



## MICROORGANISMOS BENÉFICOS Y EFECTIVOS PARA UNA AGRICULTURA Y MEDIO AMBIENTE SOSTENIBLE

Por **Teruo Higa**, Profesor de Horticultura, Universidad de Ryukyus, Okinawa Japón y **James F. Parr**, Microbiólogo de suelos Servicio de Investigación de Agricultura

Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Beltsville, Maryland, Estados Unidos

Traducido por FUNDASES: Paula Andrea Rueda Peña, Ingeniera Agrónoma, Licenciada en Ciencias Agrícolas

### *Centro Internacional de Investigación de Agricultura Natural*

#### PREFACIO

En 1989, el Consejo Nacional de Investigación de la Academia Nacional de Ciencias emitió un reporte significativo sobre Agricultura Alternativa, definida como un sistema de producción de alimento y fibra que aplicaba herramientas de manejo e información para reducir costos, mejorar la eficiencia y mantener los niveles de producción por medio de prácticas como: rotación de cultivos, integración apropiada de cultivos y ganadería, fijación de nitrógeno con leguminosas, manejo integrado de plagas, labranza de conservación y reciclaje de desechos de fincas como acondicionadores de suelos y biofertilizantes. El reporte fortaleció la adopción colectiva de estas prácticas por parte de los productores estadounidenses como la mejor alternativa en cambio del continuo e intensivo uso de fertilizantes químicos y pesticidas, los que han deteriorado la calidad de nuestros suelos, agua y comida.

Nuevamente, en 1993 la Academia Nacional de Ciencias manifestó sus tempranas preocupaciones cuando el Consejo Nacional de Investigación liberó un reporte sobre "Pesticidas en las dietas de infantes y Niños", concluyendo que la población de esta edad puede estar en considerable riesgo de salud por el consumo de alimentos que contienen residuos de pesticidas.

Ambos reportes levantaron considerables especulaciones sobre el futuro de los sistemas de producción agrícola basados en el uso de agroquímicos. Un creciente consenso de consumidores, ambientalistas, legisladores y productores coinciden en que las actuales prácticas de producción tendrán que cambiar considerablemente para alcanzando una reducción significativa en el uso de pesticidas en la agricultura estadounidense. La última meta de la agricultura sostenible, acorde con el Consejo Nacional de Investigación y otras fuentes, es desarrollar sistemas agrícolas que sean productivos, rentables, conservadores de energía, ambientalmente sanos, preservadores de los recursos naturales y que aseguren alimento sano y de calidad. Consecuentemente, la principal pregunta que los productores estadounidenses se están haciendo es ¿Cómo se pueden hacer estos cambios, reduciendo el uso de insumos químicos y alcanzar un aceptable nivel de sostenibilidad económica y ambiental?

Una transición exitosa de un sistema de producción química a una agricultura más sostenible, depende ampliamente de las prácticas que los productores hagan para mantener la calidad de sus suelos agrícolas. En efecto, la calidad del suelo es la calve para una agricultura sostenible. No sorprende, que las practicas de agricultura alternativa, avocadas por el Consejo Nacional de Investigación, estén dirigidas a mejorar y mantener la calidad del suelo. Experiencias han mostrado que la transición de agricultura convencional a una natural u orgánica, puede envolver ciertos riesgos, tales como baja productividad inicial e incremento de los problemas de plagas. Una vez se atraviese el periodo de transición, el que puede durar varios años, los productores encontrarán un nuevo sistema productivo, estable, productivo, manejable y rentable, sin el uso de pesticidas.



El Dr. Teruo Higa, Profesor de Horticultura, de la Universidad de Ryukyus, Okinawa, Japón, ha sido pionero conduciendo un trabajo avanzando en el concepto de Microorganismos Eficaces (EM). Él, ha desarrollado un inoculante microbiano que ha demostrado mejorar la calidad del suelo, el crecimiento y productividad de los cultivos, ganando la atención mundial. Como productor, buscaba el cambio de la agricultura basada en el uso de agroquímicos, a una clase de agricultura más sostenible utilizando las maneras más efectivas disponibles para ser exitoso. Esto incluye el uso de las prácticas de agricultura alternativa antes mencionadas, recomendadas por el Consejo Nacional de Investigación. La tecnología EM se ve como una herramienta valiosa y potencial que puede ayudar al productor a desarrollar sistemas de producción que sean económica, ambiental y socialmente sostenibles.

Servicio de Investigación Agrícola  
Departamento de Agricultura de Estados Unidos  
Beltsville, Maryland, Estados Unidos

## INTRODUCCIÓN

La singularidad de los microorganismos, impredecible naturaleza y capacidades biosintetizadoras, en un específico juego de condiciones de cultivo y medioambiente, los han hecho candidatos para solventar problemas difíciles en las ciencias vivas, al igual que en otros campos. Las diferentes maneras en las que los microorganismos han sido usados los pasados 50 años abarcan avances en tecnologías médicas, humanas y salud animal, procesamiento de alimentos, seguridad y calidad de alimentos, ingeniería genética, protección del medio ambiente, biotecnología agrícola y tratamiento efectivo de desechos agrícolas y municipales, generando el más impresionante registro de alcances. Muchas de los avances tecnológicos no hubieran sido posibles usando métodos de ingeniería química y física, aún si hubieran sido económicamente factibles.

No obstante, mientras las tecnologías microbianas han sido aplicadas a varios problemas en la agricultura y medio ambiente, con considerable éxito, recientes, no han sido ampliamente aceptados por la comunidad científica por que es difícil reproducir consistentemente sus efectos benéficos. Los microorganismos son efectivos solo cuando están presentes en optimas condiciones para adecuarse a sustratos, agua disponible, oxígeno (dependiendo si los microorganismos son aerobios obligados o facultativamente anaerobios), pH y temperatura del medio ambiente. Mientras tanto, por los adelantos tecnológicos, diferentes tipos de cultivos microbianos e inoculantes disponibles en el mercado, han aumentado rápidamente. Descubrimientos significativos han sido hechos en sistemas donde la ayuda técnica es coordinada con el mercadeo de productos microbianos. Los microorganismos son usados en la eliminación de problemas asociados con el uso de fertilizantes químicos y pesticidas, y están ahora siendo aplicados ampliamente en la producción natural y agricultura orgánica (Higa, 1991; Parr et al 1994).

La erosión excesiva y el transporte hacia aguas superficiales y subterráneas de sedimentos, fertilizantes químicos y pesticidas y los tratamientos impropios de desechos animales y humanos han causado serios problemas ambientales y sociales a través del mundo, generando contaminación ambiental. A menudo, los ingenieros han intentado solventar esos problemas usando métodos químicos y físicos ya establecidos. De cualquier modo, se ha encontrado, que estos problemas no pueden ser solucionados sin el uso de métodos microbiales y tecnologías coordinados con los sistemas de producción agrícola (Reganold et al., 1990; Parr and Hornick, 1992a).

Por muchos años, los microbiólogos del suelo y ambientales han tendido a diferenciar los microorganismos del suelo entre benéficos y dañinos, acorde a sus funciones y a su efecto en la calidad del suelo, crecimiento, productividad y sanidad de las plantas. Entre los microorganismos benéficos están aquellos que fijan nitrógeno atmosférico, descomponen desechos y residuos orgánicos, desintoxican el suelo de pesticidas, suprimen enfermedades de plantas y patógenos del suelo, incrementan el reciclaje de nutrientes y producen componentes bioactivos como vitaminas, hormonas y enzimas que estimulan el crecimiento de las plantas.



Los microorganismos dañinos, son aquellos que pueden inducir enfermedades en las plantas, estimular los patógenos del suelo, inmovilizar nutrientes y producir toxinas y sustancias pútridas que afectan adversamente el crecimiento y salud de las plantas.

Una clasificación más específica de los microorganismos benéficos ha sido sugerida por Higa (1991; 1994; 1995) quien hace referencia a los "Microorganismos Efectivos" o EM. Este reporte presenta algunas nuevas perspectiva en el rol y aplicación de microorganismos de microorganismos benéficos, incluyendo EM, como inoculantes microbianos para lograr un equilibrio microbiológico del suelo de maneras que puedan mejorar su calidad, incrementando la producción y protección de los cultivos, conservando los recursos naturales y creando una agricultura y medio ambiente mas sostenibles. Este reporte también discute estrategias sobre como microorganismos benéficos, incluyendo EM, pueden ser mas eficientes después de su inoculación en el suelo

## **EL CONCEPTO DE Microorganismos Eficaces: SU ROL Y APLICACIÓN**

El concepto de Microorganismos Eficaces (EM) fue desarrollado por el Profesor Teruo Higa, Universidad de Ryukyus, Okinawa, Japón (Higa, 1991; Higa y Widiadana, 1991<sup>a</sup>). EM consiste en un cultivo mixto de microorganismos benéficos, de ocurrencia natural, que pueden ser aplicados como inoculantes para incrementar la diversidad microbiana de los suelos y plantas. Investigaciones han arrojado que la inoculación de cultivos de EM al ecosistema suelo / planta pueden mejorar la calidad, salud del suelo, y el crecimiento, producción y calidad de los cultivos. EM contiene especies seleccionadas de microorganismos incluyendo poblaciones predominantes de bacterias ácido lácticas y levaduras y un número más pequeño de bacterias fotosintéticas. Todos estos compatibles mutuamente unos con otros y capaces de coexistir en un cultivo líquido.

EM no es un sustituto de otras prácticas de manejo. Es una herramienta adicional para optimizar las mejores prácticas de manejo del suelo y cultivos, como: rotación de cultivos, uso de enmiendas orgánicas, labranza de conservación, reciclaje de residuos de cosechas y biocontrol de plagas. Si son usados apropiadamente, EM puede incrementar significativamente los efectos benéficos de estas prácticas (Higa y Widiadana, 1991<sup>b</sup>).

En los siguientes párrafos se usará el término "microorganismos benéficos" de manera general para designar un amplio grupo de microorganismos desconocidos o mal definidos que interaccionan favorablemente en suelos y con plantas para representar efectos benéficos cuales son muchas veces difíciles de predecir. Se usará el término de "Microorganismos Eficaces" o EM para denotar cultivos mixtos específicos de microorganismos benéficos que están siendo usados efectivamente como inoculante microbiano.

## **UTILIZACIÓN DE MICROORGANISMOS BENÉFICOS EN LA AGRICULTURA**

### **¿Qué Constituye un Sistema Agrícola Ideal?**

El diseño conceptual es importante en el desarrollo de nuevas tecnologías para la utilización de microorganismos benéficos y eficientes para una agricultura y medio ambiente más sostenibles. La base del diseño conceptual implica primero, la concepción de una idea o modelo y segundo, a divisar una estrategia y método para alcanzar la realidad. De tal manera, es necesario coordinar cuidadosamente los materiales, medio ambiente y las tecnologías que constituyen el método. Además se puede adoptar una actitud filosófica ante la aplicación de tecnologías microbiológicas para la producción agrícola y la conservación de sistemas.

Existen muchas opiniones sobre como es un sistema agrícola ideal. Muchos pueden estar de acuerdo en que es un sistema idealizado que debe producir comida sobre una base sostenible a largo plazo. Otros pueden insistir también que debe mantener y mejorar la salud humana, ser económica y espiritualmente benéfico para productores y consumidores, preservar activamente y proteger el medio ambiente, ser auto regenerativos y producir suficiente alimento para una población mundial en constante crecimiento.



## Utilización Eficiente y Reciclaje de Energía

La producción agrícola empieza con el proceso de fotosíntesis de las plantas que requieren energía solar, agua, y dióxido de carbono. Ocurre a través de la habilidad de las plantas de utilizar energía solar en la fijación de carbono atmosférico en carbohidratos. La energía obtenida es usada para posterior biosíntesis en la planta, incluyendo producción de aminoácidos esenciales, y proteínas. El material usado para la producción agrícola es abundantemente disponible con un pequeño costo inicial. De tal manera, cuando se observa como una actividad económica, la fijación de carbono en la fotosíntesis tiene una eficiencia extremadamente baja, principalmente debido al bajo rango de utilización de energía solar por las plantas. Por esto una aproximación integral es necesaria para incrementar los niveles de utilización de energía solar por las plantas para que una mayor cantidad de carbono atmosférico pueda ser convertido en un componente útil (Higa y Wididana, 1991<sup>a</sup>).

Aunque el rango de utilización potencia de la energía solar por las plantas ha sido estimado teóricamente entre 10 y 20%, el rango actual de utilización es menos del 1%. Aunque el rango de aprovechamiento de las plantas C4, como caña de azúcar cuya eficiencia fotosintética es muy alta, pobremente excede el 6 a 7% durante el máximo período de crecimiento. El rango de utilización normalmente es menor que el 3%, inclusive para una optima producción de los cultivos.

Estudios anteriores han demostrado que la eficiencia fotosintética de los cloroplastos de una multitud de plantas de cultivo no puede ser incrementada a largo plazo, esto significa que la producción de biomasa ha alcanzado un nivel máximo. Por lo tanto, la mejor oportunidad para incrementar la producción de biomasa es de algún modo utilizar la luz visible, que no puede ser usada actualmente por los cloroplastos, y la radiación infrarroja; ambos, comprenden alrededor del 80% del total de la energía solar. También, se debe explorar maneras de reciclar la energía orgánica contenida en residuos de plantas y animales a través de un aprovechamiento directo de moléculas orgánicas por las plantas (Higa y Wididana, 1991<sup>a</sup>).

De esta manera, es difícil exceder los niveles limitados de la producción de cultivos sin que la eficiencia de la utilización de la energía solar se incremente y la energía contenida en moléculas orgánicas existentes (aminoácido, péptidos y carbohidratos) se utilice también directa o indirectamente por la planta. Esta aproximación puede ayudar a solventar los problemas de polución ambiental y degradación causados por la mezcla y aplicación excesiva de fertilizantes químicos y pesticidas a los suelos. Por lo tanto, nuevas tecnologías que puedan incrementar la viabilidad económica de los sistemas productivos con un menor o no uso de fertilizantes químicos y pesticidas es urgente necesaria y debe ser una prioridad de investigación agrícola ahora y en el futuro inmediato (Academia Nacional de Ciencias, 1989; 1993).

## Preservación de Recursos Naturales y el Medio Ambiente

La excesiva erosión de la capa superficial del suelo de las tierras de agrícolas, causada por la labranza intensiva producción intensiva de cultivos ha causado extensiva degradación del suelo y también ha contribuido a la contaminación aguas superficiales y subterráneas. Los desechos orgánicos de la producción animal, agricultura, procesos industriales marinos, y desechos municipales (Ej., aguas servidas y basuras), han llegado a ser la mayor fuente de contaminación ambiental en países desarrollados y en vías de desarrollo. Además, la producción de metano en los campos de arroz y cría de rumiantes y de dióxido de carbono de la quema de combustibles fósiles, limpieza del terreno y descomposición de materia orgánicos, han estado relacionados con el calentamiento global como "gases de invernadero" (Parr and Hornick, 1992b).

Los sistemas convencionales de producción agrícola, basados en químicos, han creado muchas fuentes de contaminación que, directa o indirectamente, pueden contribuir a la degradación del medio ambiente y la destrucción de la base de nuestros recursos naturales. Esta situación puede cambiar significativamente si esos contaminantes pudieran ser usados en la producción agrícola como fuentes de energía.



Por lo tanto, es necesario que las tecnologías agrícolas en el futuro sean compatibles con el ecosistema global y con soluciones a los problemas en las diferentes áreas de producción agrícola convencional. Un área que parece tener grandes expectativas en cuanto a avances tecnológicos en producción de cultivos, protección de cultivos y conservación de recursos naturales, es la de microorganismos benéficos y efectivos aplicados como inoculantes al suelo, plantas y medioambiente (Higa, 1995).

### **Microorganismos Benéficos y Efectivos para una Agricultura Sostenible: Hacia una Agricultura sin Químicos y con Óptimos Rangos de Cultivos de Alta Calidad**

La agricultura en un amplio sentido, no es una empresa que deja todo a la naturaleza excluyendo la intervención. Mejor dicho, es una actividad humana en la cuál los productores intentan integrar ciertos factores agroecológicos e insumos para obtener una óptima producción de cultivos y animales. De esa manera, es razonable asumir que los productores puedan estar interesados en maneras y mecanismos para controlar microorganismos benéficos del suelo como un importante componente de la agricultura limpia. Sin embargo, esta idea a menudo ha sido rechazada por los naturalistas y proponentes de la producción natural y agricultura orgánica. Ellos argumentan que los microorganismos benéficos del suelo pueden incrementarse naturalmente cuando las enmiendas orgánicas son aplicadas al suelo como fuentes de carbono, energía y nutrientes. Esto no es necesariamente cierto donde una abundancia de materia orgánica esta disponible con facilidad para ser reciclada, esto ocurre a menudo en la producción en pequeña escala. De cualquier modo, en muchos de los casos, los microorganismos, benéficos y dañinos, a menudo, se han estado controlando ventajosamente cuando cultivos en diferentes zonas agro ecológicas son sembrados y cultivados en secuencias adecuadas (Ej., rotación de cultivos) y sin el uso de pesticidas. Esto puede explicar el porque de que los científicos hayan estado interesados por mucho tiempo en el uso de microorganismos benéficos como inoculantes del suelo y plantas para lograr un equilibrio microbiológico en una manera que puedan incrementar la calidad del suelo y la productividad y calidad de los cultivos (Higa y Wididana, 1991b; Higa, 1994:1995).

Muchos podrían estar de acuerdo que una regla básica de la agricultura es asegurar que cultivos específicos sean sembrados de acuerdo con sus requerimientos agroclimatológicos y agroecológicos. De cualquier modo, en muchos casos, la economía agrícola está basada en las fuerzas del mercado que demandan un estable suministro de alimento, y de esta manera, ha sido necesario el uso de las tierras de cultivo a su total potencial productivo a través del año.

El propósito del cruce de plantas es mejorar la producción, protección y calidad. Mejorando los cultivares por medio de cruces y prácticas de manejo se ha vuelto posible desarrollar una amplia variedad de cultivos agrícolas y hortícolas en áreas donde una vez no hubo factibilidad cultural o económica. El cultivo de estas plantas en diferentes ambientes ha contribuido significativamente a establecer un suministro estable de alimento en muchos países. De cualquier modo, es de alguna manera irónico que nuevos cultivos de alimentos no sean seleccionados con consideración de su calidad nutricional o biodisponibilidad después de su ingestión (Hornick, 1992).

Como se discutirá después, la siembra y desarrollo de cultivos están relacionados estrechamente con la naturaleza de la microflora del suelo, especialmente aquellos que están próximos a las raíces de las plantas, o sea a la rizósfera. De esta manera, será difícil sobre pasar las limitaciones de las tecnologías de agricultura convencional sin controlar los microorganismos del suelo. Este principio particular se puede respaldar en que la evolución de la mayor parte de las formas vivas en la tierra y su medio ambiente son sostenidos por microorganismos. La mayor parte de las actividades biológicas están influenciadas por el estado de esas invisibles, minúsculas unidades de la vida, por lo tanto, para incrementar significativamente la producción de alimentos, es esencial desarrollar cultivares mejorando sus capacidades genéticamente (Ej..., mayor potencial productivo, resistencia a enfermedades, calidad nutricional) y con un elevando nivel de competitividades medioambientales, particularmente bajo condiciones de estrés (Ej... baja pluviosidad, altas temperaturas, deficiencia de nutrientes, y crecimiento agresivo de malezas).



Para incrementar el concepto de control y utilización de microorganismos benéficos para la producción y protección de cultivos, debe haber una armoniosa integración de los componentes esenciales de las plantas cultivadas y los rangos incluyendo (intensidad, fotoperiodicidad, y calidad), dióxido de carbono, agua, nutrientes (orgánicos e inorgánicos) tipo de suelo, y su microflora. A causa de estas interrelaciones vitales, es posible visualizar una nueva tecnología y una mayor eficiencia de energía del sistema de producción biológica.

La baja eficiencia de producción agrícola está estrechamente relacionada con la pobre coordinación en la conversión de energía la que, en cambio, está influenciada, por factores fisiológicos de los cultivos, el medio ambiente, y otros factores biológicos incluyendo los microorganismos del suelo. La microflora del suelo y la rizósfera pueden acelerar el crecimiento de las plantas e incrementar su resistencia a enfermedades e insectos dañinos por la producción de sustancias bioactivas. Esos microorganismos mantienen el medio de crecimiento de las plantas y pueden tener efectos secundarios en la calidad de los cultivos. Los resultados son posibles dependiendo de la predominancia y actividades de cada uno de los microorganismos. Sin embargo, hay un consenso creciente sobre la posibilidad de lograr máximos niveles económicos y alta calidad, mayor retorno neto, sin la aplicación de fertilizantes químicos, pesticidas y métodos de agricultura convencional. De tal modo, es importante reconocer que las mejores prácticas de manejo de suelo y cultivos, para alcanzar una agricultura más sostenible incrementarán el crecimiento, productividad y calidad de los cultivos (Academia Nacional de Ciencias, 1989; Hornick, 1992; Parr et al., 1992).

## **CONTROLANDO LA MICROFLORA DEL SUELO: PRINCIPIOS Y ESTRATEGIAS**

### **Principios de Ecosistemas Naturales y la Aplicación de Microorganismos Benéficos y Efectivos**

El mal y excesivo uso de pesticidas y fertilizantes químicos han, a menudo, afectado adversamente el medio ambiente y creado muchos problemas de seguridad, calidad de los alimentos, salud animal y humana. Consecuentemente, ha estado creciendo el interés por la producción natural y agricultura orgánica tanto en consumidores, como en ambientalistas, siendo una posible alternativa a la agricultura convencional.

Estos sistemas agrícolas, que conformes con los principios de los ecosistemas naturales, están ahora recibiendo mucha atención en países desarrollados y en vías de desarrollo. Un número de libros y diarios han sido publicados tratando muchos aspectos de los sistemas de producción naturales. Nuevos conceptos como agricultura alternativa, agricultura sostenible, calidad del suelo, manejo integrado de plagas, manejo integrado de nutrientes e, inclusive, microorganismos benéficos están siendo explorados por el establecimiento de investigación agrícola (Academia Nacional de Ciencias, 1989; Reganold et al., 1990; Parr et al., 1992). Aunque estos conceptos y metodologías asociadas sostienen considerables promesas, también tienen limitaciones. Por ejemplo, la principal limitación para el uso de inoculantes microbianos es el problema de reproducción y falta de resultados consistentes.

Desafortunadamente, ciertos cultivos microbianos han sido promovidos por sus comercializadores como seres efectivos para controlar un amplio rango de enfermedades de las plantas originadas en el suelo, cuando de hecho solo son eficientes sobre patógenos específicos bajo condiciones muy puntuales. Muchos comercializadores han sugerido que sus inoculantes microbianos particulares se parecen a pesticidas que pueden suprimir las poblaciones generales de suelo, mientras incrementan la población de microorganismos benéficos específicos. Sin embargo, muchos de los reclamos por estos cultivos simples de inoculantes microbianos son exagerados y no han probado ser efectivos bajo condiciones de campo. Se podría especular que si todos los cultivos de microorganismos e inoculantes que están disponibles como productos mercadeables fueran usados con algún grado de éxito, se pudiera alcanzar el incremento de la diversidad de la microflora del suelo y establecerse en asociación con cultivos mixtos. Aunque un ejemplo hipotético, permanece la probabilidad de que se pueda controlar la microflora del suelo introduciendo cultivos mixtos compatibles de microorganismos en vez de cultivos puros.



Inclusive, el uso de cultivos mixtos en esta aproximación ha sido criticado por que es difícil demostrar conclusivamente cuales microorganismos son responsables de los efectos observados, como los microorganismos introducidos interactúan con las especies nativas, y como esas nuevas asociaciones afectan el medioambiente suelo / planta. De esta manera, el uso de cultivos mixtos de microorganismos benéficos como inoculantes del suelo para incrementar el crecimiento, salud, productividad y calidad de los cultivos no ha ganado aceptación mundial por el Establecimiento de Investigación Agrícola, por la falta de pruebas científicas concluyentes.

El uso de cultivos mixtos de microorganismos benéficos como inoculantes del suelo esta basado en los principios de los ecosistemas naturales los que son sostenidos por sus constituyentes; es decir, por la calidad y cantidad de sus habitantes y parámetros ecológicos específicos, Ej., el más estable de los ecosistemas, va a depender de la diversidad y número de habitantes y del alto orden de sus interacciones. La aproximación al cultivo mixto es simplemente un esfuerzo para aplicar estos principios a los sistemas naturales, como suelos agrícolas, y cambiar el equilibrio microbiológico a favor del incremento del crecimiento de las plantas, producción y protección (Higa, 1991; 1994; Parr et al., 1994).

Es importante reconocer que los suelos pueden variar tremendamente como su tipo y número de microorganismos. Estos pueden ser benéficos o dañinos para las plantas, predominando uno de los dos, dependiendo del cultivo y las prácticas de manejo que son aplicadas. Se puede hacer énfasis en que la mayoría de los suelos más fértiles y productivos tienen un alto contenido de materia orgánica y generalmente, tienen altas poblaciones de alta diversidad de microorganismos (Ej., ambas especies y diversidad genética). Dichos suelos tienden a tener usualmente un amplio rango de microorganismos benéficos y dañinos (Higa y Wididana, 1991b).

### **Controlando la Microflora del Suelo para una Óptima Producción y Protección de los Cultivos**

La idea de controlar y manipular la microflora del suelo a través del uso de inoculantes orgánicos, enmiendas y prácticas culturales y de manejo crear un medio ambiente microbiológico más favorable del suelo para una óptima producción y protección, no es nuevo. Por al menos un siglo, los microbiólogos han sabido que los desechos y residuos orgánicos incluyendo estiércoles de ganados, residuos de cosechas, abonos verdes, desechos municipales (podridos y compostados), contienen sus propias poblaciones de microorganismos nativos a menudo con amplias capacidades fisiológicas. También conocían que cuando esos desechos orgánicos y residuos son aplicados a los suelos, muchos de esos microorganismos introducidos pueden funcionar como agentes de biocontrol suprimiendo los patógenos del suelo que afectan las plantas por medio de competencia y actividades antagonistas. Mientras esta ha sido la base teórica para el control de la microflora del suelo, en la práctica actual el resultado ha sido impredecible e inconsistente, y el rol de los microorganismos específicos no ha sido bien definido.

Por muchos años, los microbiólogos han tratado de cultivar microorganismos benéficos para usarlos como inoculantes del suelo y sobrellevar los efectos dañinos de organismos fitopatógenos, incluyendo bacterias, hongos y nemátodos. Dichos intentos, usualmente, envuelven aplicaciones simples de cultivos puros de microorganismos los cuales han sido insatisfactorios por muchas razones. Primero, es necesario conocer el crecimiento individual y características de sobrevivencia de cada microorganismo benéfico en particular, incluyendo sus requerimientos nutricionales y medioambientales. Segundo, se necesita entender las relaciones e interacciones ecológicas con otros microorganismos, incluyendo su habilidad para coexistir en cultivos mixtos y después en sus aplicaciones al suelo (Higa, 1991; 1994).

Hay otros problemas y contrastes que han sido un mayor obstáculo para controlar la microflora de los suelos agrícolas. Primero, y más importante, es el gran número de tipos de microorganismos que están presentes al mismo tiempo, su amplio rango de capacidades fisiológicas, y la dramática fluctuación en sus poblaciones siendo el resultado de las prácticas culturales y de manejo del ser humano aplicadas a un sistema de producción en particular. La



diversidad del total de los microorganismos del suelo depende de la naturaleza del medio ambiente, del de los factores que afectan el crecimiento y actividad de cada organismo individual incluyendo temperatura, luz, aireación, nutrientes, materia orgánica, pH y agua. Como puede que hayan muchos microorganismos que respondan positivamente a estos factores, o a su combinación, hay muchos que no. Los microbiólogos han, estudiado unos pocos microorganismos relevantes que existen en la mayoría de los suelos agrícolas, principalmente por que no se sabe como cultivarlos; Ej., sabemos muy poco acerca del crecimiento y requerimientos nutricionales y ecológicos.

La “diversidad” y “población” factores asociados con la microflora del suelo, han desalentado a los científicos a conducir investigaciones para desarrollar estrategias de control. Muchos creen que, cuando los microorganismos benéficos son cultivados e inoculados en los suelos, su número es relativamente pequeño comparado con sus habitantes nativos, y ellos pueden ser rápidamente suprimidos por la microflora establecida en él. Consecuentemente, se podrían argumentar que inclusive si la aplicación de microorganismos benéficos es exitosa bajo condiciones limitadas (Ej., en el laboratorio) sería virtualmente imposible alcanzar los mismos éxitos bajo condiciones actuales del campo. Dichos pensamientos todavía existen, y sirven como principal restricción al concepto de control de la microflora (Higa, 1994).

Es notable que la mayoría de las colonias de microorganismos contados en un suelo sean menos dañinos para las plantas que unas pocas que funcionan como patógenos para las plantas o patógenos potenciales. Los microorganismos patógenos llegan a ser dominantes si las condiciones del medio son favorables para su crecimiento, actividad y reproducción. Bajo esas condiciones, los patógenos del suelo (Ej., hongos) pueden rápidamente incrementar sus poblaciones con efectos devastantes en los cultivos. Si estas cambian, las poblaciones de patógenos declinan tan rápidamente como se originaron. Los sistemas de producción tradicionales que tienden a la siembra continua de cultivos consecutivos de la misma especie (Ej., monocultivos) necesitan un alto uso de fertilizantes y pesticidas químicos. Este hecho, generalmente incrementa la probabilidad de que microorganismos patogénicos promotores de enfermedades, lleguen a ser mas dominantes en los suelos agrícolas (Higa, 1991; 1994; Parr and Hornick, 1994). Los métodos de producción convencionales basados en agroquímicos, no son nada parecidos a una terapia sintomática. Ejemplos de esto son aplicaciones de fertilizante cuando los cultivos muestran síntomas de deficiencias nutricionales y aplicaciones de pesticidas cuando cultivos son atacados por insectos y enfermedades. En esfuerzos para controlar la microflora del suelo varios científicos sienten que la introducción de microorganismos benéficos debe seguir un acercamiento sintomático. Sin embargo, las actuales condiciones del suelo pueden ser más desfavorables para el crecimiento y establecimiento del cultivo que en el laboratorio. Para facilitar el establecimiento de los microorganismos inoculados, se requiere que el productor haga ciertos cambios en sus prácticas culturales y de manejo para inducir las condiciones que permitan, su crecimiento y supervivencia además del crecimiento y actividad de los microorganismos nativos patogénicos para las plantas. (Higa, 1994; Parr et al., 1994).

Un ejemplo de la importancia de controlar la microflora del suelo y como las prácticas culturales y de manejo pueda facilitar ese control es importante en este momento. Los cultivos de hortalizas son a menudo seleccionados por su habilidad para crecer y producir sobre un amplio rango de temperaturas. Bajo condiciones de temperatura frías, existen, generalmente, pocos problemas de plagas y enfermedades. Lo contrario ocurre en clima cálido donde se generan las condiciones para que haya un incremento de la incidencia de plagas y enfermedades haciendo difícil obtener una productividad aceptable sin aplicar pesticidas. Con temperaturas más altas el total de población microbial del suelo incrementa al igual que ciertos patógenos de las plantas como *Fusarium*, cual es uno de los principales microorganismos que generan pudrición en el suelo. La incidencia y actividad destructiva de este patógeno puede ser ampliamente minimizada por la adopción de métodos como labranza reducida y técnicas de sombreado para mantener el suelo frío durante el tiempo cálido. Otra aproximación es la inoculación del suelo con microorganismos benéficos, antagonistas o productores de antibióticos como los Actinomycetos y ciertos hongos (Higa y Wididana, 1991<sup>a</sup>; 1991<sup>b</sup>).

### **Aplicación de Microorganismos Benéficos y Eficientes: Una Nueva Dimensión**



Muchos microbiólogos creen que el total de número de microorganismo del suelo puede ser incrementado por la aplicación de enmiendas orgánicas. Esto es generalmente cierto porque la mayoría de los microorganismos de los suelos son heterótrofos, eso quiere decir que requieren complejas moléculas orgánicas de carbono y nitrógeno para su metabolismo y biosíntesis. De todos modos, que la adición regular de desechos y residuos orgánicos incrementara el numero de microorganismo benéficos del suelo en un período corto de tiempo es cuestionable. De tal manera, no se sabe si que grandes aplicaciones de materiales orgánicos, como algas, comida para peces, y polvo de conchas de crustáceos, no solo ayudan en el balance de contenido de micronutrientes de un suelo sino que incrementen también su condición supresora de enfermedades en un corto período de tiempo.

La probabilidad de que un microorganismo benéfico en particular llegue a ser predominante, inclusive con métodos de agricultura orgánica, dependerá de las condiciones del ecosistema y medio ambiente. Inclusive, si la población de un microorganismos específico se incrementa a través de cultivos y prácticas de manejo, es cuestionable que sea benéfico para las plantas. La probabilidad de que un microorganismo benéfico asociado con una planta llegue a predominar bajo un sistema de producción basado en la conservación es virtualmente imposible de predecir. Además, es muy raro que la población de un microorganismo anaeróbico útil, quien usualmente comprende solo una pequeña parte de la microflora del suelo, pueda incrementarse significativamente bajo condiciones naturales de producción.

Esta información entonces enfatiza la necesidad de desarrollar métodos para el aislamiento y selección de diferentes microorganismo por sus efectos benéficos en suelos y plantas. La meta es seleccionar microorganismos que puedan ser introducidos en cultivos mixtos al suelo donde sus efectos benéficos pueden ser realizados (Higa, 1991; 1994; 1995).

### **Aplicación de Microorganismos Benéficos y Efectivos: Consideraciones Fundamentales**

Los microorganismos son utilizados en la agricultura para varios propósitos; como importante componente de las enmiendas orgánicas y compost, como inoculante de leguminosas para fijación biológica de nitrógeno, como un mecanismo de supresión de insectos y enfermedades de las plantas, para incrementar la calidad y productividad de los cultivos, y para reducir las labores. Todas estas están estrechamente relacionadas una con otra. Una importante consideración, en la aplicación de microorganismo benéficos a los suelos es el incremento de sus efectos sinergistas siendo difícil de lograr si estos microorganismos son aplicados como terapia sintomática, al igual que en el caso de fertilizantes y pesticidas químicos (HIGA, 1991; 1994).

Si cultivos de microorganismos benéficos son efectivos después de su inoculación en el suelo, es importante que su población inicial esté en un nivel de umbral crítico. Esto ayuda a asegurarse que la cantidad de sustancias bioactivas producidas por ellos sea suficiente para alcanzar los posibles efectos deseados en la producción de cultivos y / o en su protección. Si esas condiciones no e encuentran, la introducción de microorganismos, no importa lo útiles que sean, tendrá un pequeño o ningún efecto. Actualmente, no hay pruebas químicas que puedan predecir la probabilidad de que un microorganismo particular, en la inoculación al suelo, alcance los resultados deseados. La más confiable aproximación es inocular el microorganismo benéfico en el suelo como parte de un cultivo mixto, y con una suficientemente alta densidad del inóculo para maximizar la probabilidad de su adaptación al medioambiente y a las condiciones ecológicas (Higa y Wididana, 1991b; Parr et al., 1994).

Las aplicaciones de microorganismo benéficos al suelo pueden ayudar a definir la estructura y establecimiento de ecosistemas naturales. La mayor diversidad de la microflora del suelo cal igual que sus tipos, números y actividades va a depender de la mayor diversidad de plantas cultivadas que están siendo sembradas y el complejo de químicos en la biomasa. La aplicación de un amplio rango de diferentes enmiendas orgánicas a los suelos puede también ayudar a asegurar una gran diversidad microbiológica. Por ejemplo: la combinación de varios residuos de cosechas, estiércoles animales, abonos verdes, y desechos municipales aplicados periódicamente al suelo, mejorarán los niveles de diversidad microbiales que cuando solo uno



de esos materiales es aplicado. La razón para esto es que cada uno de esos materiales orgánicos tiene su propia y única microflora nativa la que puede afectar ampliamente la residencia de la microflora del suelo después de ser aplicados, al menos por un período limitado.

### **Clasificación de Suelos Basada en sus Propiedades Microbiológicas**

Los microorganismos del suelo pueden ser clasificados en microorganismos descomponedores y sintetizadores. Los descomponedores están subdivididos en dos grupos, los que desarrollan 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 amino ácidos 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 (Ej., carbohidratos) en componentes que pueden ser absorbidos directamente por las plantas. La descomposición aeróbica resulta en 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 microorganismos heterótrofos facultativos descomponen las proteínas anaeróticamente, produciendo malos olores incompletamente oxidados, metabolitos (Ej., amonio, mercaptanos) que son a menudo tóxico para 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 de carbono atmosférico. En este contexto, se hace referencia a ellos como microorganismos sintetizadores, y si llegan a ser una parte predominante de la microflora del suelo, entonces el suelo podrá ser llamado un suelo sintetizador. Los microorganismos nitrógenos son ampliamente diversos, extendiéndose desde bacterias autótrofas de vida libre de género *Azotobacter*, a bacterias heterótrofas simbióticas del género *Rhizobium*, y algas verde azules (ahora clasificadas como bacterias verde azules), todas funcionando aeróticamente. Microorganismos fotosintéticos fijan dióxido de carbono en una manera similar a las plantas. Ellos también son ampliamente diversos, extendiéndose desde algas verde azules y algas verdes que desarrollan fotosíntesis aeróbica completa, hasta bacterias fotosintéticas que desarrollan una fotosíntesis anaeróbica incompleta.

### **Relaciones entre Putrefacción, Fermentación y Síntesis**

Los procesos de putrefacción, fermentación y síntesis se desarrollan simultáneamente de acuerdo con apropiados tipos y número de microorganismos que están presentes en el suelo. El impacto sobre la calidad del suelo, atributos y propiedades, es determinado por el proceso dominante. La producción de sustancias orgánicas por los microorganismos resulta de la toma de iones positivos, mientras la descomposición sirve para liberar esos iones positivos. Los iones del hidrógeno no se recombinarán con oxígeno para formar agua siendo utilizados para producir metano, sulfuro de hidrógeno, amoníaco, mercaptanos y otras sustancias altamente putrescibles, reducidas la mayoría, tóxicas para las plantas y generadoras de malos olores. Si un suelo es capaz de absorber el exceso de iones hidrógeno durante los períodos de anaerobiosis y si los microorganismos sintetizadores como las bacterias fotosintéticas están presentes, utilizarán esas sustancias putrescibles para producir sustratos útiles, lo que ayudará a mantener la salud y productividad del suelo.

Las bacterias fotosintéticas, quienes desarrollan fotosíntesis anaeróbica incompleta, son altamente deseables en los microorganismos benéficos del suelo porque son capaces de desintoxicar los suelos por la transformación de las sustancias reducidas y pútridas, como el sulfuro de hidrógeno a sustratos útiles. Esto ayuda a asegurar la eficiente utilización de la materia orgánica y mejorar la fertilidad del suelo. La fotosíntesis envuelve la división foto catalizada de las moléculas de agua cuya producción de oxígeno molecular es un sub producto. De esta manera, estos microorganismos ayudan a proveer de una vital fuente de



oxígeno a las raíces de las plantas. Los componentes reducidos como metano y sulfuro de hidrógeno son, a menudo, producidos cuando los materiales orgánicos son descompuestos bajo condiciones anaeróbicas. Esos componentes son tóxicos y pueden suprimir en gran parte la actividad de los microorganismos nitrificadores. Es así como, si los microorganismos sintetizadores, como bacterias fotosintéticas que utilizan sustancias reducidas están presentes en el suelo, las deficiencias de oxígeno no ocurrirán frecuentemente. De esa manera, los microorganismos nitrificadores que coexisten en el suelo con las bacterias fotosintéticas, pueden funcionar efectivamente en la fijación de nitrógeno atmosférico, aun bajo condiciones anaeróbicas.

Las bacterias fotosintéticas no solo desarrollan fotosíntesis, sino que también pueden fijar nitrógeno. Además, han mostrado que cuando coexisten, en suelos con especies de *Azotobacter*, su habilidad para fijar nitrógeno se incrementa. Este es un ejemplo de los suelos sintetizadores. Esto sugiere también que reconociendo el rol, funcionamiento, y compatibilidad de estas dos bacterias y utilizando eficientemente todo su potencial, los suelos pueden ser inducidos a una gran capacidad sintética. Quizás el sistema más efectivo de suelos sintetizadores es el resultado del incremento de microorganismos sintetizadores y zimogénicos; esto permite que la fermentación llegue a ser dominante sobre la putrefacción y que el proceso de síntesis útil se desarrolle.

### **Clasificación de los Suelos Basados en las Funciones de los Microorganismos**

Como se discutió en el inicio de este texto, los suelos pueden ser caracterizados de acuerdo con su microflora nativa que desarrolla procesos y reacciones de pudrición, fermentación, síntesis y descomposición. En la mayoría de los suelos, esas tres funciones se desarrollan simultáneamente con el rango y extensión de cada uno determinado por los tipos y números de microorganismos asociados que están envueltos activamente al mismo tiempo.

#### **Suelos inductores de enfermedades.**

En este tipo de suelos, los microorganismos patogénicos de las plantas como el hongo *Fusarium* puede comprender del 5 al 20 % del total de la microflora si la materia orgánica con un alto contenido de nitrógeno es aplicado, los productos oxidados incompletamente pueden elevarse como malos y tóxicos olores para el crecimiento de las plantas. Esos suelos tienden a causar infestaciones frecuentes de organismos de enfermedades, e insectos dañinos. Probablemente más del 90 % de las tierras agrícolas dedicadas a la producción de cultivos a nivel mundial puede ser clasificada como suelos inductores de enfermedades. Dichos suelos generalmente tienen pobres propiedades físicas, y amplias cantidades de energía son perdidas como gases de invernadero, particularmente en el caso de campos de arroz. Los nutrientes de las plantas son también objeto de inmovilización en formas no disponibles.

#### **Suelos supresores de enfermedades.**

La microflora de los suelos supresores de enfermedades está usualmente dominado por microorganismos antagonistas que producen abundantes cantidades de antibióticos. Estos incluyen hongos del género *Penicillium*, *Trichoderma*, *Aspergillus* y *Actinomycetes* o del género *Streptomyces*. Los antibióticos que producen pueden tener efectos bioestáticos y biocidas sobre las enfermedades de las plantas desarrolladas al suelo, incluyendo *Fusarium* que tiene una incidencia en estos suelos de menos del 5%. Los cultivos plantados en estos suelos son raramente afectados por enfermedades o insectos plaga. Inclusive si materia orgánica con alto contenido de nitrógeno es aplicada, la producción de sustancias putrescibles es muy baja y el suelo tiene un olor agradable después que la materia orgánica se descompone. Estos suelos generalmente tienen excelentes propiedades físicas; por ejemplo: ellos inmediatamente, forman agregados estables al agua y están bien aireados, y tienen una alta permeabilidad al aire y al agua. Los niveles de producción en estos suelos son a menudo un poco menor que aquellos en suelos sintetizadores. Altos niveles de producción son obtenidos en suelos donde predominan ambos tipos de microorganismos, supresores de enfermedades y sintetizadores.

#### **Suelos zimogénicos.**



Estos suelos son dominados por una microflora que puede desarrollar tipos útiles de fermentación, Ej., la ruptura de moléculas orgánicas complejas en sustancias orgánicas simples y materiales inorgánicos. Los organismos pueden ser obligados o anaerobios facultativos. Dichos microorganismos productores de fermentación a menudo comprenden la microflora de varios materiales orgánicos, Ej., residuos de cosechas, estiércoles animales, abonos verdes y desechos municipales incluyendo compost. Después que esas enmiendas son aplicadas al suelo, su número y actividad fermentativa puede incrementarse dramáticamente y sobre pasar los microorganismos nativos del suelo por un periodo indefinido. Mientras esos microorganismos sean predominantes, el suelo puede ser clasificado como un suelo Zimogénico el que generalmente se caracteriza por: olores fermentativos agradables, especialmente después de la labranza; propiedades físicas del suelo favorables ( Ej., incremento de la estabilidad de los agregados, permeabilidad, aireación y detrimento de la resistencia a la labranza); grandes cantidades de nutrientes inorgánicos, amino ácidos, carbohidratos, vitaminas y otras sustancias bioactivas que pueden incrementar el crecimiento, calidad y productividad de las cosechas, directa o indirectamente; baja ocupación de Fusarium, siendo menos de 5%; y , baja producción de gases de invernadero (Ej., metano, amoniaco y dióxido de carbono) de los campos de cultivo, inclusive donde arroz anegado es cultivado.

### Suelos sintetizadores.

Esos suelos contienen poblaciones significantes de microorganismos que están disponibles para fijar nitrógeno atmosférico y dióxido de carbono en moléculas complejas como aminoácidos, proteínas y carbohidratos. Dichos microorganismo incluyen bacterias fotosintéticas que desarrollan fotosíntesis incompleta anaeróbicamente, ciertos Phycomycetos (hongos que asemejan algas), y algas verdes y verde azules con funcionamiento aeróbico. Todos esos son organismos fotosintéticos que fijan nitrógeno ambiental. Si el contenido de agua de esos suelos es estable, su fertilidad puede ser en gran parte mantenida mediante adiciones regulares de pequeñas cantidad es de materiales orgánicos. Estos suelos tienen una baja ocupación de Fusarium y a menudo son del tipo supresores de enfermedades. La producción de gases en los campos donde suelos sintéticos están presentes es mínima, inclusive en arroz inundado. Esta es una simple clasificación de los suelos basados en las funciones de sus tipos de microorganismos predominantes, y de todos modos son potencialmente benéficos o dañinos para el crecimiento y productividad de los cultivos. Mientras estos diferentes tipos de suelos son descritos aquí en una manera idealizada, el hecho es que en la naturaleza ellos no están siempre claramente definidos por que tienden a tener algunos las mismas características. Sin embargo, investigaciones han arrojado que un suelo inductor de enfermedades puede ser transformado a uno supresor, zimogénico o suelo sintetizador por la inoculación de cultivos mixtos de microorganismos eficiente (Higa, 1991; 1994; Parr et al., 1994). De esa manera es algo obvio que el suelo más deseable para la agricultura para un óptimo crecimiento, producción, protección y calidad de los cultivos debes esta compuesto por una alta cantidad de microorganismos zimogenicos y sintetizadores, y con una establecida capacidad supresora de enfermedades. Esta es la principal razón para buscar vías y mecanismos de control de la microflora de suelos agrícolas.

### Funciones de Microorganismos Benéficos

- Fijación de nitrógeno atmosférico
- Descomposición de desechos orgánicos y residuos.
- Supresión de patógenos de desarrollo del suelo
- Reciclaje e incremento de la disponibilidad de nutrientes para las plantas
- Degradación de tóxicos incluyendo pesticidas
- Producción de antibióticos y otros componentes bioactivos
- Producción de moléculas orgánicas simples para el consumo de las plantas
- Formación de complejos de metales pesados para toma limitada por las plantas
- Solubilización de fuentes de nutrientes insolubles
- Producción de polisacáridos para mejorar la agregación del suelo

### Funciones de Microorganismos Patógenos



- Inducción de enfermedades de las plantas
- Estimulación de los patógenos del suelo
- Inmovilización de nutrientes de las plantas
- Inhibición de la germinación de las semillas
- Inhibición del crecimiento y desarrollo de las plantas
- Producción de sustancias fitotóxicas

## RESUMEN Y CONCLUSIONES

Controlar la microflora del suelo para incrementar la predominancia de microorganismos benéficos y efectivos puede ayudar a mejorar y mantener las propiedades físicas y químicas del suelo. La apropiada y regular adición de enmiendas orgánicas es a menudo una parte importante de cualquier estrategia de ejercicio como de control.

Esfuerzos previos para un cambio significativo de la microflora nativa del suelo mediante la introducción de cultivos simples de microorganismos extrínsecos han sido insatisfactorios. Inclusive cuando un microorganismo benéfico es aislado de un suelo, cultivado en el laboratorio y reinoculado en el mismo suelo a una muy alta población, es inmediatamente sujeto de competencia y de efectos antagonistas por parte de la microflora nativa del suelo y su número declinará prontamente. De esa manera, la probabilidad de cambiar el equilibrio microbiológico de un suelo y controlarlo para favorecer el crecimiento, productividad y salud de los cultivos es mucho mayor si se mezclan cultivos de microorganismos benéficos y efectivos que sean introducidos siendo fisiológica y ecológicamente compatibles unos con los otros. Cuando estos cultivos mixtos llegan a establecer sus efectos benéficos individuales son a menudo magnificados en una manera sinérgica.

Actualmente, una microflora supresora de enfermedades puede ser desarrollada fácilmente seleccionando y cultivando cierto tipo de bacterias Gram. positivo que producen antibióticos y tienen un amplio rango de funciones específicas y capacidades; esos organismos incluyen anaerobios facultativos, aerobios obligados, microbios acidófilos y alcalófilos. Estos microorganismos pueden ser cultivados a altas poblaciones en un medio consistente de salvado de arroz o torta de aceite y luego ser aplicados con compost bien curado al suelo, que también tiene una amplia población de microorganismos benéficos, especialmente bacterias anaeróbicas facultativas. Un suelo puede ser transformado en un suelo zimogénico / sintetizador con potencial supresor de enfermedades si cultivos mixtos de microorganismos efectivos con la habilidad de transmitir esas propiedades son aplicados al suelo.

Los efectos deseables de la aplicación de cultivos de microorganismos benéficos y eficientes a los suelos pueden ser de alguna manera variable, al menos inicialmente. En muchos suelos, una simple aplicación (Ej., inoculación) puede ser suficiente para producir los efectos esperados, mientras para otros suelos, inclusive, aplicaciones repetidas pueden ser ineficientes. La razón para esto es que muchos suelos toman más tiempo para adaptar microorganismos introducidos a un nuevo juego de condiciones ecológicas y medioambientales y llegar a estar bien establecidos como una parte estable, efectiva y predominante de la microflora nativa del suelo. La consideración importante es la selección cuidadosa de un cultivo mixto compatible de Microorganismos Eficaces adecuadamente cultivados y provistos con un sustrato orgánico aceptable. Asumiendo, que repetidas aplicaciones son hechas a intervalos regulares durante la primera temporada de siembra, existe una alta probabilidad de que los resultados esperados se alcancen.

No hay una prueba significativa para monitorear el establecimiento de cultivos mixtos de microorganismos benéficos después de su aplicación al suelo. Los efectos deseados aparecen solamente después de que son establecidos y llegan a ser dominantes, y permanecen estables y activos en el suelo. La densidad de inoculación de cultivos mixtos y la frecuencia de aplicación sirve como un lineamiento para incrementar la probabilidad de su temprano establecimiento. Aplicaciones repetidas, especialmente durante la primera etapa del cultivo, pueden marcadamente facilitar el temprano establecimiento de la introducción de los Microorganismos Eficaces.



Una vez la “nueva” microflora es establecida y estabilizada, los efectos deseados continúan indefinidamente y nuevas aplicaciones pueden no ser necesarias, a menos que enmiendas orgánicas dejen de ser aplicadas, o que el suelo sea sujeto a severas sequías o inundaciones.

Finalmente, la microflora del suelo puede ser controlada a través de la aplicación de cultivos mixtos de microorganismos benéficos y eficientes seleccionados, más que por el uso de un cultivo puro. Si los microorganismos que comprende el cultivo mixto pueden coexistir, ser fisiológicamente compatibles y complementarios mutuamente, y si la densidad el inóculo inicial es suficientemente alta, hay una alta probabilidad de que esos microorganismos lleguen a establecerse en el suelo y sean efectivos como un grupo asociativo, según el cual dichas interacciones positivas pueden continuar. Así mismo, es también altamente probable que puedan ejercer considerable control sobre la microflora nativa del suelo, el que ambos casos, pueden ser transformados o remplazados por una “nueva” microflora del suelo.