgos de degradación de los suelos y a maximizar el regreso de energía a los sistemas de producción. Estas consideraciones han tomado importancia en las últimas tres décadas para establecer fronteras a la agricultura, no solo desde el punto de vista de lograr una máxima producción sostenida, sino buscando la estabilización de los sistemas de producción a largo plazo. El incremento en la productividad a base de grandes cantidades de energía (como es el caso de la aplicación de fertilizantes químicos sintéticos) no puede ser mantenido indefinidamente, existe un límite en la capacidad de producción que va a estar regulada por los costos externos de la energía que se introduce en los sistemas de producción.

FORMAS DE APLICACIÓN DE LOS BIOFERTILIZANTES

Los biofertilizantes microbianos pueden aplicarse a la semilla, el suelo o al material vegetativo. En cultivos anuales, los beneficios de la simbiosis se expresan en plazos muy breves, de 20-30 días después de la biofertilización, pero en cultivos perennes, en viveros hasta después de tres meses, como en cacao y café.

La forma más precisa de aplicarlos es mediante su adhesión a las semillas. La biofertilización que tiene como sustrato el suelo o la turba, vienen acompañados de un adherente, que en muchos casos es el carboximetil celulosa a una concentración de 0.5%. Para aplicar el biofertilizante a la semilla se sugiere extenderla en un plástico y asperjar sobre ella el adherente y mezclar muy bien; es muy importante verificar que toda la semilla quede “pegajosa” e inmediatamente agregar el biofertilizante. Si no queda pegajosa, se puede mejorar la adhesividad agregando agua con azúcar. También puede hacerse en una tina como se presenta en la siguiente Figura 10.



Figura 2. Aplicación del adherente y forma de revolver la semilla con el biofertilizante.
Fuente: <http://www.biofabrica.com.mx/blog/?p=615>

Los biofertilizantes que vienen en presentación de 1 kg para el caso de las micorrizas y de 400 g para las bacterias, generalmente contienen la cantidad suficiente de microorganismos o propágulos para tratar unos 20 o 25 kg/ha de semilla de tamaño mediano de cultivos como maíz y frijol, requeridos para sembrar una hectárea. Con base en esta información se pueden hacer los cambios para otras semillas, como semillas pequeñas de trigo, cebada y avena. En estos casos se recomienda utilizar tres bolsas de cada microorganismo por hectárea (Aguirre-Medina 2006).



Figura 3. Efecto de biofertilización en trigo. Fuente:
<http://www.biofabrica.com.mx/blog/?p=615>

En semilla para viveros o semilleros, como jitoate, chile o cebolla, la cantidad de producto máxima es de medio kilogramo de micorriza y 200 g de bacteria, y siempre se debe cuidar que la semilla quede cubierta con el adherente y el biofertilizante.

En otros cultivos que requieren etapas de vivero o semillero, como cacao, cafeto, mango o rambután, la cantidad de biofertilizante por aplicar es variable y depende del número y tamaño de semillas a biofertilizar. En todos los casos se debe cubrir la superficie de la semilla con el biofertilizante y al momento de depositar la semilla en la bolsa, agregar en el fondo del hoyo hasta 5 g del biofertilizante, que puede ser un microorganismo o la mezcla de dos o más. Como una recomendación general podemos considerar una proporción de biofertilizante correspondiente al 4% del peso de la semilla.

En gramíneas forrajeras tropicales que se reproducen por estolones, como estrella de africa *Cynodon plectostachyus* (K. Schum) Pilger, *Brachiaria* spp Griseb y *Digitaria* spp Haller, entre otros, el adherente se asperja sobre el material vegetativo y arriba de el biofertilizante. En este caso las cantidades de producto varían con la superficie a sembrar. En condiciones especiales, como en el caso de suelos ácidos en el trópico, además del biofertilizante a la semilla, es posible adicionar algún mejorador del suelo, como puede ser el carbonato de calcio, que se aplica para proteger a los microorganismos en la etapa inicial de colonización radical.

PROCEDIMIENTOS DE APLICACIÓN DE BIOFERTILIZANTES

Aplicación Directa a la Semilla

- Coloque la semilla para una hectárea en una tina o sobre una lona
- Vacíe el adherente en polvo en un litro y medio de agua (agite en forma constante) deje reposar y aplique en semilla.
- Humedezca la semilla con la solución obtenida al mezclar el agua y el adherente.
- Posteriormente agregue el Biofertilizante
- Agregue la Micorriza y revuelva.
- Revolver la semilla con el Biofertilizante para que este quede distribuido en la semilla.
- Dejar orear la semilla por dos o tres horas antes de la siembra.
- Todo este proceso tiene que hacerse a la sombra. Los rayos del sol directamente dañan a las bacterias.
- La 2da. Aplicación. Es recomendable una segunda aplicación para mejorar resultados. En este caso aplicar de la misma forma que las plantaciones establecidas.

Aplicación Directa a Plantaciones Establecidas

- Diluir el Azospirillum y la Micorriza en 300 a 400 litros de agua.
- Aplicar al pie de las plantas y árboles con el propósito de que esta mezcla llegue a las raíces.
- Si se aplica con aspersora, es recomendable quitar la boquilla para evitar taponamiento
- También puede aplicarse directamente al riego.

Aplicación Directa a Viveros o Almacigo

- Mezclar el sustrato con la bacteria y la Micorriza.
- Después aplicar a la semilla correspondiente.
- En el trasplante, diluir una dosis en 20 litros de agua y remojar perfectamente la raíz de la planta en el líquido que contiene disuelto el Biofertilizante.
- Proceder inmediatamente al trasplanté.

ASOCIACIÓN DE BACTERIAS Y PLANTAS.

La mayoría de estas asociaciones ocurren al nivel de la rizosfera; pero, ¿qué debemos entender por rizosfera? Lynch la define como toda aquella porción de suelo que está fuertemente influenciada por las raíces de las plantas, la cual a su vez se divide en tres partes: rizoplano (microorganismos pegados a la raíz), endorrizosfera (microorganismos dentro de la raíz) y ectorrizosfera (microorganismos que actúan de manera circundante a la raíz). Dicha asociación se inicia como respuesta al llamado “efecto rizosférico”, el cual sucede a través de un intercambio de señales que se disparan a partir de la interacción microbio-planta, con resultados claramente benéficos para los dos.

Cerca del 40% del carbono fijado en la fotosíntesis, en la parte aérea de la planta, puede ser excretado a la rizosfera, lo que afecta positivamente a la mayoría de las bacterias que ahí habitan, las cuales se nutren de los exudados de las raíces que emiten las plantas, como azúcares, vitaminas, factores de crecimiento, ácidos orgánicos, glúcidos y mucigel (Hernández y Escalona 2003).

La rizosfera se extiende desde la superficie de la raíz hasta 2 mm fuera y sus condiciones físico-químicas y biológicas difieren en muchos aspectos del resto del suelo

situado a cierta distancia. En esta región de la planta sucede además, competencia, mutualismo, predación, y parasitismo que ayudan a la estabilidad de los sistemas de producción agropecuaria. Dependiendo del tipo de relación con la planta, los microorganismos pueden ser nocivos. En el caso de los microorganismos benéficos utilizados como Biofertilizantes, la relación es mutualista y es conocida como simbiosis. Se forman estructuras especializadas dentro de las células de las plantas (nódulos, vesículas, etc.) se denomina simbiosis obligada o estricta cuando el microorganismo sobrevive sin la planta y se asocia en beneficio de ambos, la simbiosis se conoce como asociativa o facultativa.

Hoy se utilizan diferentes microorganismos con funciones específicas en la agricultura para mejorar la productividad de las plantas. Todos son una fuente facilitadora del manejo de los nutrientes que manejan el funcionamiento de los cultivos y forman parte de una tecnología que garantiza una productividad biológica, económica, y ecológicamente más exitosa y sin contaminación del ambiente y de inocuidad reconocida por el hombre. Los microorganismos del suelo aprovechados en la agricultura han tenido diversas denominaciones. Tradicionalmente se han utilizados los términos “inoculo” o “inocular” que es la introducción de los gérmenes en un sustrato cualquiera pero también se han denominado “Fertilizantes bacterianos” e “inoculantes microbianos” (Kapulnik y Okon, 2002).

Algunos productos comerciales que contienen solamente bacterias, son comúnmente llamados “Biofertilizantes”, como el caso de *Rhizobium*, “fitoestimulantes”, como en *Azospirillum*, “biopesticidas” cuando se utilizan para el control biológico como *Pseudomonas* o también, “bioinoculante” En todos los casos pueden utilizarse en los cultivos anuales, las praderas de gramíneas, leguminosas, hortalizas y frutales. En general, los microorganismos promotores del crecimiento vegetal a base de bacteria, son llamadas rizobacterias (PGRP) y generalmente provienen de un cultivo puro de microorganismos aislado de la raíz de alguna planta de interés y se multiplica en un medio de cultivo específico para luego ser transferido al sustrato, y de esta forma son utilizados en la agricultura (Kapulnik y Okon, 2002; Loredo *et al.*, 2007).

¿QUÉ SON LAS BACTERIAS PGPR?

Kloepper definió en 1978 a un tipo de bacteria como PGPR (por sus siglas en inglés, que significan plant growth promoting rhizobacteria, o rizobacteria promotora del crecimiento vegetal), la cual mostró ser un organismo altamente eficiente para aumentar el crecimiento de las plantas e incrementar su tolerancia a otros microorganismos causantes de enfermedades. En años recientes se ha creado cierta controversia respecto de cuándo considerar a una rizobacteria como PGPR, por lo que se han establecido algunas características que definen a este grupo. En primer lugar, que tengan una elevada densidad poblacional en la rizosfera después de su inoculación en las plantas, ya que una población que declina rápidamente tiene una baja capacidad competitiva con la microflora nativa del suelo. Después, que posean capacidad de colonización efectiva en la superficie de la raíz y, como consecuencia, puedan influir positivamente en el crecimiento de la planta. Además, que puedan controlar de manera natural y eficiente a otros microorganismos del suelo capaces de enfermar a las plantas; y por último, que no produzcan daño en el hombre.

La aplicación de este tipo de rizobacterias ha dado como resultado la promoción evidente del crecimiento en plantas, observándose un incremento en la emergencia, vigor, biomasa, desarrollo en sistemas radiculares e incrementos de hasta 30% en la producción de cultivos de interés comercial, tales como papa, rábano, jitomate, trigo y soya, entre otros. Actualmente, el uso de microorganismos representa sólo 1.4% (380 millones de dólares) del mercado global para el control de plagas y enfermedades. Ejemplo de ello es el producto generado a partir de la rizobacteria *Bacillus thuringiensis*, que ha mostrado ser un organismo altamente eficiente para el control de plagas, siendo el bioplaguicida más abundante en el mercado mundial (Hernández y Escalona 2003).

INFLUENCIA DE LAS RIZOBACTERIAS EN EL CRECIMIENTO

La promoción del crecimiento en las plantas inoculadas con rizobacterias ocurre por varios factores; uno de ellos es por la síntesis de ciertas sustancias reguladoras de crecimiento, como giberelinas, citocininas y auxinas, las cuales estimulan la densidad y longitud de los pelos radiculares, aumentando así la cantidad de raíces en las plantas, lo que incrementa a su vez la capacidad de absorción de agua y nutrientes y permite que las plantas sean más vigorosas, productivas y tolerantes a condiciones climáticas adversas, como las heladas o las sequías.

Otro factor importante por el cual las rizobacterias ayudan a las plantas es que existen ciertas especies que las hacen nutrirse mejor; por ejemplo, las *Pseudomonas* sp., las cuales, al solubilizar algunos nutrientes poco móviles del suelo, como el fósforo, mejoran el ingreso de este macronutriente hacia la planta, lo que se traduce en una mayor cantidad de biomasa. Otras especies, como *Rhizobium* sp. y *Bradyrhizobium* sp., aumentan el aporte de nitrógeno, influyendo directamente en el crecimiento, desarrollo y rendimiento. Recientes investigaciones demuestran que existen algunos mecanismos indirectos que influyen en el crecimiento y desarrollo de las plantas, como la producción de ciertos metabolitos que, al funcionar como antagonistas de microorganismos perjudiciales, hacen que las plantas se desarrollen en un ambiente idóneo libre de patógenos y tengan un mayor crecimiento y desarrollo.

LAS RIZOBACTERIAS COMO CONTROL NATURAL DE AGENTES PATÓGENOS

Rizobacterias como las del género *Pseudomonas* spp., suprimen numerosos fitopatógenos del suelo, tales como bacterias, hongos, nematodos y virus (Cuadro 1), mismos que pueden llegar a reducir las cosechas de forma espectacular en los cultivos establecidos tanto en invernadero como en campo. Las vías de control que estos organismos ejercen se dan a través de diversos mecanismos de defensa que involucran la producción de compuestos bacterianos, como sideróforos, ácido cianhídrico (HCN) y antibióticos. Incluso se ha comprobado que las rizobacterias inducen en algunos casos un sistema de resistencia en las plantas que hace que puedan tolerar el ataque de diversos patógenos del suelo al mismo tiempo (Hernández y Escalona 2003).

Los principales mecanismos de acción de las rizobacterias son la fijación del nitrógeno atmosférico, la solubilización de minerales, la producción de sustancias reguladoras del crecimiento, el incremento en el volumen de la raíz, la inducción de resistencia sistémica a patógenos, inhibición del crecimiento de organismos patógenos y la interacción sinérgica con otros microorganismos del suelo. La simbiosis más conocida y más estudiada ha sido *Rhizobium*-leguminosa; agrónomicamente es importante por su contribución en la nutrición nitrogenada de las plantas mediante la fijación del nitrógeno atmosférico, su efecto en las funciones y el desarrollo de la raíz y el vástago (Van Peer *et al.*, 1991; Bashan *et al.*, 1996).

CULTIVO	PAATOGENO
	BACTERIA
Papa	<i>Erwinia carotovora</i>
Pepino	<i>Erwinia tracheiphila</i>
	HONGOS
Soya, papa	<i>Phytophthora spp</i>
Trigo y lechuga	<i>Pythium spp</i>
Algodón, papa y cacahuate	<i>Rhizoctonia solani</i>
Tomate	<i>Sclerotium rolfsii</i>
Papa	<i>Verticillum dahliae</i>
Pepino	<i>Colletotrichum orbiculare</i>
Pepino, Paya jitomate	<i>Fusarium oxysporum</i>
Manzano	<i>Alternaria alternata</i>
	NEMATODOS
Melocotón	<i>Onconomella xenoplax</i>
Soya	<i>Heterodera glycines</i>
Algodón, pepino, cacahuate y tomate	<i>Meloidogyne incógnita</i>
	VIRUS
Pepino	Virus del mosaico
tomate	Virus del mosaico

Cuadro 1. Control biológico de algunos patógenos de diversas plantas utilizando rizobacterias como agentes supresivos (Hernández y Escalona 2003).

La fijación del nitrógeno por los microorganismos es una de las rutas más importantes para introducir de la atmosfera, el nitrógeno molecular (N₂) a las cadenas alimentarias de la biosfera. El 78% del aire en la atmosfera es nitrógeno y en esta forma no puede ser utilizado por los organismos que denominamos “superiores”. Este proceso se realiza por algunos microorganismos de vida libre o asociados a los sistemas radicales que poseen el complejo enzimático nitrogenaza. La otra forma de poner disponible el nitrógeno a las plantas es mediante el proceso industrial, el cual requiere para su fabricación, del uso

de combustibles fósiles no renovables, que conlleva un riesgo potencial de contaminación de las aguas dulces por la lixiviación del NO_3^- de los suelos.

La fijación simbiótica del nitrógeno es un proceso metabólico con participación de la leguminosa y la bacteria. El rizobio se encuentra en los nódulos formados en el sistema radical y la planta le suministra los monosacáridos generados en la fotosíntesis. El microorganismo utiliza estas fuentes de carbono como energía para reducir el N_2 atmosférico a iones amonio y de esta manera “fijarlo”. Es la culminación de una compleja interacción entre la bacteria y el hospedero (Utkhede *et al.*, 1999).

COMPUESTOS QUE PRODUCEN EL BIOCONTROL DE ENFERMEDADES

El hierro es un elemento esencial para el crecimiento de la mayoría de los microorganismos que habitan en el suelo debido a su función en la reacción enzimática de óxido-reducción que utilizan para su crecimiento y desarrollo, por lo que es importante para ellos contar siempre con fuentes constantes de este nutrimento. Algunas rizobacterias aplican cierta estrategia para tratar de asimilar este elemento cuando se encuentran en el suelo en pequeñas cantidades: producen una sustancia de bajo peso molecular afín al ion Fe^{+2} , denominado sideróforo, mismo que se encarga de atraparlo, impidiendo que esté disponible para otros microorganismos que carezcan del sistema de asimilación, lo que asegura que sea el único capaz de utilizarlo, ejerciendo así el control biológico de enfermedades importantes, tales como *Fusarium* spp., *Pythium* spp., *Rhizoctonia* spp., y *Phytophthora* spp.,

Otro compuesto producido por estos microorganismos es el ácido cianhídrico (HCN), que juega un papel muy importante en el control biológico de los agentes patógenos del suelo. Sin embargo, estas sustancias, producidas en grandes cantidades, pueden alterar considerablemente la actividad fisiológica de la planta y llevarla a su muerte. En los últimos años se ha demostrado que la producción en pequeñas cantidades de HCN por las rizobacterias inducen un sistema de resistencia en las plantas que las lleva a producir ciertos metabolitos que las ayudan directamente a tolerar el ataque de algunos patógenos del suelo y de las hojas. Con relación a la producción de antibióticos, entre los casos más comunes de rizobacterias productoras de estas sustancias están las *Pseudomonas fluorescens* y *P. putida*, las cuales tienen la capacidad de sintetizar algunos compuestos que causan la muerte de aquellos microorganismos (principalmente hongos) que entren en contacto con ellas.

POTENCIAL DE LAS RIZOBACTERIAS EN LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

El uso a gran escala de estos microorganismos como biofertilizantes en cualquier sistema de producción agrícola traería grandes beneficios, puesto que son más baratos que los de origen inorgánico, tiene efectos positivos en las plantas (similares a los de un fertilizante químico) y no ejercen un impacto ecológico perjudicial en el ambiente ni en la salud humana.

Pese a que muchas instituciones nacionales se han esforzado en la investigación y uso de estos organismos en el campo mexicano, estos generalmente provienen del extranjero pues se introducen microorganismos en nuestros sistemas de producción que están poco adaptados a los sistemas productivos del país (Hernández y Escalona 2003).

EFECTOS DE LOS BIOFERTILIZANTES APLICADOS EN DIVERSOS CULTIVOS.

Se han desarrollado diversos trabajos de investigación para obtener cepas de elevada eficiencia y alta competencia por sitios de infección nodular para estudiar los factores que afectan la sobrevivencia de los rizobios en el suelo para definir estrategias que permitan la introducción de nuevas cepas en suelos con poblaciones establecidas de rizobio. También se han evaluado la inoculación doble en el cultivo de frijol con *Rhizobium* y con otras bacterias promotoras del crecimiento vegetal, como *Azospirillum*, que ha tenido una interacción positiva en el desarrollo radical y del vástago del frijol, con micorriza arbuscular, donde favoreció en la toma de agua y de nutrientes especialmente fósforo y mejorando en general la nodulación y fijación de nitrógeno de las leguminosas.

Recientemente también se ha encontrado que la aplicación de *Rhizobium* a la semilla, además de las funciones anteriores, también disminuye el ataque de *Fusarium solani*, causante de la marchitez del frijol (Aguirre-Medina *et al.*, 2005).

FUNCION DE LAS MICORRIZAS

Otro grupo de interés son los hongos micorrizicos. Son un grupo de hongos habitantes del suelo, benéficos para la plantas, con capacidad de colonizar la raíz de gran número de especies y establecer una simbiosis. Esta relación simbiótica es una de las más antiguas e importantes en la agricultura moderna. Además constituye un status biográfico obligado en la mayoría de las plantas.

El vocablo Micorriza, proviene de *mico* y *raíz* que significa la unión de la raíz de una planta con las hifas de determinado hongos. Etimológicamente la palabra se forma del griego “micos” (Hongo) y del latín “rhiza” (Raíz), el término fue utilizado por primera vez por Albert B. Frank en 1881, para designar esta simbiosis como “la asociación de un hongo con las raíces de las plantas” tanto cultivadas como silvestres (Plenchette 1992).

Los hongos micorrizicos tienen amplia distribución geográfica en los continentes y en la mayoría de los ecosistemas terrestres con excepción de algunas plantas de zonas pantanosas y acuáticas, se encuentran en condiciones naturales en la mayoría de los cultivos tropicales y subtropicales de interés agronómico y se asocian a plantas de interés económico como las gramíneas, leguminosas, hortalizas y frutales. Las micorrizas difieren entre sí en sus características morfológicas y de acuerdo con la formación de sus estructuras, dentro o fuera de la planta, se han descrito siete tipos siguiendo criterios estructurales, funcionales y taxonómicas que son: Ectomicorrizas, Endomicorrizas o Micorrizas arbusculares (MA), Ectoendomicorrizas, Arbutoides, Monotropoides, Ericoides y Orquidioides.

Los hongos micorrizicos mas usados como biofertilizantes son los endófitos (Endomicorrizas), que tienen la propiedad de penetrar en la corteza de la raíz (no pasan banda de caspari) y su micelio se extiende hacia el exterior con las hifas y son capaces de explorar mayor volumen de suelo y llegar a sitios donde la raíz no puede explorar.

La mayoría de las especies vegetales son colonizadas por micorriza arbuscular, con la excepción de las familias ectomicorrizicas con hongos, *Orquidaceae*, *Ericaceae* y algunas familias que no se han encontrado evidencias de su asociación como en las siguientes: *Chenopodiaceae*, *Cruciferaeae*, *Fumariaceae*, *Cyperaceae*, *Commelinaceae*, *Urticaceae* y *Poligonaceae*.

MAIZ



CHILE



Figura 4. Sistema radical de maíz y chile con y sin micorriza. Fuente: http://www.inifap.gob.mx/noticias/nota_maiz_frijol_fertilizantes.html.

Las endomicorrizas benefician el desarrollo de las plantas o mejoran las condiciones del suelo mediante el incremento en el área de exploración del sistema radical (Figura 4) y mayor abastecimiento de nutrientes y agua, mejor aprovechamiento del agua y las tolerancia a sequia (control de fitopatógenos, con la modificación de las condiciones de la rizosfera y por competencia por espacio y fotosintatos, así como el mejoramiento de la estructura del suelo mediante la producción de glomalina, que es una sustancia que puede actuar como adherente y aglutinar partículas del suelo en agregados más estables, Auge *et al.*, 2001 y Aguirre-Medina *et al.*, 2005). Un ejemplo gráfico de la asociación micorrícica se muestra en la Figura 5.

EFFECTO DE BIOFERTILIZANTES EN EL CULTIVO DE MELÓN ACOLCHADO CON POLIETILENO

En una investigación reciente señala que durante los últimos años, la región de la Costa de Hermosillo se ha convertido en una importante zona productora de melón, con el cultivo de dos tipos y más de diez variedades y rendimientos promedios de 1,500 a 2,000 cajas/ha de exportación. Sin embargo, la rentabilidad de este cultivo ha disminuido, ya que aunado a las condiciones ambientales extremas, escasez de agua y salinidad de los suelos, se ha presentado una alta incidencia de hongos fitopatógenos del suelo. Para el manejo de los problemas citados se dispuso del uso de acolchado plástico en conjunto con biofertilizantes, lo cual representa una alternativa viable para la obtención de cosechas con calidad de exportación.

El empleo de los plásticos en el cultivo de hortalizas incrementa la productividad de los cultivos con la finalidad de dar protección al cultivo tanto contra eventos ambientales como biológicos, señalando entre ellos los extremos de temperatura, la pérdida de agua por evaporación del suelo, la presencia de malezas, la incidencia de plagas y enfermedades.

El uso de biofertilizantes por su parte, presenta la ventaja de que éstos originan procesos rápidos, consumen poca energía y no contaminan el medio ambiente. Esta biotecnología además de incrementar la fertilidad del suelo, favorece el antagonismo y el control biológico de organismos fitopatógenos. En ese estudio evaluó el efecto de biofertilizantes en un cultivo de melón (*Cucumis melo* L. var. *reticulatus* cv. *ovacion*) acolchado con polietileno negro calibre 100 mm.

El trabajo se realizó en la Costa de Hermosillo, Sonora, durante el ciclo primavera-verano del año 2000 (Figura 6). Se aplicaron cuatro tratamientos, tres biofertilizantes: Probiótico 1, Probiótico 2, Probiótico 3 y el testigo, con una distribución en bloques al azar con tres repeticiones. Se analizó el efecto de los biofertilizantes sobre los hongos filamentosos y micorrízicos asociados al cultivo, los factores químicos del suelo, rendimiento, calidad y vida de anaquel del producto.



Figura 5. Asociación micorrícica en melón reticulado variedad ovación. Fuente: <http://www.ciad.mx/boletin/jul-ago-02/Efecto%20de%20Biofertilizantes.pdf>

De acuerdo con los resultados, los probióticos no modificaron significativamente ($p > 0.05$) el contenido de nitratos, fosfatos, potasio, calcio, sodio, pH, conductividad eléctrica, porcentaje de sodio intercambiable ni la relación de absorción de sodio en el suelo. El análisis cuantitativo y cualitativo de los hongos filamentosos presentó cambios

significativos ($p < 0.05$) en las unidades formadoras de colonias (UFC), incrementándose la cantidad y diversidad de micromicetos al final del ciclo de cultivo. Las UFC de hongos potencialmente patógenos para el cultivo como: *Alternaria*, *Fusarium* y *Rhizoctonia* tendieron a disminuir mientras que las especies saprófitas aumentaron. La cantidad de esporas micorrízicas incrementó significativamente en los tratamientos con probióticos ($p < 0.05$), al igual que el porcentaje de raíces micorrizadas, el cual varió de un 26 a 48% contra un 12% de raíces con asociación simbiótica en el testigo (Figura 6). El peso, diámetro y número de frutos no mostró variaciones inherentes a la aplicación de los biofertilizantes. Los factores de calidad evaluados al momento de la cosecha y durante ocho días de vida, post cosecha del fruto, firmeza, pérdida de peso, sólidos solubles totales, acidez titulable y pH, tuvieron un comportamiento similar al testigo ($p > 0.05$). Aunque los resultados obtenidos muestran que el acolchado con polietileno negro en combinación con la aplicación de biofertilizantes estimula la presencia y asociación de micorrizas, así como cambios favorables en la composición de hongos del suelo, sería importante darle un seguimiento a las evaluaciones durante varios ciclos. Sin embargo, la aplicación de probióticos debería evitarse en lo posible, ya que estos microorganismos terminarían por desplazar a la microbiota nativa, (Padilla y Esqueda 2006).

Una estrategia sería realizar un análisis integral: físico, químico y biológico del suelo para determinar los parámetros a trabajar para potenciar a los microorganismos benéficos autóctonos.

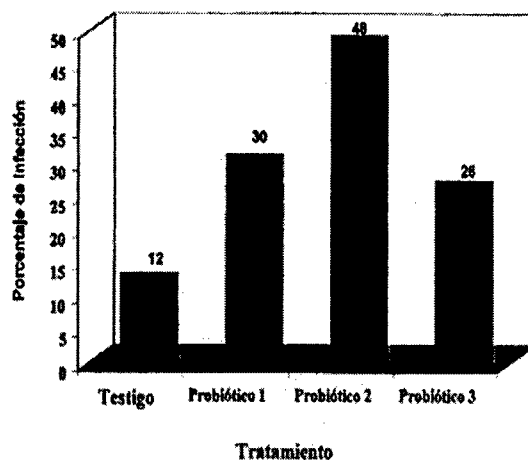


Figura 6. Porcentaje de raíces micorrizadas en melón variedad “Ovación”. Fuente: <http://www.ciad.mx/boletin/jul-ago-02/Efecto%20de%20Biofertilizantes.pdf>

SORGO CULTIVO CON BIOFERTILIZANTES, FITOHORMONAS Y FÓSFORO INORGÁNICO

En un trabajo de investigación mencionan que México, específicamente el Norte de Tamaulipas se caracteriza por tener suelos arcillosos y pobres en materia orgánica, nitrógeno y fósforo, lo que limita la producción de los cultivos. Durante los últimos años, ha recurrido al uso de biofertilizantes para mejorar la absorción de nutrientes, agua del suelo y para mantener una agricultura sustentable, sin embargo, los resultados han sido inconsistentes. El trabajo se planteó con el objeto de evaluar la respuesta de la aplicación de micorrizas *vesículo arbusculares* y *brassinoesteroides* foliares en sorgo (*Sorghum bicolor*) y su relación con la adición de P al suelo (45 kg ha^{-1}) en condiciones de campo. Se observó una respuesta diferencial de los siete tratamientos con biofertilizantes en la absorción de P. El hongo *Glomus intraradices*, solo o combinado con un complejo micorrízico (CINVESTAV-4), registró las concentraciones más altas de P foliar (Figura 7).

La adición de P al suelo no influyó en ninguna de las variables evaluadas y tampoco aumentó la colonización micorrízica. Se detectaron diferencias en el rendimiento de grano entre los biofertilizantes y la dosis de P aplicada al suelo. *Glomus fasciculatum* y el complejo micorrízico CINVESTAV-4 promovieron el rendimiento sin la adición de P al suelo, mientras que el comportamiento de *G. intraradices* no fue afectado por la dosis de P (Garza, 2005).

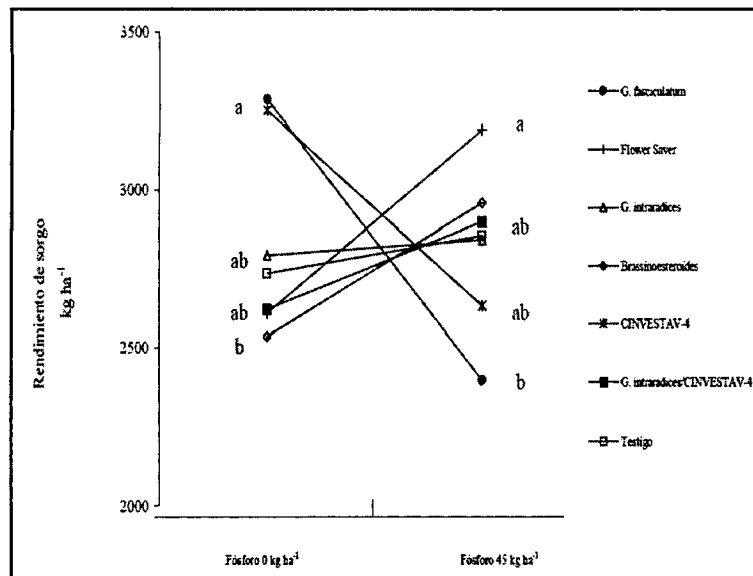


Figura 7. Rendimiento de grano de sorgo en la interacción de siete tratamientos de biofertilizantes y dos niveles de P en el suelo en Río Bravo, Tam. Medias unidas con la misma letra son semejantes con DMS, $P \leq 0.05$. Fuente: <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=57311146017>

MANEJO ALTERNATIVO DE SIGATOKA NEGRA, UTILIZANDO BIOFERTILIZANTES, EN PLANTACIONES COMERCIALES DE BANANO CAVENDISH, VARIEDAD WILLIAMS, CANTON TAURA

Este proyecto se orientó al estudio del efecto de los biofertilizantes líquidos en un predio bananero comercial con un sistema de producción orgánico, situado en la provincia de El Guayas. El material vegetal fue banano, Grupo Cavendish, variedad Williams (AAA). Los biofertilizantes en estudio fueron productos orgánicos del tipo foliar y radicular en comparación con sus mezclas y un control absoluto (no aplicación). La hacienda elabora sus productos a base de estiércol fresco de ganado vacuno, melaza y microorganismos, los que fueron aplicados durante 10 meses en dos ensayos.

El primer ensayo se dirigió a la aplicación sobre plantas madres por un lapso de 7 meses y el segundo a la de su primera generación durante los meses siguientes. Establecido el diseño experimental se evaluaron las características agronómicas y nutricionales de las plantas de banano y el posible potencial de inhibición de los biofertilizantes sobre el desarrollo de *Mycosphaerella fijiensis*, Morelet.

El estudio reveló que el uso de los biofertilizantes ejerce un efecto positivo sobre los parámetros de crecimiento. Con respecto al efecto inhibitorio se mostró que estos influyen sobre el proceso normal de desarrollo de *M. fijiensis*, obteniendo así un menor desarrollo de la enfermedad en plantas tratadas con biofertilizantes que las plantas no tratadas (control).

En el aspecto nutricional las plantas tratadas con biofertilizantes presentaron niveles superiores en varios elementos esenciales para la producción de banano (Maura, Luis, Jiménez 2009).

EFECTO DE LA BIOFERTILIZACIÓN EN VIVERO DEL CACAO (*Theobroma cacao* L) CON *Azospirillum brasilense*

Theobroma cacao L. es una especie originaria de América y ha estado ligada al desarrollo de diversas culturas indígenas en las regiones tropicales húmedas. Su semilla se utiliza para la elaboración de alimentos, bebidas y golosinas y su demanda se ha incrementado cuando se cultiva sin agroquímicos. La nutrición de la planta mediante biofertilizantes microbianos es una alternativa para incrementar la oferta de cacao orgánico. En este trabajo se identificó el aporte de dos microsimbiontes en el desarrollo vegetal y nutrimental del cacao en dos condiciones de suelo del Soconusco, Chiapas, México, uno de ellos tratado con bromuro de metilo y otro sin tratar.

Las semillas de cacao se inocularon con *Azospirillum brasilense* y *Glomus intraradices*, solos o combinados al momento de la siembra. Se registraron variables morfológicas y fisiológicas del rendimiento y el contenido de N₂, P y Ca²⁺ en el tejido vegetal cada 30 días durante seis meses.

Los resultados indicaron una respuesta diferencial entre condiciones de suelo y microsimbiontes en la asignación de materia seca. Los órganos de la planta más modificados fueron la raíz y la lámina foliar. Las plantas inoculadas mostraron mayor concentración de N₂ en suelo no tratado. *G. intraradices* fue más efectivo en promover la incorporación de P en suelo no tratado y de Ca²⁺ en ambas condiciones del suelo, (Aguirre-Medina, 2007).

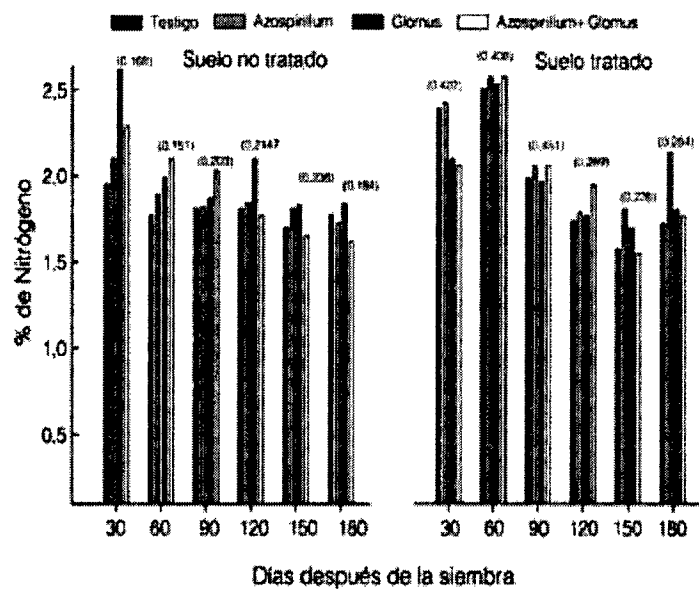


Figura 8. Contenido de Nitrógeno en plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L.) biofertilizadas con *A. brasilense* y *G. Intraradices* en condiciones de un suelo andosol-molico de soconusco, Chiapas México. Lo valores son promedios de ocho plantas por tratamiento y muestreo. Cada tratamiento muestra el intervalo de confianza a través de la diferencia mínima significativa (DMS).

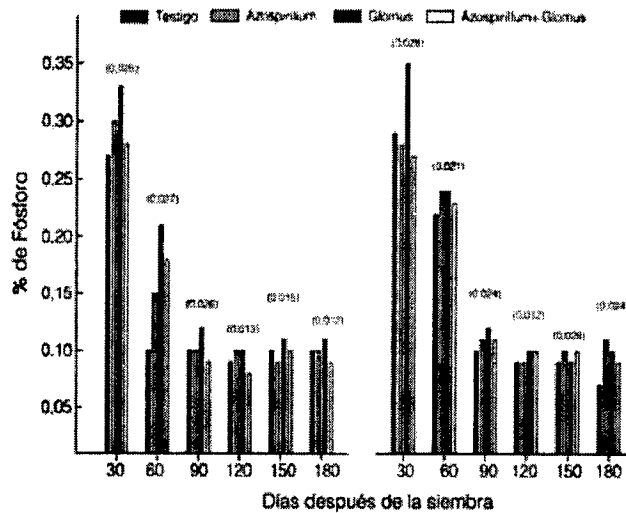


Figura 9. Contenido de fósforo en plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L.) biofertilizadas con *A. brasilense* y *G. Intraradices* en condiciones de un suelo andosol-molico de soconusco, Chiapas México. Lo valores son promedios de ocho plantas por tratamiento y muestreo. Cada tratamiento muestra el intervalo de confianza a través de la diferencia mínima significativa (DMS).

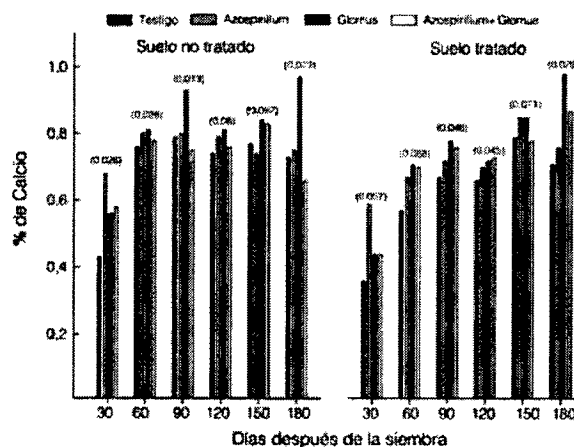


Figura 10. Contenido de calcio en plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L.) biofertilizadas con *A. brasilense* y *G. Intraradices* en condiciones de un suelo andosol-molico de soconusco, Chiapas México. Lo valores son promedios de ocho plantas por

tratamiento y muestreo. Cada tratamiento muestra el intervalo de confianza a través de la diferencia mínima significativa (DMS).

BIOFERTILIZANTES MICROBIANOS USADOS COMO TECNOLOGÍA PARA INCREMENTAR LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ A NIVEL NACIONAL.

Actualmente se en el ámbito de aplicación nacional, se está llevando a cabo en todas las regiones agroclimáticas de México, especialmente para productores marginales que no tiene acceso a los fertilizantes químicos por economía o por problemas orográficos que dificultan el transporte de los fertilizantes químicos y donde el INIFAP dispone de material básico para la multiplicación del hongo micorrízico y para ello se requiere que cualquier organización o empresa interesada gestione y financie su reproducción. La bacteria se encuentra disponible en el país en dos empresas y en la Universidad Autónoma de Puebla. Esta tecnología constituye una oportunidad para establecer agro negocios.

El costo estimado para una hectárea se estima en \$150.00 para aplicación de ésta tecnología. Sin embargo, este costo se compensa con el ahorro que se obtiene de aplicar menos fertilizante químico. Con esta tecnología se espera incrementar el rendimiento de un promedio nacional de 2.20 t/ha sin biofertilizante a 3.18 t/ha aplicando micorriza y a 3.59 t/ha mediante la aplicación de micorriza y Azospirillum juntos. También se espera una reducción en costos de producción por disminución de aplicación de fertilizantes químicos y reducción de contaminación de mantos freáticos.



Figura 11. Detalle de la infección o colonización simbiótica de una micorriza arbuscular mostrando los vesículos que forman en el interior de la raíz de la planta hospedera. (Aguirre- Medina, 2003).

VENTAJAS EN EL USO DE BIOFERTILIZANTES MICROBIANOS EN LA AGRICULTURA

- Reducción de los costos de producción
- Aumento de la productividad
- Aumento de la calidad de los productos finales
- Reducción de la dependencia externa por fertilizantes
- Aumento de la estabilidad de las producciones
- Reducción del impacto ambiental de la agricultura
- Valor añadido: agricultura ecológica

CULTIVOS SUSCEPTIBLES DE BIOFERTILIZACIÓN

- Gramíneas: maíz, trigo, cebada, sorgo, arroz, caña de azúcar
- Leguminosas
- Hortícolas: papa, tomate, lechuga, pimiento, algodón
- Frutales
- Floricultura
- Forestales

MICROORGANISMOS UTILIZADOS EN LA BIOFERTILIZACION

- *Rhizobium*
- *Azospirillum*
- *Azotobacter*
- *Bradyrhizobium*
- *Azotobacter*

Rhizobium: específicos para frijol, maní, Vigna y abonos verdes, estos pueden sustituir 75-80% del fertilizante nitrogenado mediante su actividad de nitrógeno atmosférico.

Bradyrhizobium: utilizados en el cultivo de la soya y leguminosas forrajeras, que permiten sustituir hasta el 80% de las necesidades de nitrógeno de estos cultivos.

Azotobacter: Se aplica sobre todas las hortalizas, yuca, boniato, maíz, arroz, plátano, cítricos, entre otros cultivos y son capaces de suministrar a las plantas entre el 15-50% de sus necesidades de nitrógeno, mediante su capacidad para fijar nitrógeno atmosférico;

además sintetizan sustancias biológicamente activas que permiten acortar los períodos del cultivo y estimular el rendimiento.

Azospirillum: pueden sustituir hasta un 25% del fertilizante nitrogenado en el arroz y ligero incremento del rendimiento. También es de gran utilidad como caña de azúcar y pastos.

Micorriza Vesículo Arbusculares: generalizados en viveros de café, que hacen innecesaria la aplicación de fertilizantes fosfórico y reducen las necesidades de fertilizantes nitrogenado y potásicos en muchos suelos cubanos, también se acorta el período necesario para el trasplante.

Solubilizadores de fósforo: aislados de suelos cubanos, que se aplican en hortalizas, yuca, boniato, viveros de café, viveros de plantaciones de cítricos entre otros, y permiten reducir entre 50-80% las necesidades de fertilizantes fosfóricos, al mismo tiempo que son capaces de estimular los rendimientos. La capacidad de los microorganismos para suministrar nutrientes y estimular el crecimiento de las plantas depende de su exitoso establecimiento sobre las raíces. Por estas razones se hace necesario explicar el papel que desempeña la rizosfera y su gran importancia para lograr resultados efectivos con la aplicación de los biofertilizantes.

CLASIFICACION TAXONOMICA DE *RHIZOBIUM*

Rhizobium: es un género de bacterias gram-negativas de perfil de suelo que fijan nitrógeno atmosférico. Pertenece a un grupo de bacterias fijadoras de nitrógeno que se denominan colectivamente rizobio. Viven en simbiosis con determinadas plantas (como por ejemplo las leguminosas) en su raíz, después de un proceso de infección inducido por la propia planta mediante la secreción de lectina, a las que aportan el nitrógeno necesario para que la planta viva.

Dominio: Bacteria

Filo: Proteobacteria

Clase: Proteobacteria alfa

Orden: Rhizobiales

Familia: Rhizobiaceae

Género: Rhizobium (Frank, 1889)

CLASIFICACION Y PROPIEDADES MICROBIOLÓGICAS

Los microorganismos del suelo pueden ser clasificados en microorganismos descomponedores y sintetizadores. Los descomponedores están divididos en dos grupos, los que desarrollan la descomposición oxidativa y otros la fermentativa. El grupo fermentativo está dividido en fermentación útil (simplemente llamada fermentación) y fermentación dañina (llamada putrefacción). Los microorganismos sintetizadores pueden subdividirse en grupos teniendo en cuenta la habilidad fisiológica para fijar nitrógeno atmosférico en aminoácidos y/ o dióxido de carbono en moléculas orgánicas simples a través de la fotosíntesis.

La fermentación es un proceso anaeróbico por el que microorganismos facultativos (ej., levaduras) transforman complejas moléculas orgánicas en carbohidratos, en componentes que pueden ser absorbidos directamente por las plantas. La descomposición aeróbica resulta de una completa oxidación de un sustrato y liberación de grandes cantidades de energía, gas, y calor con dióxido de carbono y agua como productos finales. La putrefacción es el proceso por el cual microorganismo heterótrofos facultativos descomponen las proteínas anaeróbicamente, produciendo malos olores incompletamente oxidados, metabolitos (ej., mercaptanos) que son a menudo tóxicos para las plantas y animales.

El término “síntesis” como es usado aquí, hace referencia a la capacidad biosintetizadora de ciertos microorganismos para derivar energía metabólica fijando nitrógeno o dióxido carbono atmosférico. En este contexto se hace referencia a ellos microorganismos sintetizadores, y si llegan a ser una parte predominante de la micro flora del suelo, entonces el suelo podrá ser llamado un suelo sintetizador.

Los microorganismos nitro fijadores son ampliamente diversos, extendiéndose desde bacterias autotróficas de vida libre de genero azotobacter, a bacterias heterótrofas simbióticas del genero Rhizobium y algas verdes azules (ahora clasificadas como bacterias verdes azules), todas las funciones aeróbicamente. Microorganismos fotosintéticos fijan dióxido de carbono en una manera similar a las plantas (Olalde y Serratos, 2004).

CICLO DE VIDA DE LOS HONGOS MICORRIZICOS

El ciclo de vida de los hongos micorrizicos inicia con la germinación en el suelo de sus propagulos o esporas y crecen al azar en busca de una raíz susceptible a ser colonizada. Requieren de un sistema radical vivo para completar su ciclo biológico. Por ello la fuente de inóculo proviene de hongos asociados a raíces de plantas “nodriza” Los hongos micorrizicos incrementan en diversos sustratos y procedimientos.

Las fuentes de inóculo son las esporas, hifas, fragmentos de cuerpos fructíferos y raíces colonizadas. Se ha comprobado que la aplicación de diversas combinaciones de microorganismos, hongos y bacterias en diferentes plantas, tienen efecto sinérgico en la nutrición de la planta huésped y su concomitante beneficio en el desarrollo vegetativo y reproductivo, como es el caso de la simbiosis doble con *Rhizobium-Glomus sp* en *Leucaena*, *Azospirillum-Glomus* en cacao (Aguirre-Medina et al., 2007), *Azospirillum-Glomus*, *Rhizobium-Glomus* en diversos cultivos anuales o la simbiosis triple, *Rhizobium-Glomus-Azospirillum* en frijol (Aguirre-Medina 2006).

Además existen evidencias de ciertos microorganismos asociados a las raíces de las plantas que son capaces de inducir tolerancia a la sequía (Aguirre-Medina 2005).

RENDIMIENTOS EN DIVERSOS CULTIVOS CON APLICACIÓN DE BIOFERTILIZANTES

En una investigación realizada por el INIFAP en cultivos de maíz, sorgo, cebada, avena forraje, avena grano y frijol, obtuvieron los siguientes resultados (Cuadro 2) donde se reflejan claramente los rendimientos en cada uno de los cultivos con el uso de Azospirillum, Micorriza y Azos+ Mico.

CULTIVO	AZOSPIRILLUM	MICORRIZA	AZOS+MICO
MAIZ	10.5%	11.5%	26.0%
SORGO	22.9%	10.8%	28.3%
CEBADA	46.6%	20.7%	61.7%
AVENA FORRAJE	10.8%		
AVENA GRANO	43.3%		
	RHIZOBIUM	MICORRIZA	RHIZO+MICO
FRIJOL	30.6%	22.1%	46.0%

Cuadro 2. Rendimientos del INIFAP en el 2000: Fuente: http://www.inifap.gob.mx/noticias/nota_maiz_frijol_fertilizantes.html.

SIMBIOSIS MICORRICICA

Aproximadamente el 80% de las especies vegetales de la tierra que se han estudiado la forma de la simbiosis micorrizal (y el 92% de las familias de plantas), que existen en todas partes, desde los pequeños huertos familiares a los ecosistemas de gran tamaño (Wang y Qiu, 2006; Helgason y Fitter, 2009).

Según su morfología, las micorrizas se dividen en distintos grupos entre los que cabe destacar dos principales: las ectomicorrizas y las endomicorrizas donde dentro de estos dos grandes tipos existen cinco tipos de micorrizas que son las: Arbusculares, Arbutoides, Ericoides, Monotropoides y Orquidoides o micorrizas de ovillo, se clasifican por sus propias características morfológicas (Wang y Qiu, 2006; Garg *et al.*, 2006).

De ellos, las micorrizas arbusculares (MA) es la más común y predominante. Arbúsculos, específicos "pocas en forma de árbol" estructuras fúngicas, sirven como los principales sitios de intercambio de nutrientes entre la planta y el hongo (Nara, 2007). Los simbiosntes de hongos se forman dentro de las células vivas en el cortical de la raíz (Manchanda y Garg, 2007). Esta estructura es común a todas las asociaciones de este tipo de micorrizas (Franken *et al.*, 2007). Las MA son habitantes del suelo con un presunto origen por lo menos 460 millones de años (Redecker et al, 2000;. Bonfante, 2008).

Quizás debido a esta antigua asociación con las plantas, las MA han perdido su capacidad para vivir y completar su ciclo de vida en ausencia de un socio verde (Requena *et al.*, 2007). Glomeromycota consta de aproximadamente 150 cepas que colonizan una amplia gama de ambas especies de plantas mono y dicotiledóneas (Paszowski, 2006).

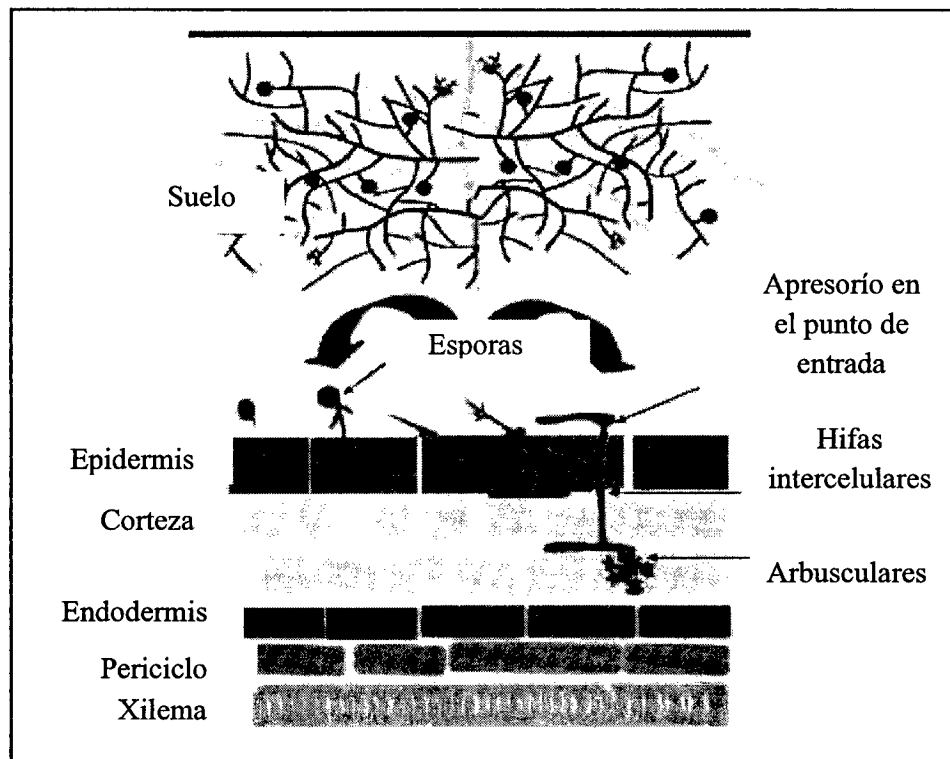


Figura 12. Representación esquemática de la secuencia de acontecimientos que condujeron a la formación de micorrizas arbusculares (MA) en simbiosis. FUENTE: www.agronomy-journal.org.

Estas comunidades de MA influyen una serie de procesos importantes del ecosistema, incluida la productividad de la planta, la diversidad vegetal y la estructura del

suelo (Vander Heijden *et al.*, 1998). Por lo tanto, no sólo las actividades de MA tienen múltiples funciones que mejoran el rendimiento de la planta, sino que también desempeñan un papel crucial en el desarrollo de las propiedades del suelo y el bienestar de todo el ecosistema.

DESARROLLO DE LAS MICORRIZAS ARBUSCULARES.

El establecimiento de la simbiosis de MA puede ser considerado como una secuencia programada de cambios fenotípicos, que corresponde a distintos eventos de reconocimiento que conducen a los dos socios, el anfitrión de plantas y hongos simbioses, con un alto grado de morfológica y la integración fisiológica.

PRIMERAS ETAPAS DEL CRECIMIENTO ASIMBIÓTICO DE HONGOS

Hongos micorrícicos arbusculares son biotrofos, no puede completar su ciclo de vida durante asymbiosis. Las esporas de hongos MA son la única fase de la planta independiente del microbio. Son redondas, con estructuras en forma de una gruesa pared celular y el diámetro promedio de entre 50 y 100 micras. Contienen una gran cantidad de núcleos, hasta 2000 por esporas. Después de la germinación, las hifas son siempre coenocíticas.

Estudios en dos especies de MA han demostrado que estos son haploides con una variación genética inusualmente alta (Hijri y Sanders, 2004). Evaluaciones del tamaño del genoma de estos hongos han mostrado variaciones extremas entre las diferentes especies que van desde alrededor de 16.5 Mb en *Glomus intraradices* (Hijri y Sanders, 2004) hasta 1,058.4 Mb en *Scutellospora gregaria*. Las esporas de MA germinan bajo el agua y condiciones apropiadas de temperatura y las hifas crecen por 2-3 semanas.

Varios núcleos del movimiento de esporas en el micelio se extiende y algunos de ellos experimentan mitosis (Requena *et al.*, 2000). Durante este tiempo las colonias de hongos se extienden unos pocos centímetros, que muestra un patrón de crecimiento característico con el dominio apical marcada y poco frecuentes ramificación de hifas. El septimo apical es acompañado por la vacuolización extensa y la retracción del protoplasma a la espora. Durante esta fase asimbiótica, el hongo vive principalmente de sus reservas de triacilglicérido.

Esta fase de crecimiento en ausencia de señales de la planta es lo que se conoce como la etapa a simbiótica. Por lo tanto, en la etapa de asimbiótica, las esporas germinan y los hongos MA muestran el desarrollo de las hifas limitada en ausencia de una planta huésped. (Requena *et al.*, 2007)

CICLO DE VIDA DE LAS MICORRIZAS ARBUSCULARES

El establecimiento de la simbiosis de las MA comienza con la colonización de una raíz compatible por las hifas del suelo producida por los propágulos de hongos MA, o esporas asexuales de raíces micorrizadas. Después de la unión de un hifa a la superficie de la raíz por medio de un apresorio, el hongo penetra en la corteza y las distintas formas de estructuras morfológicamente especializados: hifas inter e intracelulares, bobinas y arbusculos.

Arbusculos son hifas especializadas, al igual que haustorios de los hongos fitopatógenos, formado como estructuras de intercalar entre las hifas de la bobina, y son el sitio de la transferencia de nutrientes minerales a la planta y, potencialmente, el lugar de adquisición de carbono por el hongo (Requena *et al.*, 2007; Pumplin y Harrison, 2009). Después de la colonización, el micelio del hongo crece a partir de la raíz, explorando el suelo en busca de nutrientes minerales, y puede colonizar otras raíces susceptibles. El ciclo de vida de hongos se ha completado después de la formación de clamidosporas asexual en el micelio externo. Distintas etapas morfológicas por lo tanto, pueden ser identificados durante el ciclo de vida de los hongos micorrícicos arbusculares (Requena y Breuninger, 2004). Esto muestra claramente que la planta huésped juega un papel clave en la orquestación del proceso de infección MA (Eckardt, 2005).

La secuencia de pasos que conducen a una simbiosis MA es muy conservada entre las diferentes combinaciones de especies de hongos y plantas. En general, estos procesos de desarrollo requieren de la comunicación molecular entre el hongo y la planta de MA, incluido el intercambio y la percepción de las señales de los socios simbióticos (Bucher, 2007). Por lo tanto, las alteraciones morfológicas y fisiológicas complejas de la pareja simbiótica acompañado por el proceso de reconocimiento indican que la simbiosis MA es el resultado de eventos múltiples facetas, la señalización ajustado (Paszkowski, 2006).

MICORRIZAS Y SUS DIVERSAS FUNCIONES.

Las micorrizas son la regla en la naturaleza, no la excepción. En esta asociación el hongo se hace cargo del cabello de la raíz de la planta y actúa como una extensión del sistema radicular (Muchovej, 2004). Los efectos beneficiosos de MA ha resultado de uno o varios mecanismos de la colonización con micorrizas, en las raíces hay una mayor absorción en el área de la superficie, mayor área de suelo expuesto, mayor longevidad de las raíces absorbentes, una mejor utilización de los nutrientes de baja disponibilidad y una mejor retención de nutrientes solubles, lo que reduce la reacción con los coloides del suelo o de las pérdidas por lixiviación (Muchovej, 2004; Selvaraj y Chellappan, 2006).

Redes Arbusculares de micorrizas: procesos y funciones.

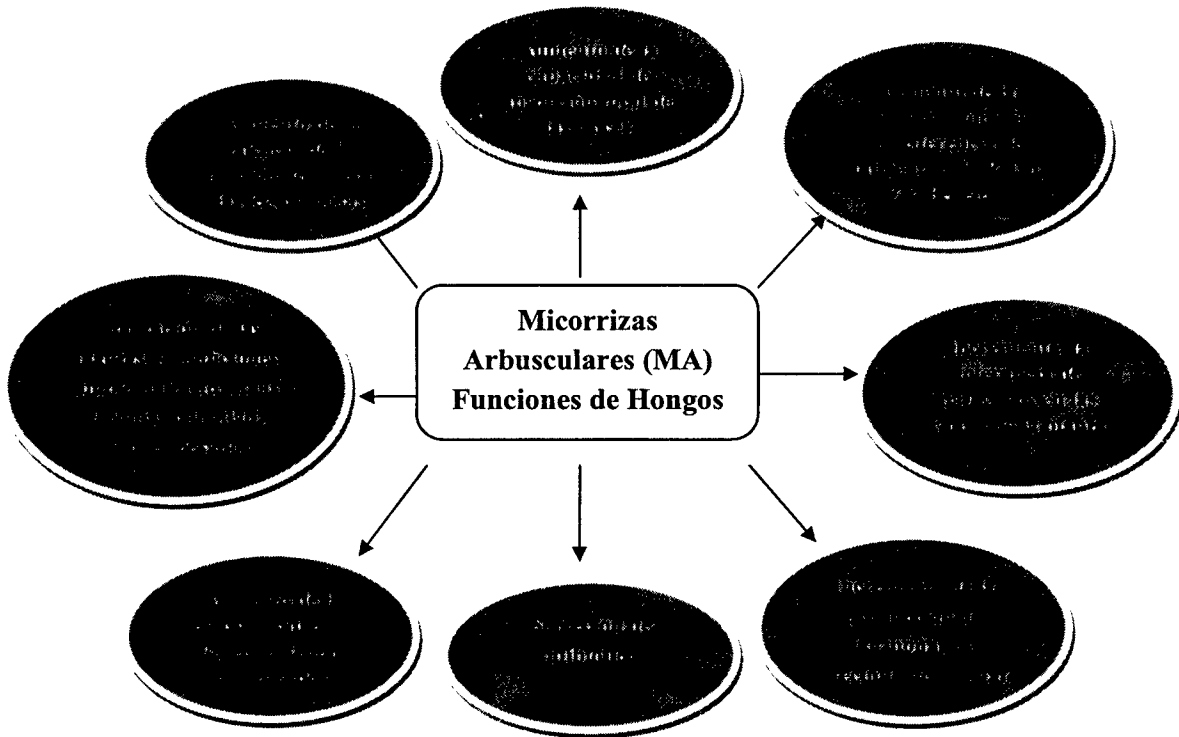


Figura 13. Visión general de la diversidad funcional de las micorrizas arbusculares (MA) y su simbiosis en los ecosistemas terrestres. Fuente: www.agronomy-journal.org.

Las MA aumenta el establecimiento, la capacidad de nodulación y fijación de nitrógeno atmosférico en las leguminosas (Turk *et al.*, 2008). Las micorrizas influyen en la

colonización de las raíces por otros microorganismos, y reducir la susceptibilidad de las raíces de los patógenos del suelo como los nematodos y hongos fitopatógenos (Selvaraj y Chellappan, 2006). También las MA modifican el suelo, planta, agua las relaciones, promoviendo así una mejor adaptación de las plantas a condiciones adversas, como sequía, salinidad o el calor (Fig. 13). A elevadas concentraciones de metales pesados en los suelos, los hongos micorrícicos se han demostrado para desintoxicar el ambiente para el crecimiento vegetal (Muchovej, 2004).

El verdadero significado de los hongos micorrícicos, es que se conectan a los productores primarios de los ecosistemas, las plantas, los nutrientes heterogénea requiere para su crecimiento, lo que permite el flujo de compuestos ricos en energía necesaria para la movilización de nutrientes, mientras que al mismo tiempo proporcionar los conductos para el desplazamiento de los productos movilizados de regreso a sus anfitriones. Por lo tanto, la comprensión de la ecología y el funcionamiento de la simbiosis de la mañana en el ecosistema natural o agrícola son esenciales para la mejora del crecimiento y la productividad.

SIMBIOSIS MICORRICICA Y LA NUTRICIÓN MINERAL

Obligatoriamente en función de fotosíntesis de plantas como fuentes de energía, los sistemas extensivos de micelio (la parte vegetativa del hongo) efectivamente explorar el suelo y sustratos que adquiere los nutrientes de suelos inorgánicos incluyendo los macronutrientes N, P y K y algunos micronutrientes, Cu, Fe y Zn , con cierta capacidad para la adquisición de nitrógeno orgánico y fósforo. Estos nutrientes derivados del suelo no sólo son esenciales para el desarrollo de Ma, sino también en parte transferido a la planta huésped (Smith y Lee, 1997; Leake *et al.*, 2004).

CAPTACIÓN DE FOSFATO CON MEDIANTE LA SIMBIOSIS DE MA

El papel principal de las MA es suministrar las raíces infectadas de plantas con fósforo, que es un elemento extremadamente inmóvil en el suelo (Bucher, 2007). Incluso si el fósforo se añade al suelo en forma soluble pronto se convierte en inmovilizado como fósforo orgánico, fosfatos de calcio u otras formas fijas (Wetterauer y Killon, 1996). Los hongos MA se sabe que son eficaces para aumentar la absorción de nutrientes, especialmente fósforo y la acumulación de biomasa de muchos cultivos en el suelo bajo contenido de fósforo (Osonubi *et al.*, 1991).

LA RUTA DE ABSORCIÓN SIMBIÓTICA PI (FOSFATO INORGÁNICO)

Las MA mejorar la adquisición de la planta de fosfato (Pi). Recientemente se ha demostrado que, dependiendo de la combinación planta- hongos particularmente, la absorción de fosfato simbiótica parcial pueden participar o incluso dominar a toda la adquisición de Pi (Smith *et al.*, 2003). La movilidad muy reducida de Pi en el suelo y la absorción de Pi rápida en el lugar de la raíz para el desarrollo de una zona de agotamiento alrededor del cilindro del cabello de la raíz y una rápida disminución en la adquisición de Pi con el tiempo (Marschner, 1995; Roose y Fowler, 2004).

El micelio del hongo MA extraradical crece mucho más allá de la zona de agotamiento, llegando a un nuevo grupo de fosfato soluble (Smith y Lee, 1997). Mientras que en las raíces no micorrizadas la extensión de la zona de agotamiento Pi está estrechamente relacionado con longitud del cabello de la raíz (Marschner y Dell, 1994), en las raíces micorrizadas la zona de agotamiento del Pi supera con creces el cilindro del cabello de la raíz. Esto indica que Pi, que no está disponible directamente a la planta, se entrega por las hifas fúngicas. Por lo tanto, la presencia de la zona de agotamiento Pi en la rizosfera es un factor importante que contribuye a la ventaja de plantas que forman asociaciones de micorrizas. En sentido estricto, una planta micorrizada no constituye una rizosfera, sino más bien un "micorrizosfera", compuesto de la rizosfera y la hidrosfera. En este sistema simbiótico, el hongo se cierra la micorrizosfera y Pi es transportado, en forma de polifosfatos, desde la interfase del suelo del hongo MA a la interfaz de intraradical simbiótica (Bucher, 2007).

La ruta metabólica propuesta de adquisición simbiótica Pi se inicia con la asimilación de Pi inorgánicos en el suelo, las hifas interfaz por hongos de alta afinidad a los transportistas (Harrison y van Buuren, 1995; Maldonado-Mendoza et al, 2001; Benedetto *et al.*, 2005). En el interior del hongo, Pi inorgánicos se desplaza en la forma de polifosfato de las estructuras fúngicas fuera de la raíz de los de adentro (Solaiman et al, 1999; Ohtomo y Saito, 2005). Antes de la liberación en la interfaz de periarbuscular, el fosfato inorgánico se convierte en despolimerizado Pi (Ohtomo y Saito, 2005). El Pi se adquiere desde la interfaz de la planta codificada q sirve como transportadores de fosfato.

RELACIÓN AGUA-PLANTA

Aunque en la mayor parte del trabajo realizado con los hongos MA se ha concentrado efectos en la nutrición de las plantas de minerales, también existe un interés creciente en la resistencia a la sequía de las plantas micorrizadas . Los hongos MA son importantes en la agricultura sustentable, ya que mejoran las relaciones planta de agua y así aumentan la resistencia a la sequía de las plantas hospedadas. Mejora el estado hídrico de la planta y los cambios en las relaciones de agua se han atribuido a una amplia variedad de mecanismos, entre ellos algunos mecanismos que no están directamente relacionadas con la nutrición de fósforo o de absorción de agua. Las capacidades específicas de la planta-hongo, asociadas a tolerar la sequía son de gran interés (Ruiz-Lozano *et al.*, 2003).

La infección entre hongos MA ha reportado que aumenta la absorción de nutrientes en la escasez de agua de las plantas, permitiendo a las plantas el uso más eficiente del agua y para aumentar la conductividad hidráulica en la raíz. La absorción por las raíces de agua depende de la conductancia hidráulica radicular, que es en última instancia, regido por las acuaporinas (Luu y Maurel, 2005). Las acuaporinas son proteínas de membrana intrínseca que forman un poro en las membranas celulares de los organismos vivos, facilitando el flujo de agua pasiva a través de membranas después de un gradiente osmótico (Kruse *et al.*, 2006).

La membrana plasmática de proteínas intrínsecas (PIP), regulan el transporte hídrico a través de los tejidos vegetales. Las plantas que sobre expresan o que carecen de uno o más genes de PIP tiene el agua más o menos capacidad de absorción de la raíz, respectivamente (Aharon *et al.*, 2003; Javot *et al.*, 2003). De hecho, las plantas con AM

con frecuencia son más tolerantes al estrés de sequía y la sal que los no- plantas AM (Khalvati *et al.*, 2005; Al-Karaki, 2006; Porcel *et al.*, 2006; Aroca *et al.*, 2007). Las plantas MA son capaces de tomar más agua de la tierra que las plantas no MA en condiciones de deficiencias de agua (Khalvati *et al.*, 2005). Sin embargo, esta capacidad depende de las especies de hongos, *Glomus intraradices* que es uno de los hongos MA más eficientes para mejorar el consumo de agua en la plantas (Marulanda *et al.*, 2003).

Aroca *et al.*, (2007) evaluó cómo las influencias de las simbiosis MA, la raíz de las propiedades hidráulicas, la expresión de las acuaporinas y abundancia en raíces de *Phaseolus vulgaris* L. plantas en condiciones de sequía, el frío o las condiciones de salinidad. Se informó de que la colonización de las raíces de *P. vulgaris* por el hongo *Glomus intraradices* MA evita la deshidratación de la hoja causado por la sequía y la salinidad del tratamiento según lo revelado por el mayor contenido de agua relativo (RWC) de MA que sale en comparación con los no-AM en hojas. Estos resultados confirman el efecto beneficioso de los hongos MA en el estado del agua de la planta hospedera en estas dos tensiones (Porcel *et al.*, 2006). La protección de las plantas micorrizadas frente a la escasez de agua está relacionada con los efectos que tienen los endofitos en la conductancia de la hoja cada vez mayor y la transpiración, así como la absorción de P y K. El potasio juega un papel clave en el estrés de la planta de agua y se ha encontrado que el soluto catiónico que es responsable del movimiento de los estomas en respuesta a cambios en el estado de agua a granel de la hoja. Por lo tanto, la simbiosis MA regula las propiedades hidráulicas de raíz y mejora la tolerancia a raíz de la conductancia hidráulica a las tensiones sequía, el frío y la salinidad. La mejora de la sequía en diferentes especies de MA el cual se puede atribuir a características fisiológicas (fijación de CO₂, la transpiración, uso eficiente del agua) y nutrición (P y K) de acuerdo a los mecanismos de los hongos que participan en la asociación simbiótica. Adaptadas MA aislados de hongos que son potencialmente importantes para mantener y restaurar el equilibrio suelo-planta en situaciones de la agricultura sustentable (Aroca *et al.*, 2007),

El papel desempeñado por los hongos MA en la solución de estrés hídrico de las plantas ha sido investigado y parece que la resistencia a la sequía es mayor. Los mecanismos precisos que sustentan esta todavía está en duda, pero podría ser un efecto indirecto del micelio extraradical para mejorar la absorción de nutrientes.

El alivio de la escasez de agua no sólo se limita a las zonas áridas o semiáridas del planeta, sino también cuando ocurren las sequías a corto plazo, una mayor dependencia de los hongos MA para la absorción de nutrientes puede ser detectada con frecuencia.

FERTILIZACIÓN ORGÁNICA

La fertilización orgánica se basa en la aplicación de materia orgánica previamente sometida a un proceso de compostaje. La disponibilidad de fuentes para la zona es la gallinaza, la cachaza y muy escaso el lombrí abono. El compostaje de los estiércoles es un proceso necesario, donde los microorganismos benéficos ayudan a sintetizar o transformar los nutrientes, haciéndolos asimilables a la planta y al suelo. El tiempo que requiere un proceso de compostaje de estiércoles, se puede acelerar con la aplicación de caldos microbiológicos y estar para uso en 30 - 40 días. La fertilización orgánica se complementa con la aplicación foliar de caldos microbiológicos y sulfatos permitidos que suplen las necesidades de elementos menores, que son necesarios para las funciones reproductivas de la planta y la resistencia al ataque de plagas y enfermedades. Para hortalizas se recomienda aplicar al momento de la siembra ó trasplante, 1 kilo de Composta por planta ó metro lineal del surco más 20 gramos de micorriza.

Actualmente ya existe en el mercado caldos de microorganismos (Agroplus) que es un ejército de microorganismos (bacterias, hongos, actinomicetos, algas y protozoos) que aceleran la descomposición de la materia orgánica, para producir humus rico en nutrientes y para liberar bióxido de carbono fundamental para la fotosíntesis de las plantas. Prácticas no adecuadas como quemas, aplicaciones indiscriminadas de agroquímicos (herbicidas, insecticidas, fungicidas, fertilizantes) y la exposición directa del suelo a la acción del sol, son factores adversos que reducen la concentración de estos microorganismos y en muchos casos ocasionan su destrucción total. Su aplicación puede ser foliar o radicular.

PRODUCCIÓN DE ABONO ORGÁNICO

Los abonos orgánicos se pueden producir a partir de residuos de cosecha (pulpa de café, vástago de plátano, cáscaras) y en general desechos en fosas ó montones, se recomienda aplicar 4 litros de Agro plus (caldo microbiano) diluido por m² a cada capa de 20 cm. de espesor. Proteja el material en descomposición de la acción directa del sol. Aplique semanalmente Agro plus diluido durante 3 ó 4 semanas en la parte superior y en

las caras laterales de los montones. La descomposición ocurre entre las 6 -10 semanas. En lombricultura, aplicar a las camas de las lombrices Agroplus diluido 1:3, con esto se acelera la actividad productora de humus. Se puede aplicar también a los materiales de alimentación de las lombrices, 2-e días antes de suministrarlos, para adecuar el alimento y acelerar el proceso de descomposición por parte de las lombrices.

AREAS DE OPORTUNIDAD

Con esta información recopilada, está demostrado que el uso y aplicación de los biofertilizantes microbianos y orgánicos puede realizarse satisfactoriamente y a bajo costo en cultivos establecidos a campo abierto, así como en sistemas de agroplasticultura. Estas nuevas técnicas pueden aplicarse a cultivos como gramíneas, leguminosas, hortalizas e incluso a cultivos como el cacao y el banano, donde según las investigaciones realizadas muestran muy buenos resultados en sus rendimientos. De esta manera podemos demostrar que actualmente existen nuevas técnicas modernas de bajo impacto ambiental al emplear microorganismos benéficos como las rizobacterias y las micorrizas que nos permiten producir alimentos saludables y sobre todo realizando una agricultura sustentable que deje una menor huella o impacto en los agroecosistemas, evitando con esto el uso de agroquímicos sintéticos o tradicionales que impactan negativamente el ambiente y afectan la salud de humanos, animales y además contaminan los cuerpos de agua superficiales y subterráneos.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los recientes cambios en nuestro planeta y la creciente demanda de los consumidores de alimentos orgánicos o producidos de forma sustentable, requiere la incorporación de las funciones naturales de los microorganismos, y fertilizantes orgánicos para estimular el desarrollo de una agricultura sustentable, así como la producción orgánica de alimentos que actualmente tienen gran demanda en todo el mundo y que sin duda alguna la seguirán teniendo aún más en el futuro. Los recientes progresos en el análisis molecular y genético de algunos microorganismos como *Rhizobium* han proporcionado nuevos conocimientos sobre la evolución de la simbiosis con las plantas hospedadas, que permite conocer más el desarrollo de estos microorganismos que son de gran ayuda para producir alimentos sanos, y a su vez para coadyuvar en el cuidado de nuestros sistemas agrícolas y de los ecosistemas en general, apoyando en la restauración de suelos y evitando contaminar con sustancias químicas que afectan nuestros mantos acuíferos, bosques y demás componentes de los ecosistemas.

Por lo tanto, podemos concluir que es posible implementar un sistema ecológico de producción con la incorporación de los distintos microorganismos benéficos (rizobacterias y micorrizas), lo que nos estaría brindando una alternativa más económica y sobre todo para proveer alimentos libres de agroquímicos dañinos, en principio a escala familiar, estatal, regional, nacional y posteriormente avanzar progresivamente hacia una horticultura global, de bajo o cero impacto ambiental, ó sea hacia una agricultura ecológica o sustentable.

NOMENCLATURA

BPC: Bacterias promotoras de crecimiento

PGRP: Plant Growth Promoting Rhizobacteria

MA: Micorrizas Arbusculares

Mos: Microorganismos

Cu: Cobre

CO₂: Dióxido de carbono

Ca: Calcio

Fe: Hierro

Ha: Hectárea

Kg: Kilogramo

K: Potasio

Pi: Fosfato

P: Fosforo

N: Nitrógeno

N₂: Nitrógeno

NO₃: Nitratos

O₂: Oxigeno

Zn: zinc

PPM: partes por millón

UFC: Unidades Formadoras de Colonia

REFERENCIAS

- Aguirre-Medina, Juan F., Mendoza-Lopez, Alexander, Cadena-Iñiguez, Jorge et al. Efecto de la biofertilización en vivero del cacao (*Theobroma cacao* L.) con *Azospirillum brasilense* Tarrand, Krieg et döbereiner y *Glomus intraradices* Schenk et Smith. INCI, ago. 2007, vol.32, no.8, p.541-546.
- Aryal U.K., Xu H.L. (2001) Mycorrhizal associations and their manipulation for long-term agricultural stability and productivity, *J. Crop Prod.* 3, 285–302.
- Aroca R., Porcel R., Ruiz-Lozano J.M. (2007) how does arbuscular mycorrhizal symbiosis regulate root hydraulic properties and plasma membrane aquaporins in *Phaseolus vulgaris* under drought, cold or salinity stresses? *New Phytol.* 173, 808–816.
- Aharon R., Shahak Y., Wininger S., Bendov R., Kapulnik Y., Galili G. (2003) Overexpression of a plasma membrane aquaporin in transgenic tobacco improves plant vigor under favorable growth conditions but not under drought or salt stress, *Plant Cell* 15, 439–447.
- Azcón R., Ruiz-Lozano J.M., Rodriguez R. (2001) Differential contribution of arbuscular mycorrhizal fungi to plant nitrate uptake of ¹⁵N under increasing N supply to the soil, *Can. J. Bot.* 79, 1175–1180.
- Azcón R., Ruiz-Lozano J.M., Rodriguez R. (2001) Differential contribution of arbuscular mycorrhizal fungi to plant nitrate uptake of ¹⁵N under increasing N supply to the soil, *Can. J. Bot.* 79, 1175–1180.
- Azcón-Aguilar C., Jaizme-Vega M.C., Calvet C. (2002) Plant defense responses induced by arbuscular mycorrhizal fungi, in: Gianinazzi S., Schuepp H., Barea J.M. (Eds.), *Mycorrhizal Technology in Agriculture*, Birkhauser press, Basel, pp. 187–198.
- Bécard G., Pfeffer P.E. (1993) Status of nuclear division in arbuscular mycorrhizal fungi during in vitro development, *Protoplasma* 174, 62–68.
- Bonfante P., Genre A. (2008) Plants and arbuscular mycorrhizal fungi: an evolutionary developmental perspective, *Trends Plant Sci.* 13, 492–498

- Benedetto A., Magurno F., Bonfante P., Lanfranco, L. (2005) Expression profiles of a phosphate transporter gene (GmosPT) from the endomycorrhizal fungus *Glomus mosseae*, *Mycorrhiza* 15, 620–627.
- Bucher M. (2007) Functional biology of plant phosphate uptake at root and mycorrhiza interfaces, *New Phytol.* 173, 11–26.
- Dodd J.C. (2000) The role of arbuscular mycorrhizal fungi in agro- and natural ecosystems, *Outlook Agr.* 29, 63–70.
- Eckardt N.A. (2005) Insights into plant cellular mechanisms: of phosphate transporters and arbuscular mycorrhizal infection, *Plant Cell* 17, 3213–3216.
- Gianinazzi S., Schüepp H., Barea J.M., Haselwandter K. (2002) Mycorrhizal technology in agriculture – From genes to bioproducts, Birkhäuser, Basel
- Garza-Cano, Idalia; Pecina-Quintero, Víctor; Díaz-Franco, Arturo; Williams-Alanís, Héctor; Ramírez-De León, José Alberto Sorgo cultivado con biofertilizantes, fitohormonas y fósforo inorgánico *TERRA Latinoamericana*, Vol. 23, Núm. 4, octubre-diciembre, 2005, pp. 581-586 Universidad Autónoma Chapingo, México.
- Gabriel Quadri; La agricultura en México, *Revista el economista*, julio 2009.
- Luis G. Hernández Montiel y Miguel A. Escalona Aguilar, 2003, Volumen XVI N° 1, *Revista de divulgación científica Y Tecnológica de la Universidad Veracruzana*
- Johansson J.F., Paul L.R., Finlay R.D. (2004) Microbial interactions in the mycorrhizosphere and their significance for sustainable agriculture, *FEMS Microbiol. Ecol.* 48, 1–12.
- Juan F. Aguirre-Medina, Alexander Mendoza-López, Jorge Cadena-Iñiguez y Carlos H. Avendaño-Arrazate, 2007, efecto de la biofertilización en vivero del cacao (*Theobroma cacao* L) CON *Azospirillum brasilense*, INCI, V.32 N° 8 Caracas Ago. 2007
- Kruse E., Uehlein N., Kaldenhoff R. (2006) The aquaporins, *Genome Biol.* 7, 206.
- Luu D.-T., Maurel C. (2005) Aquaporins in a challenging environment: molecular gears for adjusting plant water status, *Plant Cell Environ.* 28, 85–96.

Muchovej R.M. (2006) Importance of mycorrhizae for agricultural crops. SS-AGR-170, Agronomy Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida.

Ohtomo R., Saito M. (2005) Polyphosphate dynamics in mycorrhizal roots during colonization of an arbuscular mycorrhizal fungus, *New Phytol.* 167, 571–578.

Padilla, E., Sánchez, J.A., Troncoso, R., Sánchez, A. y Esqueda, M. Efecto de Biofertilizantes en Cultivo de Melón Acolchado con Polietileno, *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 29 (4): 321 – 329, 2006.

Parniske M. (2008) Arbuscular mycorrhiza: the mother of plant root endosymbioses, *Nature Rev. Microbiol.* 6, 763–775.

Porcel R., Aroca R., Azcón R., Ruiz-Lozano J.M. (2006) PIP aquaporin gene expression in arbuscular mycorrhizal *Glycine max* and *Lactuca sativa* plants in relation to drought stress tolerance, *Plant Mol. Biol.* 60, 389–404.

Ruiz-Lozano J.M. (2003) Arbuscular mycorrhizal symbiosis and alleviation of osmotic stress. New perspectives for molecular studies, *Mycorrhiza* 13, 309–317.

Smith S.E., Read D.J. (2008) *Mycorrhizal Symbiosis*, Academic Press, Inc., San Diego, CA.

Van der Putten W.H., Klironomos J.H., Wardle D.A. (2007) Microbial ecology of biological invasions, *ISME J.* 1, 28–37.

<http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/1337>.Febrero,2009.

http://www.inifap.gob.mx/noticias/nota_maiz_frijol_fertilizantes.html.

Sagarpa.gob.mx

www.agronomy-journal.org