

**EMPLEO DE BIOFERTILIZANTES EN EL CONTEXTO DE LA
AGRICULTURA SOSTENIBLE COMO ALTERNATIVA DE LA
NUTRICIÓN DE LAS PLANTAS.**

MSc: Dania Bárbara Núñez Sosa.

*. Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”, Vía Blanca Km.3,
Matanzas, Cuba.*

Resumen.

El empleo de biofertilizantes en la Agricultura constituye una de las vías para mejorar la fertilidad del suelo y lograr estimular la nutrición de las plantas. En los últimos años en el contexto de la Agricultura sostenible se ha incrementado su utilización para sustituir en gran medida a los productos químicos. Ha sido demostrada su efectividad en cuanto al mejoramiento de las condiciones físicas, químicas y biológicas de los suelos, el nivel de nutrición de los cultivos, la sanidad y el rendimiento de los mismos. El objetivo del presente trabajo es caracterizar algunos de los biofertilizantes utilizados en nuestro país, haciendo énfasis en sus características, efectos sobre las plantas, formas de aplicación y ventajas que ofrecen su uso, para ser utilizado como bibliografía complementaria por los estudiantes de la carrera Agronomía en la asignatura Fitotecnia General.

Palabras claves: Biofertilizantes, Agricultura sostenible.

Introducción

En los últimos tiempos a escala mundial y bajo el principio de la biotecnología, se han estado introduciendo en la producción agrícola numerosos productos de origen microbiano para sustituir en gran medida los productos químicos, abaratar la agricultura y reducir los riesgos de contaminación, (Rodríguez, 1993), quien señala además que la biofertilización de los cultivos agrícolas es una estrategia importante para mejorar las condiciones físicas, químicas y biológicas de los suelos y por consiguiente el nivel de nutrición, sanidad y rendimiento de los mismos.

Medina, (2006) plantea que en el suelo existe una notable población microbiana, dentro de la que se encuentran los microorganismos beneficiosos como los del género *Azospirillum* caracterizados por realizar funciones como la fijación de nitrógeno atmosférico, que ha recibido considerable atención por la capacidad de estos microorganismos de formar una estrecha relación con numerosas especies de plantas, ya que estas Rizobacterias en asociaciones con los vegetales promueven el crecimiento y rendimiento de los cultivos bajo condiciones apropiadas, por otra parte tenemos los hongos Micorrizógenos Arbusculares que son capaces de establecer una relación simbiótica con las raíces de las plantas aportándoles grandes beneficios, ya que actúan como un activador de la regeneración del sistema vegetativo. Entre las principales ventajas de este microorganismo se reportan el incremento en los procesos microbianos, y la mejora de la eficiencia de los fertilizantes minerales ya que las mismas producen sustancias activas estimuladoras del crecimiento.

La utilización de los biofertilizantes en los sistemas agrícolas productivos es una alternativa para lograr un desarrollo agrícola económicamente viable y sostenible. De esta manera, se han incrementado los esfuerzos para la introducción de organismos del suelo y las plantas (Martínez, 2001). Por otra parte (Hernández y Chailloux, 2004), exponen que el mundo microbiano ofrece para ello prometedoras alternativas, teniendo en cuenta que en el suelo se encuentran hongos y bacterias con una gran capacidad para promover y mejorar la nutrición de las plantas.

El empleo de biofertilizantes constituye una biotecnología “limpia”, de gran interés económico y ecológico para la agricultura moderna. Estos sistemas de inoculación y manejo cultural de hongos micorrizógenos y bacterias constituyen tecnologías ecológicamente racionales, exponiéndose como una de las prácticas de base biológica más promisorias e innovativas para el sector agrícola (Terry et al., 2004).

Efectos beneficiosos de los biofertilizantes sobre cultivos de importancia económica.

Los biofertilizantes son un componente vital de los sistemas sustentables, ya que constituyen un medio económicamente atractivo y ecológicamente aceptable de reducir los insumos externos y de mejorar la cantidad y calidad de los recursos internos.

El producto biofertilizante a base de la bacteria *Asospirillum brasilense*, en el beneficio de cultivos en Cuba, logra suplementar del 80% al 100% de las necesidades del nitrógeno en los frijoles, incrementando además ligeramente (entre 3 – 5 %) los rendimientos, producto de la producción de sustancias activas con la obtención de una mayor calidad en los granos cosechados (Bernardo, 2006).

Una amplia gama de bioproductos empleados a la Agricultura Urbana lo constituye la serie de biofertilizantes elaborados a base de microorganismos beneficiosos del suelo, entre los que se encuentran *Azospirillum brasilense* y hongos Micorrizógenos arbusculares (HMA) (Bernardo, 2006).

Ventajas de los biofertilizantes.

Según (Martínez y Carvajal, 2001).

Producen mayor vigor y desarrollo de las posturas, acortando la fase de semillero entre 9-10 días.

Pueden sustituir hasta el 50 % del fertilizante mineral.

Incrementan los rendimientos entre el 20-30 %.

Aumentan las poblaciones de hongos y bacterias benéficas del suelo.

Micorrizas arbusculares (MA).

Las MA son el tipo de más amplia distribución geográfica y las más abundantes en la naturaleza, ya que se establecen entre el 80 y 90% de las especies vegetales estudiadas hasta la fecha, entre ellas, la mayoría de las que presentan un interés agronómico (Rodríguez, 2005). Se encuentran tanto en ecosistemas naturales como en los modificados. En contraste con el alto número de especies botánicas que forman este tipo de simbiosis, se estima que pueden originar solamente unas 150 especies de hongos agrupados (Gryndler, 2007).

La historia de las micorrizas se remonta a unos 400 millones de años, específicamente al periodo Devónico, a partir del cual hongos y plantas han evolucionado hasta lo que son hoy

en día. (Taylor et al., 1995). Por otra parte, (Redecker et al., 2000) descubrieron esporas de Glomales en restos fósiles en las cercanías de Wisconsin pertenecientes al Precámbrico (600 millones de años atrás aproximadamente), lo cual evidencia la estable permanencia de estos hongos en el planeta desde 200 millones de años antes que el surgimiento de las plantas terrestres.

Los hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) son asociaciones entre la mayoría de las plantas existentes, con hongos benéficos, que permiten incrementar el volumen de la raíz y por tanto permiten una mayor exploración de la rizósfera y son consideradas los componentes más activos de los órganos de absorción de nutrientes de la planta (Fernández, 2004).

Sin embargo, el vocablo Micorriza fue empleado por primera vez y con un interés puramente sistemático, por el ilustre botánico de origen alemán Albert Bernard Frank en el año 1885, para designar “la asociación que se producía entre las hifas de algunos hongos del suelo con los órganos subterráneos de la gran mayoría de las plantas superiores”. Desde el punto de vista etimológico, la palabra se formó a partir del término griego “mykos” (hongo) y del vocablo latino “rhiza” (raíz). Esta asociación ha dado lugar a un nuevo órgano que tiene morfología y fisiología propia y que autores como: (Strullu, 1991) y (Allen, 1992) lo llamaron hongo-raíz.

A las asociaciones simbióticas mutualistas se le denomina micorrizas. Estas asociaciones ocurren entre los hongos del suelo y raíces de plantas superiores. El hongo heterótrofo coloniza la raíz de la planta y le proporciona nutrientes minerales y agua, que extrae del suelo por medio de su red externa de hifas, a cambio la planta le suministra sustratos energéticos y carbohidratos que elabora a través de la fotosíntesis. (Dorrego, 2000).

Los hongos formadores de Micorrizas arbusculares no solubilizan el fósforo, pero pueden aumentar la absorción del que está disponible porque exploran un volumen de suelo más grande que el que normalmente exploran las raíces no micorrizadas (Fernández, 2004).

Clasificación de las Micorrizas

(López y Barceló, 2001), señalan que existen tres tipos de Micorrizas conocidas:

Ectomicorrizas: Los hongos que las forman, Basidiomycetes y Ascomycetes, desarrollan una espesa capa de micelio sobre la zona cortical de las raíces. Dentro de ellas existen los géneros: Suillus, Cortinarius, Rhizopogon, Cenococcuym, Thelefora, Pisolithus.

Sus características es la penetración de las hifas del hongo entre las células de la corteza radicular formando un manto fúngico o “red de Karting”. Provoca cambios anatómicos que producen el crecimiento dicotómico de las raíces, fragmentando las mismas. Se pueden visualizar microscópicamente.

Ectendomicorrizas: Los hongos que las producen colonizan de forma dual las raíces: externamente formando un manto cortical e internamente penetrando intracelularmente en el cortex. En estas existe el género: Endogone.

Presentan características intermedias entre las ectomicorrizas, su distribución es restringida.

Endomicorrizas: Los hongos que las producen se caracterizan por colonizar intracelularmente el cortex radical. No son detectadas visiblemente, forman una red externa de hifas menos profusa que la anterior. Se propagan a través de las raíces y penetran el interior de las células corticales sin llegar a colonizar el endospermo. Dentro de este grupo existen tres tipos característicos:

Orquideomicorrizas (asociadas a Orquidiáceas). Dentro de ellas existen los géneros: *Armillariella*, *Gymnopilus*, *Marasmius*, *Fomes*, *Xerotus*, *Ceratobasidium*, *Corticium*, *Sebacina*, *Tulasnella*.

Ericomicorrizas (ligadas a Ericáceas y con muchas similitudes estructurales con las ectendomicorrizas). Se conoce de ellas el género: *Pezizella*.

Micorrizas arbusculares (MA): Forman arbuscúlos intracelulares. Dentro de ellas existen los géneros: *Acaulospora*, *Entrophospora*, *Gigaspora*, *Glomus*, *Sclerocystis* y *Scutellospora* (Caballero y Dorrego, 2001), señalan que “son las de mayor importancia económica y ecológica y las que más ampliamente se encuentran distribuidas. Están presentes en la mayoría de las Angiospermas” y en muchas Gimnospermas leñosas, con excepción de las Pináceas.

Efecto beneficioso de las micorrizas.

Tomando en cuenta la necesidad de reducir el uso indiscriminado de fertilizantes químicos, durante los últimos años, han venido realizándose múltiples estudios acerca del papel relevante de las MA en la producción vegetal (Siquiera, 1986).

El beneficio reportado por el uso de las asociaciones micorrízicas arbusculares en el crecimiento de las plantas resulta espectacular, particularmente en suelos tropicales, deficientes en fósforo (P) asimilable y en donde el potencial de explotación de estas es mucho mayor que en regiones de clima templado (Fernández, 1999) y (Sieverding, 1991).

La inoculación de las plantas con hongos micorrizógenos provoca de manera general un marcado incremento en los procesos de absorción y translocación de nutrientes tales como: P, N, K, Ca, Mg, Zn, Cu, Mo y B (Montilla et al, 2002).

(Azis y Habte, 1990), han demostrado que la inoculación de los suelos con hongos micorrizógenos arbusculares (MA) puede incrementar el crecimiento de las leguminosas deficientes de fósforo y/o suelos fijadores de fósforo. El hongo MA facilita la absorción de nutrientes inmóviles especialmente el fósforo, a través de la extensión hifas en el suelo.

Ventajas o beneficios por aplicación de los HMA.

Entre las ventajas producidas por la inoculación con HMA, se encuentran:

Contribución a la nutrición mineral de la planta, en especial a su aporte de fósforo, por absorción, traslocación y transferencia, en la nutrición nitrogenada de la planta y en la adquisición de otros nutrientes como zinc y cobre y se considera que probablemente podrían traslocar potasio, calcio, magnesio y azufre.

(Moya, 2001) señaló que los microorganismos utilizados como biofertilizantes tienen un triple papel como suministradores de nutrientes, fitohormonas y antagonistas de hongos fitopatógenos.

(Martínez y Hernández, 1995), mencionan las principales ventajas que producen estos microorganismos:

Control biológico para algunos patógenos provenientes del suelo, e incremento de la tolerancia de la planta a patógenos.

Incrementan los procesos microbianos y las plantas se benefician en breve tiempo.

Efecto positivo sobre el desarrollo y distribución de biomasa.

Consumen escasa energía no renovable.

Mejoramiento de la tolerancia a condiciones de estrés hídrico y salinidad.

Influencia sobre la fotosíntesis de la planta hospedera.

Producción de hormonas estimulantes o reguladoras del crecimiento vegetal.

Incremento en la relación parte aérea / raíz de la planta micorrizada.

Aportes en recuperación de suelo por ser formadores de agregados del suelo.

Son productos “limpios” que no contaminan el medio ambiente.

Pueden mejorar la eficiencia de los fertilizantes minerales.

En tal sentido, (Marschner y Dell, 1994) señalan que la inoculación de plantas con hongos micorrizógenos provoca, de manera general, un marcado incremento en los procesos de absorción y traslocación de nutrientes tales como: P, N, K, Ca, Mg, Zn, Cu, Mo y B.

Las micorrizas arbusculares pueden incrementar la obtención de nutrientes relativamente poco móviles, especialmente fósforo, a partir de la explotación de mayor volumen del suelo por parte de las hifas de estos hongos (Bolan, 1991) y a través de la solubilización del fósforo orgánico por las enzimas fosfatasas derivadas de las hifas de estos hongos (Ezawa et al., 1995).

El fósforo actúa en la fotosíntesis, respiración, división, elongación celular y entre otras funciones estimula el crecimiento de las raíces, demostrándose en estudios más recientes los efectos benéficos de las micorrizas arbusculares en el incremento del peso seco de las hojas y raíces como resultado de la asimilación de fósforo (Vilar, et al., 2001).

Actualmente se reconoce el efecto directo de las micorrizas sobre la absorción de prácticamente todos los elementos esenciales minerales (George, 2000), a partir de estructuras captadoras de nutrimentos muy similares a los arbusculos intrarradicales (Bago et al., 2000).

Existen numerosos estudios acerca de los mecanismos a través de los cuales las micorrizas arbusculares incrementan de forma directa la nutrición de las plantas, sin embargo las micorrizas arbusculares también benefician de forma indirecta la planta huésped mejorando la estructura del suelo a través de la formación y estabilización de los agregados (Bethlenfalvay et al., 1999).

Biofertilizante micorrizógeno EcoMic®

El producto EcoMic® es una serie de inoculantes microbianos elaborados a partir de productos de determinadas especies de hongos micorrizógenos arbusculares individuales, de probada infectividad y alta eficiencia.

En la elaboración de este producto se emplean las siguientes especies de HMA de forma individual: *Glomus fasciculatum*, *Glomus mosseae*, *Glomus claroideum* y *Glomus clarum*, pertenecientes a la familia Glomaceae, orden Glomales, clase Zygomycetes.

El mismo se obtiene a partir de la inoculación previa de este microorganismo a plantas hospederas por recubrimiento de sus semillas, que incluyen por lo general las especies *Sorghum vulgare* y *Brachiaria decumbens* y de su posterior desarrollo en el sistema radical (Espinosa, 2002).

Un aspecto importante a la hora de reproducir estos hongos es el genotipo del hospedante. Con relación a esto se debe seleccionar una especie con dependencia micorrizica, preferentemente una planta de ciclo corto (4 - 6 meses) que posea a su vez un sistema radical que garantice una adecuada producción de propágulos micorrizicos. Entre las especies que han demostrado ser buenas hospedantes se encuentran además de las mencionadas anteriormente las siguientes: *Plantago lanceolata*, *Sorghum bicolor*, *Paspalum notatum*, *Fragaria sp*, *Zea mays* y *Allium cepa*.

El inoculante está listo cuando se cumple el ciclo reproductivo de los cultivos y es extraído conjuntamente con el sustrato, el cual incluye todos los propágulos infectivos del hongo micorrizógeno (esporas, raicillas infestadas y fragmentos de hifas). No obstante éste puede ser extraído en cualquier otro momento, dependiendo de la cantidad de propágulos existentes en el sustrato.

En la actualidad este producto se fabrica bajo la tecnología de canteros multiplicadores.

Los rangos de concentración de esporas / gramo de sustrato, establecidos para ambos tipos de inoculantes son los siguientes:

Inoculo Certificado

Glomus fasciculatum: 125 - 250 esporas / gramo de sustrato.

Glomus clarum: 250 - 350 esporas / gramo de sustrato.

Glomus mosseae: 50 - 70 esporas / gramo de sustrato

Inoculo Agrícola.

Cualquiera de las cepas anteriores: 20 - 30 esporas/gramo de sustrato.

Formas de aplicación

Las formas de aplicación de este inoculante según el (INCA, 2002), son las siguientes:

Para siembra directa (cereales, granos y otros). Inocular la semilla mediante la tecnología de recubrimiento de semillas en una proporción del 10 - 15% de su peso.

Semilleros (tomate, pimiento, ají y otros). Aplicar 1 kg de EcoMic® por metro cuadrado (m²) de cantero.

Viveros (café, cítricos, frutales y otros). Aplicar 5 -10 g de EcoMic® debajo de la semilla en el momento de la siembra.

Bancos de enraizamiento (clavel, rosa y otros). Aplicar 1 kg de EcoMic® por metro cuadrado (m²) en el sustrato.

Vitro plantas (fase de adaptación); (caña de azúcar, plátano, café, piña, flores y otros). Aplicar 2 -3 g de EcoMic® por planta en el sustrato de adaptación.

Instrucciones para su uso.

Cultivos de siembra directa (cereales, granos y otros). Inocular las semillas mediante la tecnología de recubrimiento en una proporción de 10% de su peso. Semillero (tomate, cebolla, etc.). Mezclar 1Kg de EcoMic® por m² de suelo

Vivero (café, cítrico, y otros) 10g de EcoMic® debajo de la semilla.

Banco de enraizamiento (clavel, rosas, pompón y otros). Aplicar 1Kg de EcoMic® por m²

Plantas in Vitro (banano, flores, café. etc.). Aplicar 3 g de EcoMic® por plantas en el sustrato de adaptación.

Cultivo de ciclo largo establecidos (palma africana, café, frutales, etc.). Se le aplican 200g de EcoMic® por plantas después de la cosecha.

Este producto es especialmente indicado para: Arroz, Algodón, Soya, Maíz, Pastos, Girasol, Maní, Fríjol, Café, Cítrico, Frutales, Flores y Hortalizas.

Género Azospirillum.

Díaz et al. (2003), plantean que entre las rizobacterias más empleadas en la aplicación de biofertilizantes, se encuentra el género *Azospirillum* sp el cual es capaz de asociarse a una amplia gama de cultivos, siendo las gramíneas las que más han sido estudiadas en su relación con el mismo. Estas han dado resultados promisorios en muchos cultivos, gran parte de ellos hortícola y no hortícola. Su inoculación en las plantas conlleva a un aumento significativo del sistema radical, induce a la resistencia de agentes patógenos y es proveedor de elementos tan necesarios como el nitrógeno, inhibe la proliferación de plantas parásitas además de producir hormonas que estimulan el crecimiento vegetal permitiendo un desarrollo más económico y saludable de los cultivos

Estas bacterias se caracterizan por no formar estructuras especializadas (como nódulos), simplemente crecen en la superficie de las raíces y en la rizósfera, crean una asociación simbiótica, siendo esta el sistema más complejo de la fijación biológica del nitrógeno atmosférico.

Beijerinck en el año 1925 descubrió las bacterias aeróbicas fijadoras de nitrógeno como *Spirillum* y las ubicó en la familia Spirillaceae; género *Spirillum*. Desde entonces se han aislado cientos de cepas en numerosos países y los estudios realizados con estas han suministrado suficientes argumentos para proponer la creación de un nuevo género, el *Azospirillum* (Tarrand et al., 1978).

Características del género *Azospirillum*

El nombre *Azospirillum* proviene del francés azote, que significa nitrógeno y del grupo *spirillum*, pequeña espiral. Su descubrimiento data del año 1925 a partir de suelo holandés, a la que primeramente se le nombro *Azotobacter spirillum* y que posteriormente se denominó *Spirillum lipoferum*. En 1978 después de sucesivos aislamientos de esta bacteria, se sugirió agrupar a estos organismos en un nuevo género al que se le llamo *Azospirillum*. Inicialmente dos especies de *Azospirillum lipoferum* y *Azospirillum brasilense* fueron identificados basándose en diferentes morfologías y fisiologías entre varias cepas y en experimentos de homologías del ADN (Bouillant, 1998).

Posteriormente se añadieron tres especies: *Azospirillum amazonense*, aislado a partir de varios pastos en el área del amazonas en Brasil (Tarrand, 1978), *Azospirillum halopraeferans*, tolerante a elevadas concentraciones salinas y de preferencia por las altas temperaturas (40°C) y *Azospirillum irakense*, aislado a partir de la rizosfera de arroz en la región de Diwaniyah, Irak (Khammas, 1989). En 1997, basándose en estudios moleculares algunos autores proponen transferir al género *Azospirillum*, la subespecie con *glomeromonas largomobilis*, subespecie *largomobilis*, nombrado *Azospirillum largomobilis* como sexta especie. Recientemente en honor de quien impulsa los estudios con este género bacteriano y descubierto otros diasotrofo, se ha propuesto la especie candidata *Azospirillum deuberunarea* (Eckert, 2001). De las especies mencionadas *Azospirillum brasilense* y *Azospirillum lipoferum* son las más reconocidas y mejores estudiadas.

Las bacterias pertenecientes a este género son organismos fijadores de nitrógeno molecular, de carácter rizosférico por lo cual actualmente se les señala como bacterias promotoras de crecimiento de las plantas.

Se encuentran distribuidas en todo el mundo, donde poseen amplia distribución ecológica ya que ha sido posible detectar su presencia en zonas templadas, tropicales y subtropicales (Pazos, 2000 y Velascos, 2001). En la literatura se describen como gran negativas en lo que la gran variabilidad ha sido observada en varias cepas de *Azospirillum brasilense*. Estas bacterias tienen como característica esencial que colonizan la rizósfera, se pueden encontrar libres en el suelo o en asociación con las mismas (Burdman y Jurkevitch, 2000).

Se considera esta asociación, como una “simbiosis asociativa” por no tratarse de una verdadera simbiosis mutualista, ya que induce cambios morfológicos y fisiológicos en las raíces de las plantas debido a la producción de hormonas de crecimiento, provocando en ellas el aumento de la toma de agua y minerales, lo cual sumado a la fijación biológica de nitrógeno atmosférico promueven el crecimiento y el aumento de las producciones agrícolas (Doréis, 2000).

(Pazos, 2000), sugiere que son organismos fijadores de N que poseen una amplia distribución ecológica. Una de las características fenotípicas usadas como criterio para el reconocimiento del género *Azospirillum* es el color blanco debido a la incapacidad de producir polisacáridos no identificados.

Azotobacter.

El *Azotobacter* es un fijador no simbiótico. Es una bacteria fijadora de nitrógeno libre, que crece en residuos de plantas degradables, como la paja, fija algún nitrógeno para mejorar la fertilidad del suelo. Un ejemplo de este grupo es *Azotobacter chroococcum*.

Sus especies son de gran tamaño, parecidas a veces a las levaduras, son aerobias estrictas y no esporógenas, mesófilas, su temperatura óptima es de 30 OC y no se desarrolla en pH inferior a 6, por su susceptibilidad a altas concentraciones de hidrogeniones.

Se caracteriza por presentar cinco especies:

Azotobacter chroococcum.

Azotobacter beijerinckii.

Azotobacter vinelandii.

Azotobacter macrocitogenes.

Azotobacter agilis

Las cepas de *Azotobacter* pertenecen al grupo de bacterias libres fijadoras de nitrógeno. Son bacterias cuya principal característica consiste en la fijación del nitrógeno presente en la atmósfera, de manera que quede accesible para la planta, sin necesidad de establecer una relación de simbiosis con ella. Esta característica hace que estas bacterias puedan sustituir al nitrógeno químico (amoníaco, urea, etc.) a un menor costo y sin ningún tipo de reducción en la producción.

Los formulados acuosos de diferentes cepas del género *Azotobacter*, aportan a las plantas las fuentes de nitrógeno necesarias, evitando los efectos indeseables, y aportando a la planta muchas ventajas, pues actúan como estimuladores del crecimiento. Su método de producción permite obtener altas concentraciones de células, lo que permite su aplicación en agricultura con efectos altamente beneficiosos.

Mecanismo de acción.

La fijación biológica del nitrógeno se realiza por bacterias aeróbicas, pertenecientes al género *Azotobacter*.

El género *Azotobacter* produce polisacáridos extracelulares durante su crecimiento y proliferación. Estos compuestos son efectivos en la formación de agregados del suelo, lo que trae como consecuencias mejoras en el intercambio gaseoso y en la capacidad hídrica de los suelos.

Azotobacter ha desarrollado un número de mecanismos fisiológicos para permitirle fijar nitrógeno aeróbicamente a pesar de la sensibilidad al oxígeno de la nitrogenasa.

La capacidad para fijar nitrógeno varía considerablemente en dependencia del medio nutritivo. Requieren fundamentalmente molibdeno y vanadio, microelementos que participan en la activación de la enzima nitrogenasa y de los genes (*nif A*) que están involucrados en la biosíntesis de este sistema enzimático.

Efecto del microorganismo sobre las plantas.

Acortamiento del período de semillero, obteniéndose plántulas vigorosas que pueden trasplantarse en menor tiempo.

Aceleración de la floración y la fructificación y aumento del número de flores y frutos.

Acortamiento del ciclo total de cultivo. Frutos y bulbos con mayor peso y diámetro. Incremento de los rendimientos.

Ahorro del fertilizante nitrogenado recomendado en las normas técnicas de varios cultivos.

Capacidad de permanecer vivas varios años y reproducirse en el suelo, con lo que potencian la regeneración de los suelos de manera gradual.

Aceleran el crecimiento de las plantas y raíces, ya que generan fitohormonas. Generan enzimas y otros factores que favorecen la solubilización de fosfatos y oligoelementos, favoreciendo la asimilación por la planta.

Son totalmente inofensivas para el ser humano y medio ambiente, y aptas para su uso en agricultura ecológica y producción integrada.

MICROORGANISMOS EFICIENTES (ME)

El concepto de los microorganismos eficientes (ME) fue desarrollado por el profesor Teruo Higa de la Universidad de Ryukyus, en Okinawa. ME se compone de culturas mixtas benéficas y que existen naturalmente en la naturaleza, que pueden aplicarse como inoculantes para incrementar la diversidad microbiana en plantas y suelos (Higa y Párr. 1994).

Las investigaciones realizadas han demostrado que la inoculación con los microorganismos contenidos en el ME al ecosistema constituido por el suelo y las plantas puede mejorar la calidad y la salud de los suelos, y el crecimiento, rendimiento y calidad de los cultivos. ME contiene especies seleccionadas de microorganismos incluyendo poblaciones predominantes de bacterias ácido lácticas, levaduras y en menor número bacterias fotosintéticas, actinomicetes y otros tipos de organismos. Todos ellos mutuamente compatibles unos con otros y coexistiendo en una cultura líquida (Madera et al., 2009).

Tecnología de los microorganismos eficientes

La tecnología ME fue desarrollada en la década de los ochenta por el Doctor Teruo Higa, Profesor de Horticultura de la Universidad de Ryukyus en Okinawa, Japón, el estudio se completó en 1982. Estudiando las funciones individuales de diferentes microorganismos, encontró que el éxito de su efecto potencializador estaba en su mezcla. Desde entonces, esta tecnología ha sido investigada, redesarrollada y aplicada a una multitud de usos agropecuarios y ambientales, siendo utilizada en más de 80 países del mundo.

Al principio, ME era considerado una alternativa para químicos agrícolas. Pero su uso ahora se ha expandido a aplicaciones en los campos ambiental, industrial y de la salud. Sin embargo, se debe enfatizar que ME no es ni un químico sintético ni una medicina.

El profesor Higa ha dedicado gran parte de su carrera científica a seleccionar y aislar diferentes tipos de microorganismos con capacidad de desarrollar efectos beneficiosos en suelos y plantas, lo que le permitió hallar diversos microorganismos que pueden coexistir en culturas mixtas y que son fisiológicamente compatibles unos con otros. Cuando estas culturas son introducidas en el medio ambiente, sus efectos benéficos individuales se ven aumentados significativamente de una manera sinérgica.

(Copo, 2004), expresa que la tecnología eficaz de los microorganismos eficientes (ME) ahora se ha convertido en una ciencia importante, asistiendo a la creación de las prácticas sostenibles para la agricultura, la agricultura animal, naturaleza que cultivaba, administración ambiental, construcción, salud e higiene humana, las actividades industriales, de la comunidad y más.

Cuando el ME es inoculado en el medio natural, el efecto individual de cada microorganismo es ampliamente magnificado en una manera sinérgica por su acción en comunidad.

El concepto básico de ME en la agricultura es que los usos múltiples de microorganismos beneficiosos y eficaces mejoran la salud de los suelos que producen cosechas sanas. El ME

es eficaz como alternativa a los productos químicos. Su gama de usos desde 1982, se ha ampliado en el ganado y la acuicultura así como en áreas de la salud de la comunidad tales como tratamiento inútil y otros usos ambientales. Hoy, el ME ha llegado a ser muy popular y se utiliza en 100 países (Pilates, 2008).

El concepto de la inoculación de suelos y plantas con microorganismos benéficos para crear un ambiente microbiano más favorable para el crecimiento de las plantas ha sido motivo de discusión durante décadas por parte de los científicos dedicados a la agricultura.

Modo de acción de los microorganismos eficientes

Los ME actúan de manera que toman sustancias generadoras por otros organismos basando en ello su funcionamiento y desarrollo. Las raíces de las plantas secretan sustancias que son utilizadas por estos para crecer, sintetizando aminoácidos, ácidos nucleicos, vitaminas, hormonas y otras sustancias bioactivas.

(Vidal, 2005) plantea que cuando los microorganismos eficientes incrementan su población, como una comunidad en el medio que se encuentra, se incrementa la actividad de los microorganismos naturales, enriqueciendo la microflora, balanceando los ecosistemas microbiales, suprimiendo microorganismos patógenos.

Principales microorganismos en el EM, y su acción en los suelos

(Shuichi Okumoto, 2009), expone que cada una de las especies contenidas en el ME (Bacterias Fotosintéticas, Acido Lácticas, Levaduras, Actinomicetos y hongos de Fermentación) tiene su propia e importante función. Sin embargo pudiera decirse que la bacteria fotosintética es el pivote de la tecnología EM, pues soportan las actividades de los otros microorganismos. Por otro lado utilizan para sí mismas varias sustancias producidas por otros microorganismos. Este es el fenómeno que llamamos coexistencia y coprosperidad.

Cuando los ME se desarrollan como una comunidad dentro del suelo, también ocurre lo mismo con los microorganismos nativos de esos suelos. Por tal razón la microflora se enriquece y el ecosistema microbiano comienza a equilibrarse mientras disminuye el porcentaje de patógenos. Así las enfermedades producidas por los suelos se suprimen mediante el proceso conocido como “competencia exclusiva”. Las raíces de las plantas producen también sustancias útiles como carbohidratos, aminoácidos, ácidos orgánicos y enzimas. Los microorganismos eficientes utilizan este substrato para desarrollarse. Durante este proceso ellos segregan también sustancias y proveen aminoácidos, ácidos nucleicos, y una gran cantidad de vitaminas y hormonas a las plantas. Por esta razón en estos suelos los microorganismos eficientes y otras bacterias benéficas coexisten a nivel de la Rizósfera (área de las raíces) en un estado de simbiosis con las plantas.

Efectos del EM sobre los cultivos

Los EM, como inoculante microbiano, restablecen el equilibrio microbiológico del suelo, mejorando sus condiciones físico-químicas, incrementando la producción de cultivos y su protección; además conserva los recursos naturales, generando una agricultura sostenible.

Entre los efectos sobre el desarrollo de los cultivos se pueden encontrar:

En los semilleros

Aumento de la velocidad y porcentaje de germinación de las semillas, por su efecto hormonal, similar al del ácido giberélico.

Aumento del vigor y crecimiento del tallo y raíces, desde la germinación hasta la emergencia de las plántulas, por su efecto como rizo bacterias promotoras del crecimiento vegetal.

Incremento de las probabilidades de supervivencia de las plántulas.

Asegura una mejor germinación y desarrollo de las plantas.

En las plantas

Promueve la germinación, la floración, el desarrollo de los frutos y la reproducción de las plantas.

Mejora física, química y biológicamente el ambiente de los suelos, y suprime los patógenos y pestes que promueven enfermedades.

Aumenta la capacidad fotosintética de los cultivos.

Incrementa la eficacia de la materia orgánica como fertilizante.

Genera un mecanismo de supresión de insectos y enfermedades en las plantas, ya que pueden inducir la resistencia sistémica de los cultivos a enfermedades.

Consumen los exudados de raíces, hojas, flores y frutos, evitando la propagación de organismos patógenos y desarrollo de enfermedades.

Incrementa el crecimiento, calidad y productividad de los cultivos.

Promueven la floración, fructificación y maduración por sus efectos hormonales y en zonas meristemáticas.

En los suelos

Los efectos de los EM en el suelo, están enmarcados en el mejoramiento de las características físicas, biológicas y supresión de enfermedades. Así pues entre sus efectos se pueden mencionar.

Efectos en las condiciones físicas del suelo: mejora la estructura y agregación de las partículas del suelo, reduce su compactación, incrementa los espacios porosos y mejora la infiltración del agua. De esta manera se disminuye la frecuencia de riego, tornando los suelos capaces de absorber 24 veces más las aguas lluvias, evitando la erosión por el arrastre de las partículas.

Efectos en la microbiología del suelo: suprime o controla las poblaciones de microorganismos patógenos que se desarrollan en el suelo por competencia e incrementa la biodiversidad microbiana, generando las condiciones necesarias para que los microorganismos benéficos nativos prosperen (Vidal, 2005).

En el medio ambiente

Los ME facilitan la reutilización de la mayoría de los desechos generados en nuestras fincas, los que presentan potencial contaminante para el medio ambiente, con un papel determinante en el proceso de hacer el compost, a partir de los residuos de cosecha y los desechos animales, con la respectiva formación de fertilizantes biológicos, aunque recientemente se están utilizando en el tratamiento de aguas y su purificación, para posterior uso.

Modo de uso

Para utilizar EM en la siembra directa o en el trasplante tenga en cuenta lo siguiente:

Prepare una dilución de EM en agua a una relación del 2%, es decir: 1 parte de EM por 50 partes de agua.

Si la siembra es directa, aplique la dilución de EM (1 parte de EMA por 50 partes de agua) sobre las semillas antes de tapparlas con suelo; en el caso de trasplante, riegue las bandejas de las plántulas por lo menos 3 días antes de llevarlas al campo con EM (1 parte de EM por 50 partes de agua) y aplique un buen riego en el momento del trasplante.

Al trasplantar plántulas a raíz desnuda, sumerja las raíces al momento de la siembra en la misma dilución de EM (1 parte de EM por 50 partes de agua) por 15 minutos y luego siembre.

Después de la siembra o trasplante, riegue con abundante agua.

Se puede usar el EM Sólido (Bokashi - Abono orgánico fermentado por EM) como inoculante.

Biofertilizantes utilizados en la Agricultura cubana (Martínez Viera y Hernández, 1995)

Biofertilizantes	Cultivos	Sustituye
Rhizobium	Frijol, maíz y vignas	75 – 80 % del fertilizante nitrogenado
Bradyrhizobium	Soya y leguminosas forrajeras	80% del fertilizante nitrogenado
Azotobacter	Hortalizas, yuca, boniato, maíz, arroz	15 – 50% de fertilizante nitrogenado.

Azospirillum	Arroz	25% del fertilizante nitrogenado.
Fosfobacterias	Hortalizas, yuca, boniato. Cítricos y viveros de café	50 – 100% del fertilizante fosfórico.
Micorriza VA	Viveros de café	30 % del fertilizante nitrogenado y potásico.

Biofertilizantes y bioestimuladores obtenidos y aplicados en los últimos años en Cuba (Dibut, 2009).

Biopreparado	Microorganismo base	Beneficios que se obtienen de su aplicación
DIMARGON®	Azotobacter chroococcum	Suministro entre 25-40% de las necesidades de N en cultivos varios. - Acortamiento ciclo cultivos - Aumentos entre 10-25% del rendimiento agrícola.
FOFORINA	Pseudomonas fluorescens	Suministro entre 50-70% de las necesidades de P en cultivos varios - Estimulación del rendimiento entre 10-20%
BIOFERT®	Rhizobium sp. Bradyrhizobium japonicum	Suministro 60-75% de N para frijol, maní, vignas y otras leguminosas. - Suministro entre 60-80% de N para soya y leguminosas forrajeras.
ECOMIC® MICOFERT®	Glomus sp. HMA	- Aporte entre 25-75% de las necesidades de NPK en cultivos varios. - Acortamiento ciclo de viveros y cepellones. - Ligeramente aumento rendimientos.
AZOSPIRILLUM	Azospirillum brasilense	Aporte entre 15-25% de las necesidades de N en arroz y caña de azúcar
AZOFERT®	Pseudomonas cepacea	Aporte entre 25 – 80% de las necesidades de N en leguminosas y cultivos varios. - Aumento entre 10-15% del rendimiento

	Azospirillum sp. Rhizobium sp. Bradyrhizobium sp.	agrícola
--	--	----------

Bibliografía.

- Ahmad, K.A.; Iskandar, K.; Clement, M.V., 2004. Hydrogen peroxide mediated cytosolic acidification is a signal for mitochondrial translocation of Bax during drug induced apoptosis, *Cancer Res*, (64), p. 7867 – 7878.
- Alaçama, A.; Tulunoglua, Ö.; Oygür, T.; Bilicia, S., 2000. Effects of topical Catalase application on dental pulp tissue: a histopathological evaluation, *Journal of Dentistry* (28), p. 333–339.
- ★ Allen, M. (1992). *The ecology of mycorrhizas*. Cambridge University Press. 184p.
- Azis, T. & Habte, M. 1990. Growth of transplanted *Sesbania grandiflora* as affected by preinfection of roots with *Rhizobia* and VAM fungus. *Nitrogen Fixing tree Research Reports* 8:159 - 160.
- Bago, B.; Azcón – Aguilar, C.; Shachar – Hill, Y. y P. E. Pfeffer. 2000. El micelio externo de la micorriza arbuscular como puente simbiótico entre la raíz y su entorno. En: *Ecología, Fisiología y Biotecnología de la Micorriza Arbuscular*. Eds.: A. Alarcón y R. Ferrera – Cerrato. IRENAT. Colegio de Postgraduados. Montecillos. Mundi Prensa. México. p 78 – 92.
- Bernardo, D. A. 2006. Obtención y manejo de biofertilizantes como insumo indispensable de la agricultura sostenible En VI Congreso Sociedad Cubana de las Ciencias del Suelo (16, 2006 Mar 8-10. La Habana). Memorias CD-ROM Sociedad Cubana de las Ciencias del suelo ISBN 959-7023-35-0.
- Bethlenfalvay, G. J.; Cantrell, I. C.; Mihara, K. L. & Schreiner, R. P. 1999. Relationships between soil aggregation and mycorrhizae as influenced by soil biota and nitrogen nutrition. *Biol. and Fert. of Soils*. 28(4): 356 – 363.
- Bolan, N. 1991. A critical review on the role of mycorrhizal fungus when infecting host plant. *New Phytol*. 130: 13-21.
- Bouillant, M.1998. Inhibition of *Striga* seed germination with *Sorghum* growth promotion by soil bacteria. *Sciences de la Vie*. vol. 320, no. 2, p. 159-162.
- Burdman, S. and Jurkevitch, E. 2000. Surface characteristics of *Azospirillum brasilense* relation to cell aggregation and attachment to plant roots. *Critical Reviews in Microbiology* 26 (2): 91-110.
- Caballero, J. y Dorrego, A. 2001. *Sustancias y Tecnologías Naturales (CITEN). Agro-Nutrientes Especiales (ANE)*. Departamento de Protección Vegetal del IRTA. Catalunya. México.
- Copo, Gertrudis. *Microorganismos eficientes* [on-line], descargado: enero 18, 2009 disponible en <http://www.expocampoyucatan.com>

- Díaz, C.; González, E.; Álvarez, J.; Laurencio, M. 2003. Estudio preliminar en diferentes técnicas de aplicación de un biofertilizante a base de *Azospirillum* sp. en el cultivo de la lechuga (*Lactuca sativa* L.). Centro Agrícola (2) UCLV. Villa Clara.
- Dibut, B. 2009. Biofertilizantes como insumos en agricultura sostenible. -- Ciudad de La Habana: Editorial Universitaria, 2009. -- ISBN 978-959-16-1032-4. -- 113 pág.
- Dorrego, E. 2000. Modulation of Host Defense System. Chapter 9. 173 – 200. En: *Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function*. Eds: Kapulniks, Y. y Douds. Kluwer Academic Publisher. Printed in Netherlands.
- Dosreis, F. 2000. Occurrence of diazotrophic bacteria in different sugar cane genotypes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Vol.35, no. 5, p. 985-994.
- Espinosa, Victoria. 2002. Diálogo molecular: Hongo Micorrízico Arbuscular – Raíz. 93 – 116. En: *Ecología, Fisiología y Biotecnología de la Micorriza Arbuscular*. Eds.: Alarcón, A. y R. Ferrera – Cerrato. IRENAT. Colegio de Postgraduados. Montecillos. Mundi Prensa. México.
- Ezawa, T.; Saito, M. and Yoshida, T. 1995. Comparison of phosphatase localization in the extraradical hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi, *Glomus* spp. *Gigaspora* spp. *Plant and soil* 176: p 57-63.
- Fernández, F. 2004. La simbiosis micorrízica arbuscular en el manejo efectivo de la simbiosis micorrízica, una vía hacia la agricultura sostenible. Estudio de caso: El Caribe. Rivera, R. Y Fernández, K. Eds. Ediciones INCA.
- Fernández, F. 1999. Manejo de las asociaciones micorrízicas arbusculares en la producción de posturas de cafeto. La Habana. 190 h. Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas). INCA.
- George, E. 2000. Nutrient uptake. En: *Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function*. Eds.: Kapulnik, Y. y D. D. Douds. Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
- Gryndler, M. 2007. Interactions of arbuscular mycorrhizal fungi with other soil organisms. In *Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function*. Eds.: Kapulnik, Y. y D. D. Douds. Kluwer Academia Publisher, Netherlands.
- Hernández, M.; Chailloux M. 2004. Las micorrizas arbusculares y las bacterias rizosféricas como alternativa a la nutrición mineral del tomate. En cultivos tropicales. Vol.25, no. 2, p. 5-10
- Higa, T. Párr. J. 1994. Microorganismos Benéficos y Eficaces para una agricultura y medio ambiente sustentable. *Microbiología de Suelos*. Servicio de la Investigación Agropecuaria. Departamento de Agricultura de los EE.UU. Beltsville, Maryland, EE.UU., Centro Internacional de Investigaciones de Cultivos Naturales Atami, Japón. [on-line], descargado: marzo 23, 2009, Disponible en: <http://em.iespana.es/manuales/microbiologia/microbiologia.html>.

- INCA. 2002. Biofertilizante EcoMic®. Una alternativa ecológica para sus cultivos. Plegable. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. La Habana. Cuba.
- Khammas, K. (1989). *Azospirillum irakense* sp. Nov, a nitrogen-fixing bacterium associated with rice roots and rhizosphere soil. Res. Microbiol., vol. 140, p. 679-693.
- López, C. Barceló, A. 2001. Sobre Micorrizas. Boletín UNAM – DGCS 274 julio – septiembre. 19(3).
- Martínez, C. 2001. Uso y manejo de las micorrizas, el azotobacter y la fosforina como alternativa para la fertilización de las hortalizas. Santo Domingo.
- Martínez, R. 2001. Efectividad de Biopreparados a base de azotobacter chroococcum en la agricultura orgánica. En: (Encuentro de agricultura orgánica). p 12.
- Martínez Viera, R. y G. Hernández. 1995. Los biofertilizantes en la agricultura cubana. En: Resúmenes del III Encuentro Nacional de Agricultura Orgánica, Conferencias, La Habana, p. 43.
- Marschner, H. & Dell, B. 1994. Nutrient uptake in Mycorrhizal Symbiosis. Plant and Soil. 159: 89 – 102.
- Martínez, R. Hernández. G. 1995. Los biofertilizantes en la agricultura cubana.
- Madera, T. Millas, R. & Tabora, P. 2009 The beneficial *microorganisms contained in EM* produce plant hormones, may have been healthier because of *the inoculation of beneficial microorganisms*. [on-line], descargado: junio 3 de 2009, Disponible en: www.effective-microorganism-technology.com/page5.html
- Medina, N. 2006. Los biofertilizantes y el manejo sostenible de la fertilidad del suelo. En VI Congreso Sociedad Cubana de las Ciencias del Suelo (16, 2006 mar 8 – 10. La Habana). Memorias CR-ROM Sociedad Cubana de las Ciencias del Suelo. ISBN 959-7023-35-0
- Moya, N.; Ruiz, D.; Rondón, Ana Julia.; Álvarez, J. L.; Liriano, R.; Sánchez, P. y Fabelo, M. 2001. Influencia de la aplicación de un biofertilizante a base de *Azospirillum* en la germinación de la semilla y producción de cultivos hortícolas. Centro agrícola 28(2): Abril-Junio. P 38-41.
- Pazos, M. 2000. Aislamiento e identificación de cepas nativas, pertenecientes al género *Azospirillum* mediante técnicas moleculares. La Habana. 50 h. Tesis (en opción al título de Máster). Universidad de La Habana.
- Pilates, M. Tecnología de los microorganismos eficientes. [en línea] enero 2008. Disponible en www.martinguidofitness.com. [consulta febrero, 10, 2009].
- Redecker, D.; Kodner, R. y Graham, L. 2000. Glomalean fungi from the Ordovician. Science. 289 (5486): 1920 - 1921.

- Rodríguez, Y. 2005. Aspectos relacionados con las bases bioquímicas de la simbiosis micorrízica arbuscular. En cultivos tropicales. Vol.26, no 1, p. 11-19. Universidad de la Habana.
- Rodríguez, A. 2003. Caracterización fisiológica de cepas de la comunidad microbiana endófitas de la caña de azúcar. La Habana. Tesis (en opción al título de máster) Universidad de La Habana.
- Rodríguez, P. (1993). Uso de los biofertilizantes en la agricultura contemporánea. Curso de postgrado. ISCAH
- Sieverding, E. 1991. Vesicular Arbuscular Mycorrhiza in Tropical Agrosystem. Deutsche Gesellschaft für technische Zusammenarbeit (GTZ) GMBH, Federal Republic of Germany. 371 p.
- Siqueira, J. 1986. Comportamento diferenciado de fungos formadores de micorrizas vesículo-arbusculares em relação a acidez do solo. R. Bras. Ci. Solo. 10. 11-16.
- Shuichi Okumoto (2009), Red de Agricultura Natural para la Región Asia / Pacífico. (APNAN). Manual de Aplicación. Traducción del manual editado por EM technologies Inc. [on-line], descargado: abril, 11 de 2009, Disponible en: <http://em.iespana.es/manuales/apnan/apnan.html>
- Strullu, D. 1991. Les mycorrhizes des arbres et plantes cultivées. Technique et Documentation. Lavoisier. Paris. Francia.
- Taylor, T. N.; Remy, W. & Hass, H. 1995. Fossil arbuscular mycorrhizae from early Devonian. Mycologia 87: 560 – 573.
- Tarrand, J. J.; Krieg, N. R. & Dobereiner, J. A. (1978). A taxonomic study of the *Spirillum lipoferum* group, with descriptions of a new genus, *Azospirillum* gen. nov. and two species, *Azospirillum lipoferum* comb. nov. and *Azospirillum brasilense* sp. nov. Can. J. Microbiol., vol. 4, p. 967-980.
- Terry, A.; Planes, Maritza; y Cainer, T. 2004. Efectividad de abonos microbianos en el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill) en condiciones de casa de cultivos protegidos. XIV Congreso Científico. Programa de resúmenes. INCA. Habana, Cuba. P213.
- Velasco, A. 2001. Utilización de *Azospirillum brasilense* en el cultivo del arroz (*Oryza sativa* L.) sobre un suelo hidromórfico Gley de la provincia de Pinar del Río. [Tesis de doctorado]. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. Instituto de Ecología y Sistemática. Ciudad de La Habana., 101 h.
- Vidal, A., 2005. Enciclopedia básica visual. Editorial: Oceano. Tomo VIII. Pág. 37-44.

Vilar, A.; Loyola, J. L.; Pinto, F. e Isabel Silva. 2001. Estimativa do coeficiente de determinação genotípica em mamoeiros (*Carica papaya* L.) inoculados com fungo micorrízico arbuscular. Brasileira de Fruticultura 23 (3): 7 - 10.