

LAS BUENAS PRACTICAS AGRICOLAS (BPA) DESDE LA PERSPECTIVA DE LA MICROBIOLOGIA DE SUELOS

Gustavo Bernal¹

¹ Instituto Agropecuario Superior Andino, Escuela Politécnica del Ejército. Correo electrónico: gusrbg@yahoo.com

INTRODUCCION

Las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) son actividades involucradas en la producción, procesamiento y transporte de los productos de origen agropecuario, orientadas a asegurar la inocuidad de los alimentos, la salud del consumidor, y la protección del medio ambiente y las condiciones laborales del personal que trabaja en una unidad productiva. Estas prácticas a más de constituir un aporte al bien público, promueven la competitividad para la agricultura, con oportunidades de ampliar las exportaciones de algunos productos.

Un programa de BPA es un plan integral que se inicia con la selección apropiada del sitio de producción, y programas eficientes de labores culturales (incluyendo manejo de fertilizantes y control de plagas), cosecha, poscosecha, culminando con sistemas efectivos de autoevaluación y de trazabilidad de la producción.

Desde el punto de vista del suelo, las BPA principalmente deberán ir dirigidas al mantenimiento de las buenas características físicas, químicas y biológicas, sin contaminantes orgánicos e inorgánicos. Si un agricultor desea manejar su finca o cualquier unidad de producción bajo un programa de BPA, debe saber que el manejo es un sistema de gestión que necesariamente debe utilizar principios y criterios fundamentalmente técnicos con énfasis en la fertilidad del suelo y en la actividad biológica (ej: control biológico).

La generación de productos ambientalmente amigables como por ejemplo los controladores biológicos, los bio-fertilizantes, o microorganismos promotores de crecimiento vegetal, y las posibilidades de su uso, se efectivizan solamente a través de estudios donde la Microbiología de Suelos juega un papel fundamental. Su contribución va dirigida a la sanidad del suelo (calidad), de los cultivos, y obviamente a la inocuidad de los alimentos. La Microbiología de Suelos por lo tanto es una disciplina que con sus diferentes componentes contribuye significativamente con programas de BPA y sistemas de sustentabilidad.

Este artículo entrega las generalidades de las BPA y da énfasis a las BPA en el suelo como recurso delicado no renovable, y principalmente a las técnicas de la Microbiología de Suelos que bien pueden implementarse en un eficiente programa de BPA, contribuyendo a desarrollar prácticas ambientalmente sostenibles, higiénicamente aceptables y económicamente factibles para de esta forma mejorar la productividad y la calidad de los productos agrícolas.

ANTECEDENTES

El Ecuador sufre de problemas de inocuidad y de calidad de los alimentos y bebidas consumidos y producidas en su territorio. Por un lado, las enfermedades transmitidas por los alimentos (ETA) como salmonelosis, intoxicaciones, enfermedades diarreicas (**Tabla 1**), han mermado de una u otra forma la capacidad productiva en el país en varias oportunidades. La frecuente falta de calidad e inocuidad de los alimentos procesados en las diferentes industrias han hecho que estos no puedan ser exportados a otros países, relegando al Ecuador de procesos de competitividad integral que permitan dinamizar la economía del país en este ámbito.

Tabla 1. Problemas de salud transmitidos por las ETA, y algunos problemas en procesadoras de alimentos, en el Ecuador. Estadísticas del año 2006.

Problema de salud	Número de casos
Salmonelosis	8611
Intoxicación por alimentos	7683
Enfermedades diarreicas	366324
Problemas en procesadoras de alimentos	
El 50% de lácteos no disponen de procesos industriales	
Existen 250 camales clandestinos.	
Los camales municipales no cumplen con la normativa.	

Por otro lado, gran parte de la producción primaria de alimentos se realiza sin considerar las buenas prácticas lo cual repercute en la productividad con rendimientos bajos disminuyendo la calidad de la producción, generando pérdidas económicas (**Tabla 2**), y obviamente disminuyendo las posibilidades de exportación debido además, a los residuos de contaminantes como por ejemplo de metales pesados, herbicidas (ej: caso de la naranjilla, cacao, etc.) y/o contaminación con microorganismos patógenos.

Tabla 2. Algunos casos de pérdidas económicas en productos agropecuarios, en el Ecuador. Estimaciones del año 2005.

Producto	Perdidas (US\$ dólares)	Referencias
Papa	6'000.000 anuales	Universidad Católica.2004. Proyecto Polilla.
Cacao	3'700.000 por daño en producción.	Corpei
Cacao	Castigo en cuota de cacao fino y de aroma. Amenazas de cierre de mercado japonés, y de la UE.	Corpei
Mango	400.000 proceso de certificación para ingreso al mercado americano.	Fundación Mango y Corpei
Ganado	76'000.000 por fiebre aftosa	Datos estimados por CONEFA-IICA, de acuerdo al último censo agropecuario.

En el Ecuador, una de las características del sistema de inocuidad de alimentos y el de sanidad de productos agropecuarios ha sido que las responsabilidades institucionales son netamente sectoriales (ej: salud, agrícola, etc.) sin existir una verdadera interacción, coordinación y articulación interinstitucional, y sin un apropiado nivel de cobertura, con cruce de competencias y sin revisión permanente y poca información de la normativa. No ha existido un proceso óptimo de consulta e interacción entre los sectores público y el privado. En cuanto al sistema de vigilancia, este ha sido insuficiente para realizar actividades de detección y control de plagas y enfermedades mediante alerta temprana.

En general el enfoque del sistema de la calidad de alimentos y productos agropecuarios ha estado dirigido hacia la certificación de productos en lugar de procesos, y relativamente es "nuevo", y procesos como el de evaluación de los sistemas oficiales de inspección y certificación en el extranjero prácticamente no se aplican, razón por lo cual es fundamental para el Ecuador reforzar la institucionalidad de un sistema integral relacionado con la calidad, sanidad agropecuaria e inocuidad de alimentos.

Se entiende a la inocuidad de alimentos como un componente de la salud pública, siendo por lo tanto un compromiso del estado la protección del consumidor, y al mismo tiempo facilitar la competitividad del comercio tanto nacional como internacional. Esto se lograría si la producción agropecuaria en el Ecuador se realizaría bajo las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) y las Buenas Prácticas Pecuarias (BPP), las cuales permitan una producción inocua de alimentos.

Las BPA son acciones involucradas en la producción, procesamiento y transporte de los productos de origen agropecuario, orientadas a asegurar la inocuidad, la protección del medio ambiente y las condiciones laborales del personal que trabaja en la explotación. Es de gran interés la promoción de estas prácticas por cuanto conforman un aporte al bien público y posibilitan mejores niveles de competitividad para la agricultura, además de que ayudan a la promoción y mantención de la confianza de los productos del país.

Las BPA por lo tanto permiten al productor diferenciar su producto de los demás oferentes, con mejores precios y acceso a nuevos mercados, buscando la sustentabilidad ambiental, económica y social de las explotaciones agropecuarias, especialmente la de los pequeños productores.

Además, las BPA constituyen una necesidad de aplicarlas debido a la contaminación relacionada con el mal uso y manejo de agroquímicos en los principales sistemas agrícolas, con las consecuencias negativas conocidas en la salud humana, recursos naturales y el ambiente. Complementariamente, existen otros contaminantes como las micotoxinas, los metales pesados (ej: aluminio, hierro, cadmio, plomo, mercurio, etc.), la contaminación con microorganismos patógenos (coliformes fecales, salmonella, etc.) especialmente en hortalizas y algunas frutas. En el sector pecuario también existen serios problemas como por ejemplo el “mal de las vacas locas” en bovinos, o los casos de dioxinas en aves y cerdos, el rebrote de la fiebre aftosa, entre los más conocidos.

La implementación en el Ecuador de las BPA requerirá de un tiempo considerable de inversiones en infraestructura, capacitación y asistencia técnica. Será necesario también de una fuerte campaña de sensibilización y socialización, a nivel de productores y consumidores, y una fuerte campaña de promoción de los beneficios de los productos certificados. Complementariamente, también será necesario despolitizar las entidades relacionadas con el tema, fortaleciéndolas para la formación de auditores e inspectores oficiales autorizados o acreditados que realicen una adecuada inspección y certificación de los predios agropecuarios. Estos procesos deberán acompañarse necesariamente del fortalecimiento de la capacidad de laboratorios para el análisis de microorganismos (ej: patógenos), residuos de plaguicidas, calidad del agua, entre otras.

Aspectos generales para la implementación de las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA).

Según el Sistema Integrado de la Calidad, Sanidad Agropecuaria, e Inocuidad de Alimentos (SISCAL, 2010), el objetivo principal del programa de implementación de BPA (incluyendo las pecuarias) en el Ecuador, es mejorar la calidad y la productividad del sector agropecuario del país, buscando la certificación de las BPA. Como objetivos específicos, están: a) insertar pequeños y medianos productores agropecuarios en mercados dinámicos y competitivos, b) sensibilizar a productores y consumidores en los beneficios sociales, ambientales y económicos de implementar las BPA, y c) crear capacidad instalada oficial y privadas en BPA. El programa a implementarse en el Ecuador tendrá como principales componentes: a) la sensibilización a productores y consumidores, b) la formación de capacitadores, inspectores/promotores de campo y auditores, c) capacitación general y masiva a productores agropecuarios, d) asistencia técnica, y e) crédito para implementación de las BPA.

Para la implementación del programa BPA en el sitio de producción, será importante generar un plan integral. Este plan podrá estar basado en similares de otros países como por ejemplo en el de Chile. Según la Comisión Nacional de Buenas Prácticas Agrícolas de Chile, el programa en la unidad de producción deberá iniciar con la elaboración de un plano de ubicación de la unidad productiva con el o los cultivos, las fuentes de agua y las instalaciones dentro de la unidad. Debe individualizarse cada sector (o invernaderos) con un código o número reconocible por todos los involucrados de la cadena productiva dentro de la unidad o empresa. Deberá caracterizarse claramente la unidad de manejo, indicando especie, variedad, fecha de plantación y cualquiera otra información relevante del cultivo. Deberá estar disponible la información completa del productor (nombre, RUC, teléfono, razón social,

dirección), además del administrador y encargado de las BPA. Un programa bien estructurado de BPA deberá contener entre los aspectos más importantes, los siguientes:

El historial del uso del suelo, incluyendo rotaciones, las características físico-químicas, y biológicas, la erosión, su nivel freático, riego, y la presencia de plagas (incluyendo enfermedades) y malezas.

Un programa de labores culturales con énfasis en la fertilización, incluyendo la orgánica y siguiendo las indicaciones técnicas apropiadas sobre los usos de abonos orgánicos (aplicación, almacenamiento, registros, etc.).

Un programa de Manejo Integrado de Plagas (MIP), que cause el mínimo impacto ambiental y garantice la seguridad de los trabajadores.

Un programa de cosecha, implementando un plan de embalaje reutilizado, dando relevancia a la limpieza, medidas de protección, y mantenimiento de herramientas.

Un programa de higiene de cosecha, con un análisis de riesgo documentado que cubra todos los aspectos de la operación, elaborado por un profesional capacitado. Debe incluir protocolos de higiene y seguridad para los trabajadores de recolección referente del cuidado de la higiene personal, medidas de protección para el cultivo y las personas, uso de equipos e implementos de cosecha, etc. El personal que trabaja en recolección del producto deberá estar debidamente capacitado.

Un programa de postcosecha, que incluya el sitio de selección y embalaje diseñado de acuerdo al volumen máximo de producto a procesar de manera de no genere amontonamientos, excesos de personal, escasez de equipamiento, etc. Se deberá considerar condiciones óptimas de aireación, temperatura, humedad, iluminación, etc., evitando ambientes que provoquen algún estrés al producto debido a altas temperaturas, concentraciones de etileno elevadas, deshidratación del producto, y daños a los trabajadores.

En relación a la infraestructura de poscosecha, ésta debe ser adecuada y lejos de sitios de contaminación tales como explotaciones pecuarias, corrales, basureros, sectores de acumulación de estiércol o de lugares que generen polvo en suspensión. La infraestructura deberá incluir detalles sobre ubicación, material y seguridad de pisos, puertas, ventanas, facilidad de lavado de superficies de contacto con el producto, sistemas de energía, de pre-frío, frío y pasillos.

El programa de tratamiento post-cosecha, deberá incluir la calidad del agua, manejo de envases y materiales, medidas de higiene, registros, sistema de transporte de la producción, uso de productos fitosanitarios (elección del producto, almacenamiento, protección del personal, capacitación, métodos de aplicación, eliminación de envases, registros).

Un sistema de manejo de residuos (plásticos), basuras y desechos orgánicos e inorgánicos. Es recomendable que los desechos orgánicos se sometan al proceso de compostaje.

Un programa sobre las condiciones de trabajo, y de los trabajadores, que incluya capacitación, seguridad, servicios básicos, comedores, cocinas, alojamientos, legislación laboral, entre otros.

Un sistema de autoevaluación que incluya una lista de chequeo para evaluación del grado de cumplimiento de las BPA, que permita fácilmente tomar medidas correctivas pertinentes.

Un sistema efectivo (documentado al detalle) de trazabilidad e identificación del producto comercializado, que permita el retiro o aislamiento de un producto asociado a un problema, y la rectificación de problemas detectados en cualquier etapa del proceso productivo y comercial.

Las BPA y el Suelo

Desde el punto de vista del suelo las BPA principalmente deberán ir dirigidas al mantenimiento de las buenas características físicas, químicas y biológicas, sin contaminantes orgánicos e inorgánicos. La calidad del suelo debe lograrse con el mantenimiento de la materia orgánica en el suelo, por ejemplo reciclando los residuos de cosecha, e incorporándolos en el suelo. Las BPA de un suelo también tienen relación con el tipo de maquinaria que se emplea para su preparación. Las prácticas que remueven el suelo (ej: arado) producen su desmenuzamiento afectando las propiedades físicas, por lo cual en lo posible será necesario usar equipos livianos para la preparación. La labranza “cero” es una práctica agrícola considerada como “ideal”, bajo el contexto de sostenibilidad del suelo, sin embargo, ésta no es válida para todos los tipos de suelo, especialmente los que poseen alto contenido de arcilla susceptibles a compactación.

La BPA del suelo, comprende un programa organizado de análisis de las características físicas, químicas, y biológicas del suelo acorde con las necesidades del cultivo, y que ayuden a prevenir la erosión del recurso suelo. Por otro lado, el manejo de las plagas, enfermedades y problemas de nutrientes de los suelos, deberá realizarse buscando un equilibrio entre la productividad y la conservación del medio ambiente.

Para la elección del sitio a ser cultivado se deberá considerar la topografía evitando pendientes pronunciadas por que son propensos a erosionarse por efecto del agua o del viento, verificar el estado sanitario del predio, mirar el historial para evitar siembras repetitivas y el potencial de producción, se deberá verificar las condiciones de humedad del suelo para iniciar las labores de preparación.

Para la preparación y movimiento de suelos, se deberá hacer una correcta elección de maquinaria, implementos, aperos y herramientas para la preparación y movimientos del suelo, teniendo en cuenta la disponibilidad en la zona y las condiciones físicas del terreno. Evaluar la posibilidad de implementar prácticas de labranza de conservación o labranza reducida o mínima, como arados con bueyes o caballos, siembra en contra de la pendiente, establecimiento de barreras vivas con especies de la zona; con el acompañamiento de profesionales con experiencia en el cultivo de papa bajo éstas modalidades de manejo de suelos (cobertura permanente, mínimo movimiento de suelo y rotación con abonos verdes). Hay que evitar realizar labores de preparación y movimiento en suelos muy secos o demasiado húmedos o encharcados. Se recomienda que estas labores de adecuación de suelos, se realicen a capacidad de campo.

El suelo conjuntamente con el riego está muy relacionado con las BPA. La respuesta al riego desde el punto de vista del costo y de la productividad es mucho mejor. El agua debe manejarse como un recurso escaso y de gran valor, por lo que todos los manejos prediales deberán apuntar a su conservación, evitar la contaminación, y destinar al buen uso. Además, se debe considerar, que el agua es una de las potenciales fuentes de contaminación. Se deberá identificar los posibles riesgos de contaminación (químico, biológico) del agua para así, destinarla distintos usos: lavado, riego, bebida, etc. Se deberá llevar un registro de riego por cada unidad productiva, identificándose el sistema de riego que se utiliza, con detalles como fecha y duración de todos los riegos efectuados.

Un suelo sano sometido a las BPA deberá contener concentraciones bajísimas de metales pesados, determinado mediante un análisis de laboratorio. Lamentablemente, las concentraciones de estos elementos en algunos suelos del Ecuador han incrementado significativamente, volviéndose tóxicos para los organismos. Un metal pesado es un elemento que tiene una densidad igual o superior a 5 g cm^{-3} en forma elemental, o cuyo número atómico es superior a 20 (excluyendo a los metales alcalinos y alcalino-térreos). En la corteza terrestre la concentración es inferior al 0,1% y casi siempre menor del 0,01%. También hay otros elementos químicos que aunque son metales ligeros o no metales se los involucra junto a los metales pesados, por presentar orígenes y comportamientos asociados, como por ejemplo el arsénico (As), boro (B), bario (Ba), selenio (Se), etc.

Las concentraciones altas de metales pesados en un suelo pueden deberse a causas naturales (por ejemplo, los suelos desarrollados sobre serpentinatas, con altos contenidos en elementos como Cr, Ni, Cu y Mn). El contenido de metales pesados en los suelos, debería ser únicamente función de la composición del material original y de los procesos edafogenéticos que dan lugar al suelo. Lamentablemente, la actividad humana ha generado incrementos en el contenido de estos metales en el suelo en cantidades considerables (por ejemplo el cadmio y el mercurio), volviéndose tóxicos al superar un índice de bio-acumulación superior a 1, entendiéndose a la bio-acumulación como la relación entre la cantidad de un contaminante en el organismo y la concentración de ese contaminante en el suelo.

Las actividades mineras y las aplicaciones exageradas y sin criterio técnico de los agro-químicos (ej: plaguicidas), y lodos residuales, están entre las principales causas de la contaminación de los suelos por metales pesados. Aproximadamente el 10% de la basura está compuesta de metales. Uno de los problemas más serios hoy en día es como deshacerse de este volumen de basuras. Las dos alternativas son enterrar o incinerar. El enterramiento puede contaminar las aguas subterráneas, mientras que la incineración puede contaminar la atmósfera al liberar algunos de los metales volátiles. Los metales pesados al incorporarse al suelo pueden quedar retenidos en el suelo, ya sea disueltos en la solución del suelo o fijados por procesos de adsorción, formación de complejos, y precipitación. En el suelo, también tienden a acumularse en la parte superficial, en el horizonte biológicamente más activo, y así pueden ser absorbidos por las plantas incorporándose a las cadenas tróficas, o pasar a la atmósfera por volatilización, o movilizarse a las aguas superficiales o subterráneas.

La toxicidad de un metal pesado no sólo depende de sí mismo sino de las características del suelo. La sensibilidad de los suelos a la contaminación depende de una serie de características edáficas, como por ejemplo el pH, la textura del suelo (tipo de arcillas), la estructura, contenido de materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, condiciones redox, salinidad, etc.

Un suelo sometido a las BPA no debe recibir cantidades exageradas de antibióticos procedentes de ganado o aves. Un suelo de calidad naturalmente tiene microorganismos benéficos productores de antibióticos que contribuyen a mantener la salud de las plantas, pero lamentablemente el suelo (dependiendo del tipo) es un potencial reservorio de fármacos veterinarios, que puede incrementar las poblaciones de microorganismos patógenos resistentes a los antibióticos. Al recibir el suelo constantemente cantidades significativas de estos fármacos, y a la vez genes resistentes a los mismos, se convertirá en una fábrica de patógenos que atentan contra la salud no solo de las plantas, sino de los trabajadores y del consumidor de alimentos en general, generando un problema sanitario de magnitud. Al regar el suelo con aguas residuales (no depuradas), el suelo se convertirá en potencial fuente de envenenamiento para toda la cadena trófica.

Algunos estudios han analizado el ADN extraído de muestras de suelos y al compararse con los de décadas anteriores, se constata un alarmante incremento de genes con resistencia a los antibióticos. Es bien conocido el flujo horizontal de genes en el mundo microbiano. Por lo tanto, ciertas bacterias que poseen material genético resistente al reproducirse en el suelo, intercambiarán con otras especies esa resistencia, generando comunidades microbianas patogénicas de alto riesgo.

Estos inconvenientes, de incrementos de concentraciones de metales pesados y de antibióticos en los suelos son el resultado del abuso de aplicaciones por el desconocimiento de los principios técnicos básicos. No es cuestión de botar en el suelo los excrementos del ganado alimentado con antibióticos, y tampoco suministrar el riego con aguas o lodos residuales que en gran medida aportan grandes cantidades de fármacos veterinarios, microorganismos resistentes a los mismos, y metales pesados. Debe entenderse que los recursos edáficos no son basureros, ni tampoco vertederos.

Si un agricultor desea manejar su finca o cualquier unidad de producción bajo un programa de agricultura orgánica, debe saber que el manejo orgánico es un sistema de gestión de la producción que utiliza principios y criterios fundamentalmente técnicos con énfasis en la fertilidad del suelo y en la

actividad biológica (ej: control biológico). Las técnicas alternativas deben minimizar el uso de agroquímicos para proteger el medio ambiente y la salud humana, buscando la sustentabilidad integral (social, ecológico, y económico) del sistema. La producción orgánica está regulada por una estricta normativa internacional que considera exigencias para la producción vegetal y animal, de inspección, certificación y etiquetado de los productos a objeto de garantizar su autenticidad.

La tendencia mundial al empleo de productos biológicos en la agricultura, exige el uso de métodos alternativos para el control de plagas, y el uso de fertilizantes. Las posibilidades del empleo de productos biológicos como agentes fitopatógenos, o como biofertilizantes y promotores de crecimiento vegetal se concretan solamente a través de estudios e investigaciones donde la disciplina de la Microbiología de Suelos juega un papel fundamental. Su contribución va dirigida a la sanidad del suelo (calidad), de los cultivos, y obviamente del consumidor. La Microbiología de Suelos por lo tanto es una disciplina que con sus diferentes componentes contribuye significativamente con el sistema de las BPA.

La Microbiología de Suelos estudia el número y clases de microorganismos, y los efectos de éstos sobre el ambiente suelo y el desarrollo vegetal. Esta disciplina tiene gran importancia en solucionar problemas de origen abiótico como la baja fertilidad de los suelos, la acidez, la salinidad, la contaminación con metales pesados, compuestos orgánicos, etc., y problemas bióticos como las enfermedades del suelo. La causa mayor de éstos problemas sin duda ha sido y sigue siendo principalmente el manejo irracional en: a) la preparación del terreno, b) la fertilización (cantidad, época, forma, sitio), c) riego, d) uso de pesticidas, e) uso de hidrocarburos, f) uso de monocultivos (carencia de rotación de cultivos).

Los microorganismos del suelo desempeñan importantes funciones en diferentes procesos del suelo. Así por ejemplo, en la mineralización (ej. bacterias), inmovilización (ej. hongos micorrízicos), eficiencia del ciclo de nutrientes, descomposición (y síntesis) de materia orgánica (MO), en la capacidad de intercambio catiónico, en las reservas de nitrógeno (N), azufre (S), fósforo (P), en la acidez, en la toxicidad, en la capacidad de retención de humedad, en la agregación (estructura) a través de los exudados microbianos, en el régimen de agua, etc.

La Microbiología de Suelos contribuye con una agricultura alternativa donde se combinen fuentes orgánicas e inorgánicas, permitiendo así la conservación de los recursos naturales y de la biodiversidad. Al manipular procesos biológicos se logra influenciar en la fertilidad del suelo, así por ejemplo las prácticas de inoculación de semillas de leguminosas con la bacteria del género *Rhizobium*, permiten un efecto importante incrementando el nitrógeno en la planta como producto de la fijación del nitrógeno atmosférico por parte del microorganismo. Otro ejemplo es el de las asociaciones micorrízicas, a través de las cuales las plantas se ven favorecidas al incrementar la absorción del P y la protección de planta por productos elaborados por el microorganismo del suelo, como antibióticos, enzimas, sideróforos, etc.

Técnicas microbiológicas contribuyendo con las BPA.

El compostaje y la materia orgánica.

El compostaje es el proceso de descomposición aeróbica de los residuos orgánicos: vegetales, animales, excrementos, y de la reproducción masiva de microorganismos como bacterias termófilas, hongos y actinomicetos, obteniendo como producto final el "compost". El compost puede ser usado como técnica alternativa de fertilización del suelo, para control de la erosión, recubrimientos y recuperación de suelos. Además de su utilidad directa, el compost constituye una solución estratégica y ambientalmente aceptable a la problemática de las grandes cantidades de residuos sólidos orgánicos domésticos, de explotaciones agrícolas, y ganaderas.

En el suelo, la materia orgánica es descompuesta o mineralizada por la acción de las enzimas que poseen los microorganismos edáficos, especialmente las bacterias, hongos y actinomicetos. Los microorganismos utilizan la materia orgánica como fuente primaria de carbono para su alimento (sustrato) y energía, permitiendo por lo tanto su supervivencia en el suelo. Además de los microorganismos señalados intervienen también organismos de mayor tamaño como por ejemplo las lombrices que ayudan a descomponer la materia orgánica acelerando el proceso de mineralización. Como producto final, el componente viviente (biota) del suelo entrega minerales importantes para la nutrición de las plantas y también el humus, que es un material estable y vital para mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo.

La calidad del producto final descompuesto dependerá de la calidad de los sustratos. Si el sustrato es pobre en nitrógeno (relación alta C/N) como por ejemplo los residuos de cereales (ej: maíz, sorgo), aserrines, etc., el producto final será también pobre en este importante nutriente, pero si el sustrato es rico en nitrógeno (relación baja C/N) como por ejemplo los restos de las leguminosas (ej: pueraria, mucuna, maní, soya, leucaena, o los estiércoles etc.), el producto final será rico en este elemento, pero existiendo en este caso posibilidades de pérdida en forma de amonio. No son los microorganismos ni las lombrices las que determinan la calidad del producto final descompuesto, sino exclusivamente el tipo o composición de los sustratos que van a descomponerse. La calidad del producto final se puede determinar en el laboratorio a través de pruebas como por ejemplo: la relación C/N, acidez, contenido de nutrientes (estimación de la nitrificación), presencia de fitoxinas o inhibidores de germinación de semilla, etc.

En la preparación del compost, por lo general las hojas proveen minerales y las raíces proveen exudados o compuestos orgánicos como por ejemplo: azúcares, amino-ácidos, ácidos orgánicos, vitaminas, etc., que estimulan el crecimiento de microorganismos benéficos que al asociarse con los cultivos promueven el desarrollo y crecimiento de las raíces a través por ejemplo de la producción de fito-hormonas. El mayor volumen radicular permitirá al cultivo la mayor absorción de nutrientes desde el suelo, y por lo tanto mayor vigor y rendimiento.

El grado de descomposición de la materia orgánica depende del medio ambiente, específicamente de la humedad (oxigenación), temperatura, acidez y nutrientes en el suelo, y obviamente de la composición de los residuos, y del manejo que se de al suelo. Dependiendo del sitio y de la época, los residuos pueden persistir por años. Existen materiales (ej: ricos en lignina) que pueden resistir por cien años, y que se mineralizan a tazas de 2-5% /año.

No todos los compuestos orgánicos son descompuestos al mismo tiempo. Estos son selectivamente atacados por un rango específico de microorganismos. Cada microorganismo produce un “grupo específico” de enzimas activas sobre las moléculas que forman el compuesto. Así por ejemplo, los compuestos solubles son los que más rápidamente se descomponen porque están formados de componentes altamente degradables como por ejemplo los aminoácidos, ácidos orgánicos, azúcares, exudados, etc. Estos son usados por bacterias y hongos del tipo “azúcar” (*Mucor*, *Rhizopus*, etc.), conocidos como organismos zimógenos (tienen tasa de crecimiento rápido). Las proteínas (ej. las de leguminosas) también son fácilmente descompuestas por los microorganismos que poseen las enzimas proteasas, peptidasas (proteolíticas).

La celulosa es atacada por enzimas extracelulares (celulasas) de organismos como por ejemplo *Trichoderma*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Streptomyces*, *Pseudomonas*, *Bacillus*, mientras que la hemicelulosa es descompuesta por hongos conocidos como “de pudrición café”, que también descomponen celulosa. Estos hongos dejan lignina y material fenólico. La lignina puede descomponerse bajo condiciones anaeróbicas, donde intervienen algunas bacterias y actinomicetos como por ejemplo *Streptomyces* spp.

A medida que la materia orgánica va descomponiéndose o mineralizándose gracias a la acción enzimática de la biota del suelo, va generándose al mismo tiempo el proceso de humificación, es decir

la síntesis de sustancias húmicas. Estas sustancias son resistentes (recalcitrantes) al ataque microbiano, y por ofrecer propiedades comunes, se llaman genéricamente humus. El humus es bioestable en el tiempo, heterogéneo por su origen y composición, y representa un 60-90% de la materia orgánica total del suelo.

No es posible asignar una fórmula a las moléculas húmicas, pero sin embargo se puede establecer límites. Así por ejemplo, el contenido de carbono oscila entre 40 – 65 %, el de oxígeno entre 30 – 50 %, el de nitrógeno e hidrógeno entre 1 al 6 %. El fósforo y azufre, y cationes inorgánicos no llegan al 2%. Las sustancias húmicas varían en peso molecular desde 5000 (bajo) hasta 500.000, y en solubilidad ya que la molécula tiene una parte hidrófila (asociada a grupos ionizables) y una parte hidrófoba (grupo aromático).

Las sustancias húmicas la conforman principalmente: a) los ácidos húmicos de alto peso molecular, con menor contenido de oxígeno y más carbono, y nitrógeno heterocíclico (insoluble en el suelo), b) los ácidos fúlvicos, de color amarillento y más ricos en oxígeno, y en grupos ácidos, y c) las huminas que son sustancias no extraíbles por la fuerte interacción que presentan con materiales arcillosos.

No existe un solo tipo de humus, ya que este se forma dependiendo de las condiciones ecológicas del sitio, como el clima (especialmente humedad y temperatura), del suelo y de su manejo. En suelos pobremente drenados (formación de turba), la formación del humus será diferente que en sitios donde predominan suelos bien aireados. Los tres tipos más importantes de humus en el suelo son: a) humus Mor (bruto) con acumulación orgánica superficial, de estructura laminar formada de restos vegetales poco desmenuzados, prevaleciendo en suelos ácidos de lugares fríos y húmedos, con contenidos apreciables de arena, b) humus Mull (dulce) con material orgánico completamente humificado, homogenizado y mezclado íntimamente con el material inorgánico del suelo, de buena estructura y aireación, y c) humus Moder con características intermedias entre el Mor y el Mull.

Si bien es cierto desde el punto de vista nutricional el humus no posee contenidos significantes de nutrientes, sin embargo el humus constituye un componente fundamental del complejo órgano-mineral del suelo. El humus (representado por la micela húmica) y la partícula mineral (arcilla) son dos coloides generalmente electronegativos vitales que deben unirse a través de un catión, para el mantenimiento del equilibrio dinámico de cationes entre el complejo y la solución del suelo, permitiendo de esta manera la estabilidad del suelo y la adecuada nutrición de los cultivos. El complejo órgano-mineral tiene la capacidad de adsorber los elementos inorgánicos solubles, constituyendo por lo tanto, la reserva de nutrientes para las plantas. De nada sirven los “ácidos húmicos” que nos ofrece el mercado, si el suelo es pobre en nutrientes, ya que la formación del complejo no se verá estimulada, al faltar uno de sus componentes. Los nutrientes aparecen por hidrólisis y solubilización de los minerales del suelo, favorecida por sustancias orgánicas hidrosolubles provenientes de la hojarasca, las fracciones más solubles del humus, y el CO₂ producido por la respiración microbiana y por las raíces.

Se puede concluir por lo tanto, que la materia orgánica en el suelo es crucial para mantener la salud del suelo con propiedades físicas, químicas y biológicas apropiadas que permitan el buen crecimiento, desarrollo y producción de cualquier cultivo. La materia orgánica provee compuestos que promueven el crecimiento de plantas, aumenta la capacidad de intercambio catiónico, y libera lentamente los nutrientes de acuerdo a la necesidad de la planta. Además mejora la estructura del suelo disminuyendo la densidad aparente, neutralizando principios activos de agroquímicos peligrosos como los herbicidas, y aumentando la capacidad de retención del agua, aspecto fundamental relacionado con la absorción eficiente de los nutrientes.

Bio-estimulantes y Bio-protectores.

Existen algunas bacterias benéficas del suelo conocidas como promotoras de crecimiento vegetal o PGPR's por sus siglas en inglés. Son bacterias propias de la rizósfera y que a través de la producción

de hormonas (auxinas, giberelinas, citoquininas, etileno, etc.) incrementan la longitud y número de raíces de los cultivos, y el peso seco del material vegetal, volviendo a la planta vigorosa con mejor capacidad de tolerar el ataque de fitopatógenos del suelo. Estas bacterias una vez seleccionadas por su eficiencia y crecidas en portadores adecuados, constituyen inoculantes biológicos para el control de patógenos y como bio-fertilizantes, y por lo tanto su uso es compatible en relación a las BPA.

Las PGPR's a más de producir hormonas de crecimiento vegetal tienen la capacidad de producir antibióticos como por ejemplo algunas bacterias del género *Pseudomonas* (*P. fluorescens* y *P. putida*), volviéndolas eficientes en antagonismo contra patógenos del suelo especialmente hongos. Además pueden producir enzimas, o sideróforos que son compuestos orgánicos que se difunden en la rizosfera, y que presentan alta afinidad al Fe^{3+} , al cual se ligan fuertemente solubilizándolo a Fe^{2+} para asimilación. Los sideróforos son por lo tanto un mecanismo necesario para competir por el Fe^{3+} con los patógenos del suelo (ávidos por Fe^{3+}), y así disminuir la población de bacterias u hongos causantes de enfermedades. Las PGPR's son altamente eficientes en competir en la rizósfera por nutrientes y por sitios de colonización desplazando a organismos patogénicos.

El caso de *Azospirillum*, esta es una bacteria diazótrofa rizosférica que produce fitohormonas, gránulos poly-B- hidroxibutirato, quistes y sideróforos, éstos dos últimos permite adaptarse a adversidades del medio ambiente, como altas temperaturas, sequía, o deficiencias nutricionales, etc. Además fija N atmosférico aunque en pequeñas cantidades comparado con *Rhizobium*. Es una bacteria muy versátil en el metabolismo ya que puede consumir ácidos grasos, azúcares, aminoácidos, resiste a varios antibióticos, u produce exopolisacáridos. Tiene la extraordinaria propiedad de optimizar la absorción de nutrientes, y de acuerdo con el agro-ecosistema se expresan sus posibilidades genético-fisiológicas.

En el Ecuador, el INIAP ha llevado a cabo estudios sobre la caracterización y selección de cepas de *Azospirillum* asociada con el maíz de altura (*Zea mays* L.). Los estudios han determinado la presencia de cepas nativas en suelos de distintas zonas maiceras de la Costa y Sierra del Ecuador. Se identificó una cepa proveniente de la Provincia de Tungurahua como eficiente en promover el crecimiento del maíz, a través de ciertas variables como: altura de la planta, peso fresco y seco de la planta, y peso fresco y seco de raíz. Esta cepa produjo el mayor volumen y mayor peso fresco de raíces lo que bien pudo haber estado relacionado con la producción de hormonas de crecimiento vegetal, posiblemente auxinas y giberelinas.

Muchas de las especies de la bacteria del género *Azotobacter* producen también hormonas de crecimiento vegetal como giberelinas, y también aminoácidos. Tres representantes del género son las especies: *Azotobacter paspali*, *Azotobacter vinelandi* y *Azotobacter crococcum*. Algunas cepas de *Azotobacter* son buenas productoras de ácido indolacético, ácido giberélico y citoquininas, de aminoácidos: ácido aspártico, serina, y glicina, de vitaminas: tiamina, riboflavina, piridoxina y ácido fólico.

Algunos estudios han demostrado el éxito de *Azotobacter* como inoculante de hortalizas y frutales. Los estudios indican entre algunas ventajas el ahorro de fertilizante nitrogenado (40%), floración temprana, fructificación, disminución del aborto floral (en condiciones de alta temperatura), disminución del ciclo de cultivo (15 días en tomate), bulbos de mayor peso y aumento del rendimiento en cebolla (25-40%). En un experimento con papa (aplicaciones de 30 litros /ha de *Azotobacter* al suelo más 30 l/ha a los 30 días) el rendimiento fue de 43 T/ha versus 15.5 T/ha del control. En yuca (50% de la fertilización completa más inoculación de *Azotobacter* a la siembra) el rendimiento alcanzó 41.5 T/ha versus 23.7 T/ha del control (sin fertilizar y sin inocular). En el Ecuador, en un estudio realizado como tesis de grado del IASA, y utilizando tres cepas y varias concentraciones de la bacteria *Azotobacter*, se lograron incrementos significativos de rendimiento en brócoli.

Las bacterias del género *Bacillus* producen también como: oligopeptidos cíclicos-bacitracina, oligopeptidos lineares (gramicidina), peptidos básicos (edeina), y aminoglicosídeos. Se han identificado más de cien (100) antibióticos producidos por bacterias de éste género. Producen también

reguladores de crecimiento: auxinas, giberelinas, citocininas, enzimas amilolíticas, y proteolíticas. Además son productoras de sideróforos. En el caso de *Bacillus megatherium* var. *phosphaticum*, ésta especie puede aumentar la solubilización del fosfato orgánico vía acción de la fosfatasa, y la solubilización de fosfatos inorgánicos con ácidos orgánicos, incrementando la absorción de P por la planta, constituyendo una alternativa biológica de fertilización, compatible con el programa de BPA.

La especie *Bacillus subtilis* al inocularse en semillas de avena proporcionó un aumento del 40% en la producción de granos. En zanahoria al paletizarse la semilla, la producción de raíces aumentó en un 48%. En fréjol, una cepa de *B. subtilis* redujo la pudrición radicular causada por *Fusarium solani* f. sp. *phaseoli*, estimulando el crecimiento de la planta y aumentando la producción de granos. En un experimento donde se mezcló la bacteria con un polímero natural (una pectina), mostró eficiencia en el control de *Fusarium solani*.

Como parte del proyecto Comminandes (INIAP-Universidad de Lovaina), se logró identificar bacterias promotoras de crecimiento vegetal, que aplicados conjuntamente con hongos micorrízicos, como inoculantes en el compost elaborado por comunidades de agricultores dedicados a la producción de papa, incrementaron los rendimientos. Las especies de *Bacillus* aisladas en el Ecuador de suelos de zonas paperas, fueron identificadas a través del método MALDI-ToF (Matrix Assisted Laser Desorption Ionisation - Time of Flight) utilizando espectrometría de masas. Las especies identificadas fueron: *Bacillus subtilis*, *B. cereus*, *B. thuringiensis*, *B. licheriformis*, *B. sphaericus*, *B. amyloliquefaciens*, y *B. megaterium*.

Dentro del género *Pseudomonas*, aisladas también en el Ecuador, se identificaron *Pseudomonas fluorescens*, *P. putida*, *P. oleovorans*, *P. syringae*, y *P. agarici*. Muchas cepas dentro de estas especies son consideradas también promotoras de crecimiento vegetal. Estudios adicionales de laboratorio y campo como parte del proyecto Comminandes, permitieron identificar cepas que bien pueden utilizarse masivamente como bio-protectores, al producir antibióticos y sideróforos, reduciendo la población de microorganismos responsables de inhibir el crecimiento vegetal y deformación de raíces. Una cepa de *P. fluorescens*, redujo 95% la población de *Erwinia carotovora*, y una cepa de la especie *P. putida* aislada de la rizósfera de zanahoria redujo 30% la pudrición de *E. carotovora*. En el manejo de la bacteria, especialmente cuando se la utiliza contra patógenos foliares es muy importante considerar la sensibilidad de la bacteria a la desecación y a los rayos ultravioleta. En caso de utilizarse contra patógenos del suelo se deben considerar principalmente el tipo de suelo con sus características químicas como por ejemplo la acidez.

Bio-fertilizantes

Las micorrizas constituyen una asociación simbiótica entre hongos benéficos del suelo y el sistema radicular de los cultivos. El 95% de las plantas están asociadas con las micorrizas, y solo pocas plantas rara vez o nunca se asocian con los hongos. Un tipo de micorrizas (las ectomicorrizas) crecen habitualmente en los espacios intercelulares de la parte externa de la corteza de la raíz y forma un grueso manto de tejido alrededor de la punta de la raíz. Algunas hifas se extienden desde las raíces hasta el suelo circulante para conseguir agua y nutrientes. La red de filamentos intercelulares, conocida como la red Harting, forma los lugares de intercambio donde el huésped intercambia nutrientes que aporta el hongo por carbohidratos.

Por otro lado, las endomicorrizas llamadas también arbusculares (por las estructuras ramificadas que forman en el interior de las células) crecen principalmente dentro de las células corticales. El hongo (micelio) suministra a la planta los nutrientes (ej: N, P) que las raíces no pueden absorber y protege además a la raíz del ataque de patógenos a través de sustancias como antibióticos, mientras que la planta suministra al hongo el carbono proveniente de la fotosíntesis necesario para la construcción de compuestos participantes del metabolismo. Tanto los inoculantes elaborados con ectomicorrizas como con endomicorrizas constituyen tecnologías afines con la agricultura orgánica y obviamente con los programas de BPA.

Existen estudios en el Ecuador como en soya y cacao (INIAP- ESPE- FUNDACYT), papa (INIAP- Comunidad Europea-Centro Internacional de la Papa), banano (ESPOL-Centro de Investigación Biotecnológica del Ecuador), palma aceitera (ANCUPA - INIAP), tomate (ESPE-IASA; U. Guayaquil), palmito (Universidad Técnica Equinoccial), especies forestales (U. Quevedo-FUNDACYT), orquídeas (Universidad Particular de Loja), cebolla de bulbo (IASA). Estos estudios han estado concentrados principalmente en la dependencia micorriza – cultivo (grado de infección), aislamiento, métodos de conservación, variabilidad fenotípica (ej. en papa, banano), caracterización genética, tiempos (instancias) de inoculación, evaluación de macro-nutrientes en la viabilidad de la micorriza arbuscular asociada al cultivo (ej. en papa), efectividad como bio-protectores o bio-fertilizantes, y en interacción con otros microorganismos (ej. con *Azotobacter*).

Otros estudios (ESPE) han abarcado la diversidad ecológica y el comportamiento funcional de hongos arbusculares asociados a ecosistemas naturales: bosque tropical: *Brosimum utile*, y páramo: *Polylepis incana* y *Polylepis pauta*, sistemas agrícolas: *Solanum betaceum*, y sistemas contaminados donde se evaluó la tolerancia de los hongos arbusculares a condiciones de contaminación por metales pesados con énfasis en arsénico.

Un estudio de importancia fue el efecto de agro-ecosistemas en la bio-diversidad, llevado a cabo entre el INIAP (DNPV-EESC) y la GTZ, como parte del proyecto BIOSYS de la Universidad de Goettingen y del Ministerio de Educación e Investigación del Gobierno Alemán (BMBF). Concretamente se estudió el efecto de tres agro-ecosistemas, bajo dos tipos de suelo, en la población de grupos funcionales, en Manabí-Ecuador. Se utilizaron como sistemas: café (*Coffea* sp.) y cultivos de pastos y arroz (*Oriza sativa* L.). En el caso de micorrizas, el estudio determinó que éste grupo de organismos del suelo bien pueden emplearse como indicadores de la fertilidad de los suelos.

Inoculantes a base de *Rhizobium* en leguminosas

La mayoría de los suelos del Ecuador son susceptibles a niveles de erosión hídrica, que en las partes altas son de magnitud considerable. Bajo este contexto, las leguminosas juegan un papel de relevancias en las practicas de conservación de suelos ya que su sistema radicular y sus residuos (hojas y tallos) al descomponerse sobre el suelo por la acción microbiana, incrementan la agregación de las partículas, mejorando la estructura y en general las propiedades físicas, químicas y biológicas, esencial para mantener la fertilidad o calidad de los suelos.

Las leguminosas tienen la capacidad de vivir en simbiosis con muchos microorganismos benéficos del suelo, como por ejemplo con las bacterias fijadoras de nitrógeno, comúnmente conocidas como “rizobios” (Bernal, 1983; Bernal 2002). La cantidad de N fijado por las leguminosas durante su periodo vegetativo está en función de la capacidad del rizobio para fijar N, de la especie de leguminosa, y de las condiciones de suelo y clima, pudiendo llegar a más de 400 kg/ha.

La fijación de nitrógeno por la simbiosis entre leguminosas y bacterias es un proceso biológico natural capaz de llenar algunas de las mayores necesidades tales como: proveer nitrógeno de bajo costo como insumo agrícola, mejorar los rendimientos y la calidad de los cultivos, mejorar la calidad de los forrajes, proteger al suelo de la erosión y a las aguas de la contaminación. Con todas estas propiedades las leguminosas se convierten como excelentes componentes indispensables de los sistemas de producción sostenible.

El INIAP a través del Departamento Nacional de Protección Vegetal (DNPV) de la Estación Experimental Santa Catalina y con el financiamiento de PROMSA (Proyecto de Modernización de los Servicios Agropecuarios) llevó a cabo un proyecto (IQ-CV-081) denominado “Selección de cepas de *Rhizobium* adaptadas a condiciones de campo y su uso como inoculantes de leguminosas de la Sierra y Costa Ecuatoriana” con el propósito de: a) incrementar el banco germoplásmico de *Rhizobium* para leguminosas nativas y no nativas del Ecuador, debidamente caracterizado (fenotípica y genéticamente), b) evaluar bajo condiciones de invernadero y campo, el potencial de fijación de nitrógeno de las cepas

de *Rhizobium*, al asociarse con las leguminosas de importancia en el Ecuador, y c) difundir los resultados y productos obtenidos, a los agricultores.

El proyecto seleccionó cepas eficientes en fijación biológica de nitrógeno. En fréjol las cepas UMR 1478 y UMR 1481, en maní: ECUM-P8-6, ECUM-L102, en arveja: ECUA -I1, ECUA-Z2, en alfalfa: UMR 6008, TAL 380, y en soya: CIAT 151, UMR 6001, ECUS-001, ECUS1-SJ. La difusión de los resultados del proyecto permitió el incremento del número de agricultores que usan inoculantes, comprobado mediante diagnósticos realizados en las Provincias del Cañar (comunidad Virgen de la Nube).

Controladores Biológicos

Entre los controladores biológicos que se emplean eficientemente bajo un enfoque de manejo integrado de plagas (MIP) y en programas de BPA, están los hongos entomopatógenos. Por ejemplo, algunas cepas de *Metarhizium anisopliae* que crece naturalmente en el suelo y trabaja como un antagonista de varios insectos al parasitarlos. Las esporas (asexuales) o conidios del hongo tienen la capacidad de entrar en contacto con el cuerpo del insecto, donde germinan produciendo una hifa con capacidad de penetrar la cutícula. El hongo se desarrolla en el interior produciendo péptidos que matan al insecto. Existen estudios que demostraron claramente que la proteasa es el factor clave en la penetración la cutícula del insecto por el hongo. La cutícula esta formada en un 70% aproximadamente de proteínas, lo que explica que sean las proteasas más importantes que las quitinasas. Si la humedad del medio es favorable, crece un moho blanco sobre el cadáver del insecto produciendo una coloración verdosa a medida que las esporas son producidas. La literatura indica que algunas cepas de *Metarhizium* son específicas, infectando exclusivamente determinados insectos, por que es fundamental identificar a nivel de especie al entomopatógeno específico para determinada plaga. No existe literatura evidencias de que el hongo infecte al humano y otros animales, por lo que es considerado un bio-insecticida seguro.

Beauveria bassiana es otro hongo antagonista entomopatógeno muy agresivo de diferentes insectos en estados de larva o adulto. Las esporas son pequeñas midiendo apenas pocas micras, y son producidas en la punta de la célula madre, cuyo crecimiento cesa. Las hifas y las esporas son hialinas, no pigmentadas. Las colonias en medio de cultivo pueden aparecer como penachos con micelios de color, cargando masas de esporas blanco (como polvo) que revientan en todas las partes del cuerpo de los insectos infectados, iniciando así la muerte de la plaga insecto.

La Asociación Nacional de Cultivadores de Palma Aceitera (ANCUPA) a través del Centro de Investigación en Palma (CIPAL), creó el laboratorio de microbiología agrícola, con énfasis en la elaboración de inoculantes a base de cepas de hongos entomopatógenos aisladas de insectos plagas del cultivo de palma aceitera. El laboratorio dispone al momento cepas de *Metarhizium* específica para *Alurnus humeralis*, y cepas de *Beauveria* específicas para *Natada*, *Stenoma* y *Brasolis*. Con el hongo *Metarhizium* en la zona de La Concordia, se realizaron algunas pruebas experimentales para determinar la capacidad infectiva sobre *Alurnus*. Como resultados, *Metarhizium* ejerció un control mayor al 80% sobre dicha plaga, obteniendo así una alternativa que bien puede ser parte del manejo integrado de la plaga y del programa de BPA.

Es importante mencionar que los agentes de control biológico existentes en el mercado son en su mayoría foráneos ejerciendo un control poco eficiente sobre la plaga, a diferencia de los organismos nativos aislados por el CIPAL, y que adicionalmente son más baratos para los palmicultores del Bloque Occidental (Quinindé, La Concordia, Santo Domingo, Quevedo).

El INIAP a través del DNPV-EESC llevó a cabo estudios como parte del Proyecto CRSP (Collaborative Research Support Program) con las Universidades de Virginia y Ohio. En papa se obtuvo resultados prometedores contra gusano blanco (*Premnotrypes vorax*), utilizando cepas de

Beauveria sp. Contra la polilla de la papa (*Tecia solanivora*) se utilizó *Baculovirus* con asolación, y en tomate de árbol *Beauveria* y *Metarhizium* contra el cutzo (*Phyllophaga*).

Pasteuria penetrans es una bacteria considerada como un excelente agente de control biológico para nemátodos. Es una bacteria que forma endosporas que son estructuras unicelulares resistentes que permanecen latentes hasta tomar contacto en el suelo con el juvenil del segundo estadio del nematodo. Después del contacto las endosporas se adhieren a la cutícula del patógeno y son llevadas al interior de la planta cuando el nematodo penetra la raíz. La bacteria en el interior del patógeno crece a manera de micelio formando colonias, donde libera las endosporas. Estas parasitan produciendo la muerte y descomposición del nematodo, para luego dispersarse en el suelo.

El INIAP a través del Departamento de Protección Vegetal de la Estación Experimental Boliche en colaboración con las Universidades Técnica de Babahoyo (UTB), Técnica del Norte (UTN), y la Nacional de Loja (UNL), llevó a cabo un estudio para el control de *Meloidogyne* spp. (nematodo agallador de raíces), en los cultivos de tomate y fréjol, en la Costa Ecuatoriana y en los valles interandinos donde estos cultivos tienen importancia. Los resultados permitieron identificar cinco aislamientos de *P. penetrans* con alta capacidad de infectar *Meloidogyne* spp. En tomate la reducción de la población (en 100 cm³ de suelo de Babahoyo) llegó al 90 % comparado con el testigo. El uso de *P. penetrans* redujo en buen porcentaje las poblaciones de *Meloidogyne* en cinco zonas agro-ecológicas del país y en diferentes cultivos. La rotación de cultivos favorece la multiplicación de la bacteria, y los agroquímicos utilizados para el manejo de insectos plaga y enfermedades no han afectado la multiplicación del agente benéfico. Esta tecnología biológica resultó ser económica, y además no afecta la salud de las personas que la manejan.

Los *Baculovirus* son un tipo de virus que infectan artrópodos, especialmente insectos. Durante su infección, las partículas virales se agrupan formando los cuerpos llamados poliédricos, que son cuerpos de inclusión localizados en el núcleo celular, compuestos mayoritariamente de la proteína poliedrina. El genoma de los *Baculovirus* consta de una molécula circular de ADN (88 y 200 kb). El sistema de expresión del *Baculovirus* es usado para expresar genes heterólogos en células y larvas de insectos. El *Baculovirus* se utiliza en la producción de vacunas debido a su enorme capacidad de expresión. Este es un virus de insectos que se puede replicar en líneas celulares estables del insecto y cuyo promotor de expresión es el gen de la polihidrina. Este gen supone aproximadamente el 60% de las proteínas totales del *Baculovirus* y puede ser sustituido por genes foráneos. Una de las aplicaciones más importantes de los *Baculovirus* derivados de cultivos de células de insectos es su uso como insecticidas biológicos selectivos y seguros, que se emplean principalmente en el manejo biológico contra plagas que afectan a algunos cultivos.

Sin duda, las técnicas de la Microbiología de Suelos señaladas, contribuyen significativamente a mantener la calidad de los recursos suelo y agua, y obviamente la sostenibilidad del sistema agrícola. Es importante tomar conciencia en que las BPA del suelo se sustenten en criterios técnicos y científicos, lo cual permita el manejo apropiado y el mantenimiento del recurso. Es muy importante recordar y recalcar que el recurso suelo es no renovable, y que de ninguna manera se le debe convertir en una fuente contaminada con riesgos físicos, químicos y biológicos (patógenos), que envenenen y contaminen toda la cadena trófica (química y biológica), afectando la producción, y la salud de la población.

BIBLIOGRAFIA

- Bernal, G. 2006. La Microbiología de Suelos en el Ecuador: Situación actual de la investigación. Edición: MassGráficos-Quito.
- Bernal, G. y Colaboradores. 2006. La Fijación Biológica de Nitrógeno: Componente clave de la fertilidad del suelo y del mejoramiento de los rendimientos de los cultivos en Ecuador. GAIA Editores/ Fundación GAIA/INIAP.
- Bernal, G. y R. Morales. 2006. Las Micorrizas: Importancia, producción e investigación en el Ecuador. Mass Gráficos-Quito.
- Comisión Nacional de Buenas Prácticas Agrícolas. 2010. Chile. Especificaciones técnicas de BPA. Varios rubros.
- Corporación de Promoción de Exportaciones e Inversiones (CORPEI). 2006. Estadísticas.
- Fundación Mango. 2007. Página web: info@mangoecuador.org
- Gallardo, J.F., M.I. González, y C. Pérez. 2002. La materia orgánica del suelo: Su importancia en suelos naturales y cultivados. Centro de Edafología y Biología Aplicada. Salamanca-España.
- Ibañez, J.J. 2010. Buenas prácticas para la aplicación de enmiendas orgánicas: degradación de los antibióticos y agroquímicos en el estiércol y los suelos. www.madrimasd.org
- Wagner, G.H., and D.C. Wolf. 1998. Carbon Transformations and Soil Organic Matter Formation. In: Principles and Applications of Soil Microbiology. Edited by: Sylvia D. *et al.* Prentice-Hall, Inc. New Jersey.
- Universidad Católica. 2004. Proyecto Polilla.
- SAG. Gobierno de Chile. 2010. Metales pesados en el suelo.
- Sistema Integrado de la Calidad, Sanidad Agropecuaria, e Inocuidad de Alimentos (SISCAL). Ministerio Coordinador de la Producción, Empleo y Competitividad (MCPEC-Ecuador). 2010. Implementación del programa de las BPA y BPP.