



Ministerio de Agricultura y
Desarrollo Rural



Manual Técnico de Capacitación

Para la preparación, uso, manejo y certificación de productos para una agricultura ecológica en Colombia

CORPOICA C.I. Nataima.

Esta publicación fue posible gracias a los recursos de cofinanciación del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y es un producto del proyecto “Estrategias de capacitación en preparación, uso y manejo de bioinsumos y en Procesos de Certificación e implementación de un Sistema Interno de Control de productos ecológicos, para la producción ecológica en el País”, ejecutado por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria “CORPOICA”, en el periodo 2006-2007. Convenio 014 de 2006.

ISBN:

Código Único Interno:

Primera Edición: Julio de 2007

Publicación CORPOICA C.I Nataima

Manual Técnico No.

Código:

Fotografías: María Denis Lozano

Tiraje: 390 ejemplares

Diseño e impresión: PRODUMEDIOS

PRESENTACION

Claudia Patricia Villota Caicedo¹

En la actualidad la preocupación por la producción de alimentos a partir de una estrategia de agricultura ecológica ha venido en aumento, entre otras, a raíz de las consecuencias de la llamada “revolución verde”, cuyo objetivo estaba enfocado hacia el incremento de la producción a partir del uso intensivo de insumos de síntesis química, como mecanismo para solventar la demanda de alimentos por una población en constante crecimiento.

Las consecuencias han sido de diferente índole, afectando principalmente componentes de tipo físico, productivo, económico, social y ambiental. Los efectos se traducen en pérdida en la calidad y niveles de producción de variedades de semillas importadas de común utilización en el sector agrícola nacional, las cuales exigían condiciones específicas de suelos para su utilización, forzando la aplicación de fertilizantes y pesticidas de origen químico para obtener máximos rendimientos.

La generalización en el uso indiscriminado de estos insumos ha conducido a un severo daño en el medio ambiente, lo cual, entre otros efectos a ocasionado una reducción en la biodiversidad, un incremento en la resistencia para el control de los agentes causales de plagas y enfermedades; contaminación y degradación de recursos naturales (suelos, aguas) y además, responsable de un notable incremento en los costos de producción, aumento en la pobreza rural, daños para la salud humana y animal y alteración o pérdida en los valores culturales de la población.

En consideración esta problemática el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural conjuntamente con CORPOICA, con la participación del Instituto Colombiano Agropecuario ICA, establecieron un acuerdo para que a través del proyecto “Estrategias de capacitación en preparación, uso y manejo de bioinsumos y en Procesos de Certificación e implementación de un Sistema Interno de Control de productos ecológicos, para la producción ecológica en el País”, se capaciten a instructores del Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, a investigadores de Centros de Investigación e Innovación, Centros Provinciales de Gestión Agroempresarial y a productores de los


¹ / Ing. Agroindustrial, Investigadora CORPOICA C.I. Tibaitatá. Email: cvillota@corpoica.org.co

Departamentos del Valle del Cauca, Tolima, Atlántico, Cundinamarca y Boyacá, en la producción, uso y manejo de insumos biológicos en cultivos, considerados de alta importancia en sus sistemas de producción, así como en aspectos relacionados con el proceso de certificación y manejo de un sistema interno de control para productos ecológicos.

Con el objeto de ampliar el escenario de conocimiento y utilización de estas temáticas por parte de diferentes actores vinculados con procesos de capacitación, gestión, investigación, producción y comercialización, se preparó este manual que contiene los cinco módulos de capacitación diseñados e implementados durante el desarrollo del proyecto.

Estas temáticas se prepararon en módulos específicos que tratan sobre la introducción a los conceptos de agricultura ecológica y biología de suelos; la importancia de la fertilización orgánica, preparación uso y manejo de inoculantes, compost y caldos microbianos; el manejo ecológico de la entomofauna asociada a los cultivos frutales y hortícolas; el manejo ecológico de fitopatógenos y finalmente, la certificación ecológica y normatividad, modulo que fue preparado y ofrecido por parte del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

De esta manera, la experiencia alcanzada, la tecnología y las normativas generadas hasta el momento, son presentadas en este manual. Además de las experiencias propias de los participantes del proceso, se recoge las de otros investigadores, lo cual permite que este documento pueda considerarse como una publicación actualizada en la temática de agricultura ecológica, de gran utilidad para la implementación de estas técnicas en procesos productivos amigables con el ambiente, reductores de costos de producción, útiles para la recuperación y conservación de suelos y para la Sostenibilidad de los principios culturales de la población.



**Introducción sobre los
conceptos de agricultura
ecológica y biología de suelos**

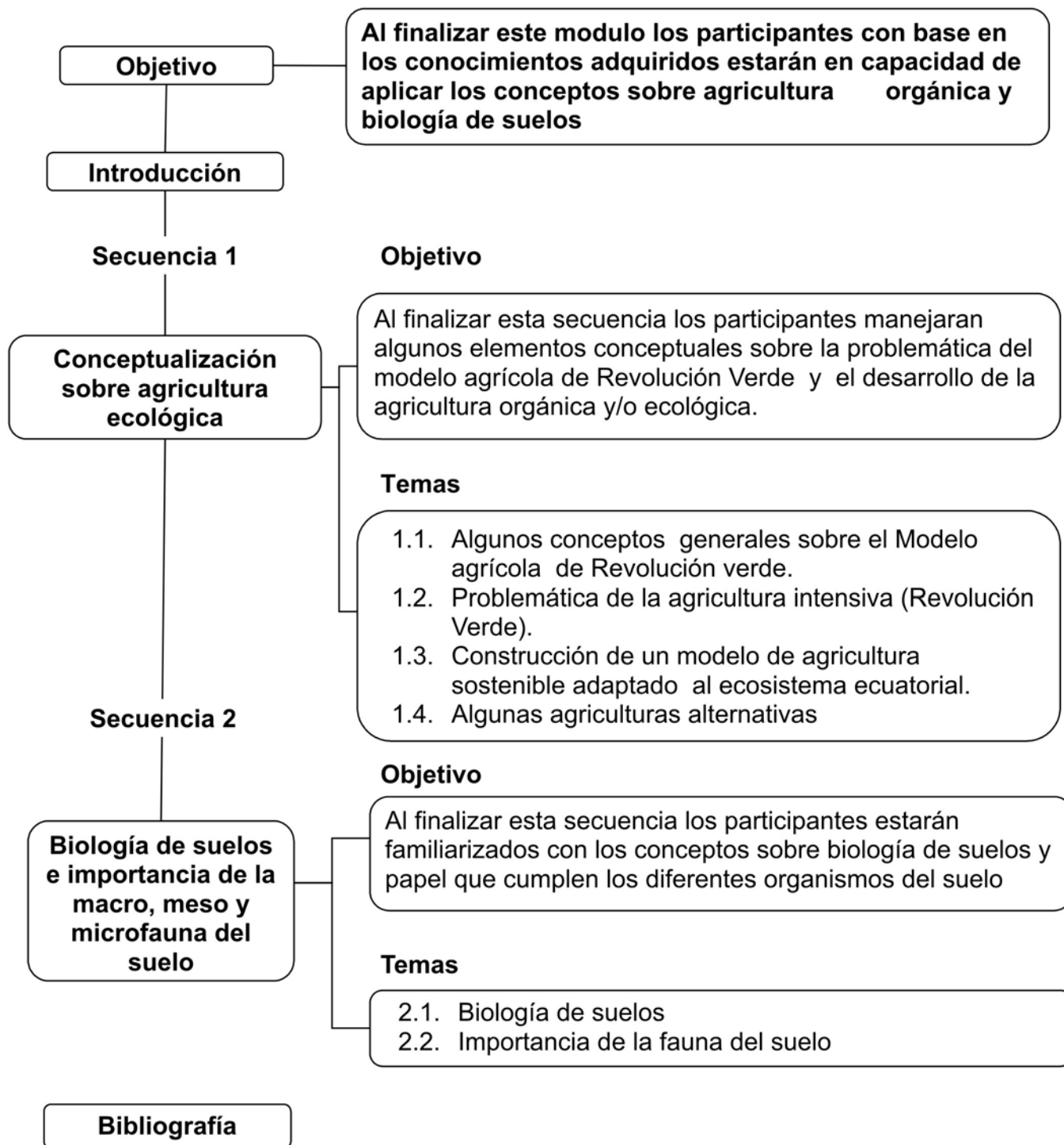
MÓDULO

1

María Denis Lozano
Ingeniera Agrónoma, Master en Microbiología Industrial
Investigadora C.I. Corpoica Nataima
Email: mlozano@corpoica.org.co

FLUJOGRAMA PARA EL ESTUDIO DEL MODULO I

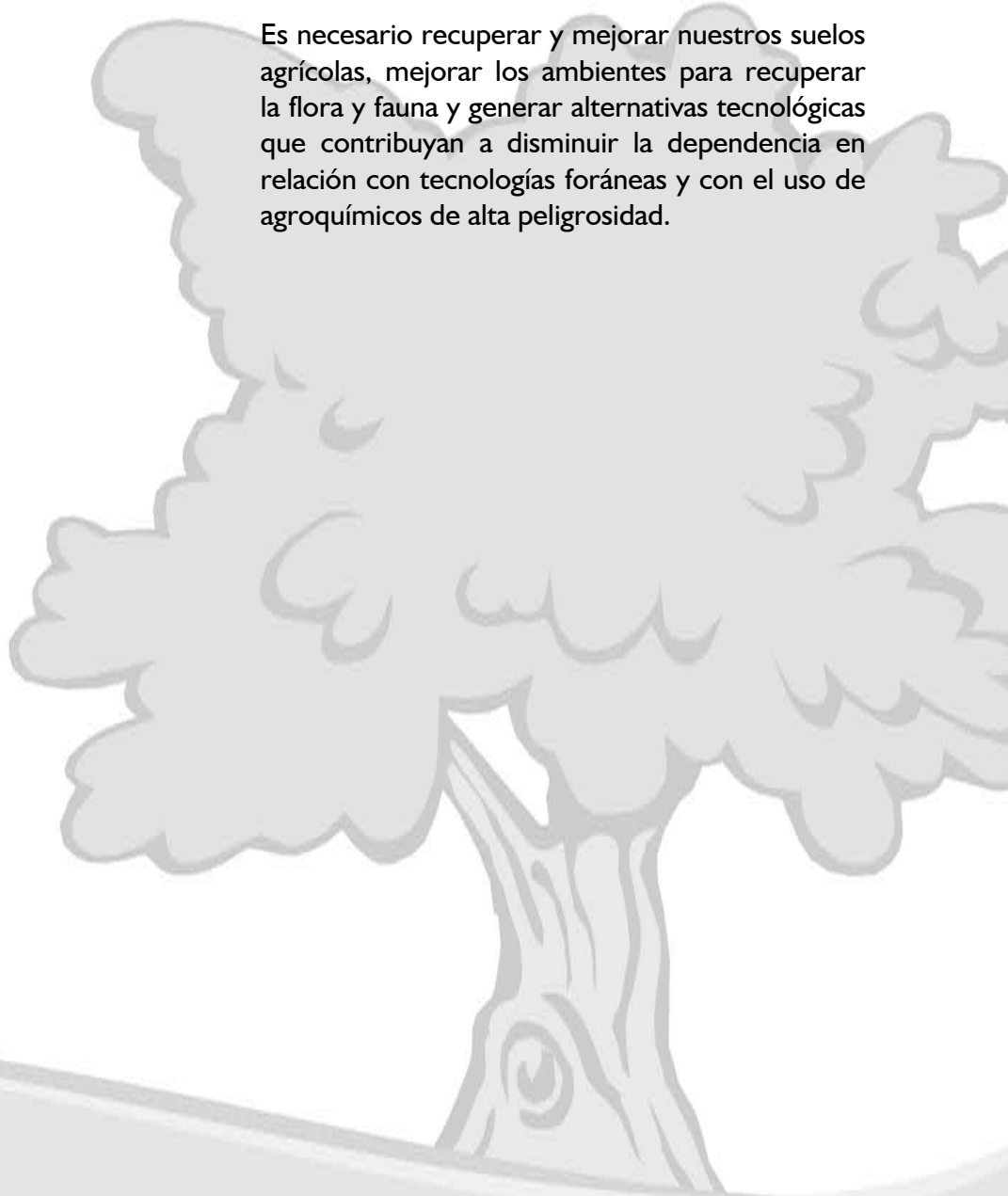
INTRODUCCIÓN SOBRE LOS CONCEPTOS DE AGRICULTURA ECOLÓGICA Y BIOLOGÍA DE SUELOS



INTRODUCCIÓN

La problemática ambiental actual exige que se inicie un proceso de reconversión de tecnologías por otras más acordes a las necesidades de nuestra sociedad y a las características del Trópico.

Es necesario recuperar y mejorar nuestros suelos agrícolas, mejorar los ambientes para recuperar la flora y fauna y generar alternativas tecnológicas que contribuyan a disminuir la dependencia en relación con tecnologías foráneas y con el uso de agroquímicos de alta peligrosidad.



SECUENCIA I

CONCEPTUALIZACIÓN SOBRE AGRICULTURA ECOLÓGICA

CONTENIDO

Objetivo

Información

- 1.1. Algunos conceptos generales sobre el Modelo agrícola de Revolución verde
- 1.2. Problemática de la agricultura intensiva (Revolución Verde).
 - 1.2.1. Degradación de suelos
 - 1.2.2. Contaminación ambiental
 - 1.2.3. Pérdida de la Biodiversidad
 - 1.2.4. Efectos negativos sobre la salud humana
- 1.3. Construcción de un modelo de agricultura sostenible adaptado al ecosistema ecuatorial
- 1.4. Algunas agriculturas alternativas
 - 1.4.1. Agricultura Orgánica: El método Howard.
 - 1.4.2. Agricultura Biodinámica. 1924
 - 1.4.3. Agricultura Ecológica. 1995.
 - 1.4.4. Agricultura Biológica
 - 1.4.5. Agricultura Natural de no Intervención
 - 1.4.6. Permacultura
 - 1.4.7. Agricultura Microbiológica
 - 1.4.8. Propuesta tridimensional

CONTENIDO

Al finalizar esta secuencia los participantes manejarán algunos elementos conceptuales sobre la problemática del modelo agrícola de Revolución Verde y el desarrollo de la agricultura orgánica y/o ecológica

INFORMACIÓN

1.1. Algunos conceptos generales sobre el Modelo agrícola de Revolución verde

La Revolución verde es un modo de uso de la tierra (Recursos naturales). Este modelo inició su

implementación en el País, en la segunda mitad del siglo XX, su objetivo principal fue incrementar la producción y la productividad agropecuaria, con el fin de suplir las demandas de alimentos de una creciente población mundial (Mejía, 2003)

Este modelo tiene una amplia dependencia de insumos agropecuarios; utiliza variedades vegetales con altos requerimientos de fertilizantes, plaguicidas, riego y mecanización, para la obtención de rendimientos satisfactorios.

Son pilares de la Revolución Verde los conceptos de rentabilidad, rendimiento, competitividad, máxima productividad y máxima uniformidad. El modelo exige altos consumos de energía fósil, alto número de agroquímicos, maquinaria pesada, monocultivos y riego suplementario (Mejía, 1995)

Con la implementación de la Revolución Verde entre 1950 y 1995 la producción de cereales aumento en el mundo en 78%, en 113% en pesca, 127% en carne, 331 en huevos, 280% en aves, se producción de leche se duplico (Mejia, 2003)

Sin embargo a pesar de los beneficios, las consecuencias negativas de la “REVOLUCIÓN VERDE” sobre las tierras, son grandes; se han presentado tanto en áreas productivas de alta vocación agrícola, como en los ecosistemas frágiles (zonas de páramo; bosques nativos; humedales; zonas de nacimientos, lechos y cauces de aguas; zonas de ladera en las cordilleras; etc.).

1.2. Problemática de la agricultura intensiva (Revolución Verde)

1.2.1. Degradación de suelos

La utilización exagerada de insumos agroquímicos y maquinaria, han acelerado los procesos de deterioro y agotamiento de los recursos naturales. Año tras año se incrementan la contaminación de suelos y de los cuerpos de agua.

1.2.2. Contaminación ambiental

Los plaguicidas son una herramienta para el manejo de los cultivos en todo el mundo, pero a la vez constituyen uno de los elementos de mayor potencialidad contaminante. La declaración de Ottawa el 5 de octubre de 1986 plantea: El uso de

plaguicidas químicos en ambientes rurales y urbanos ha contaminado lagos, ríos, acuarios, vida silvestre y alimentos en todo el mundo. Trabajadores del campo y sus familias así como habitantes de áreas donde se usa masivamente el control químico sufren enfermedades agudas y crónicas por la exposición a plaguicidas (Vergara, 1997)

Los plaguicidas presentan diferencias en cuanto a su tiempo de permanencia en el medio ambiente: algunos pueden persistir indefinidamente como el Aldrin, Clordano DDT, Diuron Endrin, Heptaclor, lindano, Paration toxafeno, los cuales muestran una pesistencia mayor a 15 años. Picloram, Propazina con persistencia mayor a 5 años. El Monuron, Propazina, Simazina persistencia mayores a 3 años. (Atlas, 1990).

Los plaguicidas también tienen efectos negativos sobre la fauna y flora del suelo, estudios han mostrado que los plaguicidas reducen la diversidad de las especies en el suelo. Burbano (1981), afirma que aldicarb y carbofuran inhiben la respiración del suelo. El endosulfan afecta la población de microorganismos del suelo, Nivia (1993), reporta alteraciones de la diversidad total y de grupos como acarina y Collembola. Igualmente Vergara (1986), en suelos dedicados a la producción de papa comprobó efectos detrimentales de aldicarb y carbofuran sobre poblaciones de microartropodos.

Igualmente han tenido efectos altamente negativos sobre la salud humana. En el Valle Cauca Gómez & Cardona (1978), encontraron en tomate, salsas y pastas residuos de plaguicidas: Maneb, Oxicloruro de cobre, Parathion, DDT y endrin en niveles superiores a los permitidos por la OMS. Los trabajos de Vallejo y Vargas citados por Vergara (1997), muestran que madres lactantes de Bogota presentan contaminación con insecticidas DDT, lindano y dieldrin por encima de los niveles permisibles. En la zona del Espinal, Guamo y Girardot los residuos de DDT, lindano y dieldrin en leche materna y vacuna están por encima de los niveles encontrados en la ciudad de Bogota. (Vergara, 1997).

1.2.3. *Perdida de la Biodiversidad*

Los plaguicidas tienen un amplio impacto sobre la vida silvestre, más de 30 plaguicidas han sido identificados como responsables de la muerte de aves y mamíferos, estudios realizados por Micolta y Gardezabal (1989), señalan que en la zona centro-sur del Tolima el empleo masivo de plaguicidas ha ocasionado la extinción de fauna acuática y terrestre como Gavilanes, guaraguas, patos silvestres (Vergara, 1997).

En Colombia el uso indiscriminado de plaguicidas también ha disminuido la fauna piscícola, según Nivia (1995), citada por Vergara (1997), los productos empleados en arroz de riego son transportados por escorrentía desde los lotes hasta los ríos, se han encontrado altos valores en sedimentos para clorados y fosforados en varios ríos del Tolima, Huila, Llanos orientales. En el río Cauca un estudio reportó que el Metil parathion fue el organofosforado con mayores concentraciones, los residuos se consideraron como valores altos y de serios riesgos para la vida en el río.

Igualmente la fauna benéfica (organismos biocontroladores de insectos dañinos) ha sido afectada por el uso de plaguicidas estudios realizados por el CIAT (1989), señalan que aplicaciones de fenvalerato, monocrotofos carbaryl y dimetoato reducen fuertemente las poblaciones de arañas predatoras, con mortalidades del 92, 40, 19, 15% respectivamente.

En el cultivo del algodón en Colombia el insecto *Trichoplusia ni*, se había considerado de menor importancia, con las altas aplicaciones para el control de *Heliothis virescens* se ha eliminado el controlador natural *Copidosoma truncatellum* convirtiendo a *Trichoplusia ni* en una plaga de importancia económica (Vergara, 1997).

1.2.4. *Efectos negativos sobre la salud humana*

Las exposiciones a plaguicidas pueden causar una variedad de problemas en la de salud humana (intoxicaciones, muerte, malformaciones partos y abortos prematuros, cánceres, esterilidad, enfer-

medades renales, hepáticas sordera, conjuntivitis etc. La falta de cuidado en el manejo de los plaguicidas, su uso indiscriminado, la desprotección de los operarios en el momento de la aplicación, deficiencias en cuanto a equipos, maquinaria y vehículos para la aplicación de agro tóxicos y falta de instrucción y criterios técnicos para su empleo aumentan esta problemática.

El contacto crónico con los piretroides puede resultar en trastornos de los efectos hormonales relacionados con la acción del andrógeno. En Haití se reportó una epidemia de ginecomastia (hinchazón del pecho en el sexo masculino), asociada a un piretroide sintético (Eil and Nisula 1990).

En Colombia se han registrado niveles de organoclorados en sangre investigaciones realizadas por Guerra y Hernández 1973 demostraron que niños entre 8 y 14 años de la zona urbana de Cali presentaban contaminación con Lindano Dieldrin, DDT, en Roldanillo y Zarzal en un 100% contenía en su sangre niveles de DDT, Aldrin y un 60% de heptacloro. En los hospitales de Espinal, Guamo, San Luís y Saldaña Micolta y Gardezabal 1989, reportaron el aumento de abortos prematuros y malformaciones como labio leporino, paladar hendido. (Vergara 1997).

1.3. **Construcción de un modelo de agricultura sostenible adaptado al ecosistema ecuatorial**

El sistema agrícola requiere de un modelo de producción distinto al importado de la zona templada. En el planeta, la posición ecuatorial tiene la mayor fotosíntesis y radiación de sol, Ello explica la tendencia ecuatorial a cubrirse con selvas y bosques para proteger al suelo del sol, de la lluvia y del viento (Forero,

La oferta ambiental de la zona ecuatorial está dada por la fotosíntesis, la cual es la máxima que se produce en el planeta. Son también muy intensos los vientos y las lluvias Las selvas y la alta biodiversidad es resultado de la fotosíntesis, el árbol ecuatorial crece siete veces más rápido que uno de latitud

templada, señalando de este modo la vocación ideal del ecosistema. La clave del ecosistema ecuatorial es la abundancia de fotosíntesis, o sea la capacidad, con atmósfera y sol, de crear rápida y eficazmente exuberante vegetación.

El desarrollo sostenible se define como el uso de tecnología para satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades. Esta definición fue empleada por primera vez en 1987 en la Comisión Mundial del Medio Ambiente de la ONU, creada en 1983.

http://www.cinu.org.mx/temas/des_sost.htm

Son varios los pilares del desarrollo sostenible como:

Rentabilidad razonable y estable a través del tiempo, haciendo que la producción agropecuaria sea atractiva como actividad económica. Se trata de lograr una alta productividad y eficiencia en el uso y aprovechamiento de los recursos disponibles, pero conservando y mejorando los recursos naturales, al tiempo que se alcanza una producción sostenida.

La sostenibilidad ecológica se alcanza cuando el ecosistema bajo uso mantiene sus características principales de biodiversidad y fertilidad en forma indefinida a través del tiempo. De esta forma se garantiza una coexistencia armónica entre los seres humanos y la naturaleza y se evitan procesos productivos no sostenibles.

La sostenibilidad social es posible cuando las comunidades rurales al desarrollar actividades productivas alcanzan ingresos justos y bienestar social, y logran que la sociedad respete sus valores culturales, éticos y religiosos.

1.4. Algunas agriculturas alternativas

En general las agriculturas alternativas plantean la producción de alimentos naturales, libres de

agroquímicos, orientados a mantener la salud de la humanidad, igualmente respetar el entorno (animales, plantas). En general las agriculturas alternativas son una forma de vida, que enseñan a producir respetando la naturaleza. Es fundamental la autonomía del agricultor respecto a los insumos agrícola fabricados en su finca, la autonomía alimentaría. La producción de semillas propias

Las corrientes de agricultura ecológica o biológica son muchas y cada una presenta variantes, algunas de esas corrientes son:

AGRICULTURA ORGANICA DE ALBERT HOWARD. 1919

BIODINAMICA. 1924

AGROECOLOGIA. 1995

AGRICULTURA BIOLOGICA. 1970

AGRICULTURA DE LA NO INTERVENSION. 1975

PERMACULTURA. 1978

AGRICULTURA MICROBIOLOGICA. 1970

Son consideradas científicas las propuestas ecológicas, mesiánica microbiológica, trofobiosis, biológica, tridimensional y como Anticientíficas la Natural, No intervención y mentalista (Mejía, 1995, Mejía, 2003).

1.4.1. Agricultura orgánica: El método Howard

Albert Howard agrónomo inglés, micólogo, estudio las técnicas campesinas hindúes, y logro 1919 cosechas sanas sin uso agroquímicos. Trabajo el método indore de compostaje (2/3 estiércol y 1/3 residuos vegetales), la sanidad vegetal dependía de la fertilidad del suelo y la sanidad de este del contenido de humus. Algunos de sus principios son: Asociación de cultivos. Leguminosas para rotación de cultivos y relación positiva entre el humus y el desarrollo de las micorrizas. Demostró incrementos en la producción con al aplicación de compost en café, caña de azúcar, maíz, Algodón (Mejía, 1995)

Su postulado fue: De la fertilidad del suelo depende el futuro de la civilización.

El método de Fried Sykes se base en tres prácticas: compost, subsolado del suelo cada cuatro años, rotación a pradera de los campos agrícolas cada cuatro años con variedad de forraje (Mejía, 1995)

1.4.2. Agricultura Biodinámica. 1924.

Formulada por Rudolf Steiner, planteo tomar fuerzas del espíritu para mejorar la agricultura y permitir la vida del hombre. Aplicación de principios extracientíficos como la homeopatía, la astrología, vedismo la radionica mental, energías del cosmos y las terrestres. Sus elementos principales son el Sílice y el estiércol, acompañados con plantas como la Cola de caballo, Manzanilla, valeriana y hace énfasis en uso del cobre expuesto en varillas con cuarzo en cada extremo. Su planteamiento era que el crecimiento vegetal participa todo el cielo con sus estrellas, el todo es superior y diferente a la suma de las partes (Mejía, 1995).

Dentro de las concepciones de los biodinámicos, la técnica de arar el suelo tiene como objetivo recibir las energías del cosmos, una forma de vivificar el suelo es mediante la aplicación de preparados de estiércol y sustancias homeopáticas. Se plantea que una granja debe tener pradera, campos de cultivos, hortalizas, frutales y bosque (Waldorf, 2005)

1.4.3. Agricultura ecológica. 1995.

Es un movimiento que se gesto a partir de los años 60 como alternativa a la agricultura química. Los planteamientos de la agroecología se fundamentan principalmente en justicia social, equidad, impacto cultural. Búsqueda de formas de vida en armonía con la naturaleza y de sistemas agrícolas para la alimentación natural. Integrar subsistemas cerrados: agrícola-pecuario-acuícola. Se fomentaron los cultivos asociados; entre 1960 y 1970 se generaron en Colombia los modelos de las granjas integrales.

1.4.4. Agricultura Biológica

Claude Aubert en 1970 fu unos de sus exponentes. La agricultura biológica comienza con el

reconocimiento de que las plantas y los animales son seres vivos por lo tanto es preciso respetar las leyes de la vida, concepto básico de la agricultura biológica, reducir el consumismo y el desperdicio, regresar de la ciudad al campo y cambiar hábitos de vida. Desperdicio energético de la agricultura química. Se utilizan 8.1 calorías fósiles para 1 caloría de carne, frente a 0.28 calorías para una en una mezcla de trigo y soya. Implica un proyecto de vida personal y construcción social (Mejía, 1995).

El planteamiento de Liebig que la nutrición vegetal es por solubilidad de nutrientes, absorción radicular de minerales en forma de iones fue rebatido por las investigaciones de H.P. Rush, quien demostró que las macromoléculas orgánicas también pueden ser absorbidas especialmente en presencia de micorrizas, otro planteamiento que se maneja en la agricultura biológica es el de los ciclos de sustancias vivas.

Los puntos principales sobre abonamiento son: compost, abonos verdes, cenizas y minerales naturales. En el laboreo del suelo no voltear el suelo, sino mullirlo para permitir la aireación y precolación del agua (arado de cincel, arado de chuzo, subsoladores. Sistemas de producción rotación asociaciones y rotaciones. En el manejo sanitario se aceptan insecticidas vegetales, preparados de plantas, controles biológicos y polvos silicosis y caldos de cal, cobre y azufre.

1.4.5. Agricultura natural de no intervención

Masanobu Fukuoka, fue su exponte escribió “Revolución de un rastrojo, planteaba que entre menor intervención humana haya en la agricultura, mayor posibilidad de éxito cabe esperarse. El campo de cultivo debe estar balanceado con el bosque, lo ideal es sembrar y cosechar. Lo natural, lo instintivo es lo mas elevado. Es la cultura de no hacer, todo se hace por si mismo (Mejía, 1995).

1.4.6. Permacultura

Este término fue animado, en la década de los '70 por Bill Mollison y David Holmgren, como fruto de

la recopilación de enseñanzas de culturas antiguas y de sus propias experiencias de forma sistemática y práctica.

Permacultura es un sistema de diseño orientado a la creación de entornos humanos ecológicamente sostenibles y económicamente viables, que proveen las necesidades de sus ocupantes, que no sobre-exploten o contaminen y que sean sostenibles a largo plazo. Se fundamenta en el funcionamiento de los sistemas naturales, valora la sabiduría de las culturas tradicionales así como el conocimiento científico y la tecnología actuales. <http://www.tier-ramor.org/index.htm>

Es aplicable en los sistemas agro-pecuarios, en la arquitectura, en el urbanismo, en las estructuras económicas y organizativas, en la educación, así como para restaurar nuestras comunidades. Es una forma de vida que invita actuar desde el quehacer individual, influyendo en el entorno y en la comunidad cercana con criterios y ética para la sostenibilidad, <http://www.permacultura-mont-sant.org/quees.htm>

1.4.7. Agricultura Microbiológica

La agricultura microbiológica se plantea como alternativa competitiva desde todo punto de vista frente a la agricultura química. Aumento de la productividad, bajos costos de producción impactos mínimos sobre el ambiente, recuperación de la fertilidad de los suelos, manejo de la biodiversidad. Se maneja el concepto de suelo vivo resaltando el papel de los microorganismos en la fertilidad y sanidad del suelo (Mejía, 1995)

La fermentación y síntesis son los postulados de esta agricultura. Las experiencias demuestran la recuperación de campos agotados con la inoculación de mantillo de bosque rico en microorganismos.

Patógenos del suelo desplazados por microorganismos benéficos presentes en compost y lombricompost. Enriquecimiento de la rizosfera con microorganismos nitrificantes. Fermentados

utilizados como abonos, Baiyodo (tierra fermentada), bokashi (harinas fermentadas por la adición de hongos y bacterias). Abonos líquidos concentrados (materiales orgánicos fermentados en agua con adición de inoculantes).

A partir de 1970 algunas multinacionales se especializan en producir caldos microbiológicos como insumo agrícola de consumo masivo con aumentos de productividad y disminución de costos. A partir de 1983 aparecen los caldos microbianos EM que contienen mas de 80 especies microbiales entre las cuales están bacterias fotosintetizadas, actinomicetos, levaduras, hongos, bacterias promotoras del ácido láctico (Correa, 2005). Desarrollo moderno de hidrolatos, biofertilizantes (micorrizas, bacterias fijadoras de nitrógeno, solubilizadores de minerales, microorganismos entomopatógenos, y antagonistas.

1.4.8. Propuesta tridimensional

Consiste en una maximización del uso de la tierra en el tiempo y en el espacio (en las dos dimensiones: horizontal y vertical), plantea crear estructuras arbóreas estables, modelos multiestratos, el uso sustentable de la tierra incluye sistemas agrícolas y pecuarios, con alta eficiencia (Mejía, 1995)

Cuando los campesinos diversifican, minimizan riesgos, ya que la uniformidad o monocultivo puede en condiciones adversas llevar al fracaso, mientras que cultivar mezclas de diferentes especies son menos susceptibles a insectos y enfermedades, (Cooper, 1992 citado por Rosales 2003).

La zona tropical contiene la mayor diversidad genética en el mundo, diversidad que se expresa en el gran número de plantas vasculares por unidad de área. Las mezclas de especies brindan beneficios importantes al sistema productivo en general, ya que ofrecen ventajas sobre el monocultivo principalmente en términos de una mayor producción de biomasa por unidad de superficie. (Cooper, 1992 citado por Rosales, 2003).

Los sistemas silvopastoriles multiestrata son una técnica de producción pecuaria que se adapta a las condiciones del trópico. En la agroforestería desarrollada con árboles fijadores de nitrógeno (AFN) se crean interacciones biológicas, ecológicas y económicas, las cuales pueden contribuir a lograr una producción sostenible, estos árboles pueden asociarse con cultivos agrícolas (Sistema Agroforestal), con pasturas para pastoreo (Sistema Silvopastoril), ser mantenidos alternando entre cultivos agrícolas y pasturas (Sistema Agrosilvopastoril) (Botero & Russo 2000; Hernández, 1998).



SECUENCIA 2

BIOLOGIA DE SUELOS E IMPORTANCIA DE LA MACRO, MESO Y MICROFAUNA DEL SUELO

CONTENIDO

Objetivo
Información

- 2.1. Biología de suelos
- 2.2. Importancia de la fauna del suelo

CONTENIDO

Al finalizar esta secuencia los participantes estarán familiarizados con los conceptos sobre biología de suelos y papel que cumplen los diferentes organismos del suelo

INFORMACIÓN

2.1. Biología de suelos

El suelo es el componente básico de los ecosistemas suministra los recursos necesarios para la vida en el planeta, está ligado a casi todas las actividades humanas, la agricultura, la construcción, el transporte, la industria. Su degradación amenaza seriamente el futuro de la humanidad (Bautista *et al*, 2004)

El suelo no es un sistema estático, es una estructura viva, en él existen millones de distintos seres vivos, los cuales presentan diferentes tamaños, desde los que se pueden observar a simple vista hasta aquellos que son infinitamente pequeños como las bacterias, los actinomicetos, los hongos, los nemátodos, las algas, los protozoarios y otros (Mayea *et al*, 1992; Buges, 1971; Burbano, 1989).

En una partícula de un suelo con estructura sana hay materia sólida y en su interior una fracción

compuesta por aire donde se encuentra el oxígeno, necesario para el desarrollo de la vida y otra líquida (agua). En la latitud templada (Europa y Norteamérica), la fracción líquida tiene la concentración de nutrientes disponible para las raíces. Al contrario, en el suelo ecuatorial los nutrientes están en la fracción sólida y en la micro vida del suelo. En la latitud templada hay poca micro vida, mientras que el suelo ecuatorial es rico en micro vida. Por lo tanto los sistemas de producción ecuatorial deben ser radicalmente distintos al de la zona templada de Europa y Norteamérica (Forero, 2003).

Tradicionalmente y convencionalmente, el concepto de suelo fértil ha sido el indicador más usado para medir el estado y la manera como se comportan los suelos en los contextos agropecuario y forestal, es común definir como suelo fértil aquel que tiene la capacidad de abastecer de nutrientes suficientes al cultivo sin embargo la fertilidad de

los suelos es un concepto mas amplio que integra los atributos tanto físicos químicos y biológicos (Doran & Parkin, 1994; Karlen et al, 1997, Singer & Swing, 2000, citados por Bautista et al, 2004)

Un suelo sano es aquel que puede producir cultivos sanos y nutritivos sin perder sus propiedades físicas, químicas y biológicas, distribuir el flujo de agua en el ambiente y servir como amortiguador de los cambios; es decir la capacidad que tiene los suelos para atenuar los contaminantes ambientales, los patógenos pero además los servicios como ser reservorio de carbono, mantener la biodiversidad. (Doran & Parkin, 1994; Karlen et al, 1997, Singer & Swing, 2000, citados por Bautista et al, 2004).

Uno de los criterios que debe regir el manejo del suelo ecuatorial es cubrir siempre el suelo.

Al cubrir el suelo se evita que el sol lo seque y lo caliente. La hojarasca proporciona frescura y humedad. Humedad en el suelo se traduce en altos rendimientos.

El suelo cubierto proporciona aire y humedad ideal a los microorganismos que descomponen la hojarasca en humus o materia orgánica. Ello permite la fertilidad básica del suelo. La materia orgánica mejora la bioestructura y el suelo puede retener y entregar agua, oxígeno y nutrientes a las raíces, facilita la exploración de las raíces en busca de nutrientes en la capas mas profundas.

En un suelo limpio hay 700 veces más erosión que en un suelo cubierto con hojarasca. El 98% de la erosión se debe al golpe de la lluvia y el 2% al escurrimiento. En un suelo limpio, los nutrientes minerales se pierden 100 veces más por erosión que por el consumo de las plantas (Mejia, 2003).

2.2. Importancia de la fauna del suelo

La fauna del suelo (fauna edáfica, endofauna o pedofauna) esta considerada como un indicador de su fertilidad y estabilidad. Factores como la calidad de materia orgánica, pH, temperatura, humedad,

procedimientos agrícolas, el uso de fertilizantes y plaguicidas, pueden dar como resultado la desestabilización ecológica del suelo que comienza con a alteración de abundancia y biomasa de la pedofauna, así como la pérdida de diversas especies, lo cual elimina características del suelo (Socarras 1998).

La mayoría de los componentes de la mesofauna y muchos de la macrofauna mejoran el suelo, en especial en lo que respecta a la movilización de nutrientes, a través de enzimas, y el mejoramiento de la estructura, a través de la activación de la microvida. En parte, mejoran la física del suelo, revolviéndolo y cavándolo. Las galerías construidas por los animales del suelo, como larvas, insectos, lombrices abejorros y otros sirven a la penetración de las raíces, a la infiltración del agua y a la circulación del aire (Primavesi, 1982).

Igualmente Brussaard (1997), plantea que los organismos del suelo, influyen fuertemente las propiedades del mismo como la hidrología, aireación y composición gaseosa, la cuales son importantes para la producción primaria y la descomposición de residuos orgánicos y materiales de desecho. Traen además nutrientes de las capas profunda y los depositan en las capas menos profundas de donde es más fácil ser tomados por las plantas (hortalizas y pastos). Otros se encargan de pegar las partículas de suelo y la materia orgánica, formando agregados (estructura), lo cual da estabilidad al suelo y le ayuda a su conservación

Según Farb (1964), la hojarasca que cubre la superficie del suelo crea un hábitat especial, rico en alimento orgánico y húmedo bajo la cubierta de hojas secas. Allí vive una multitud de insectos y formas próximas representadas por colembolos, ácaros y miriápodos. Los ácaros y colembolos son mucho más abundantes de lo que se perciben a simple vista. Los colembolos son insectos antiquísimos, carecen de alas y no experimentan metamorfosis.

Tanto los grandes como pequeños animales del suelo son vectores de hongos tales como esporas de micorrizas arbusculares. Las lombrices, las arañas

y mil pies pueden ser diseminadores de hongos y bacterias, trabajos de Stephans et al 1993 citado por Bowen & Rovira 1999, demuestran que la lombriz de tierra incrementa la distribución de *Rhizobium* y cepas biocontroladoras de *Pseudomonas*.

Humus excretado por lombrices no es un fertilizante más. Es un activador de primer orden del suelo. Tiene gran número de microorganismos y sustancias como vitaminas, enzimas y ácidos (<http://www.lombricesrojas.com.ar/libro/humus.htm>)

La mesofauna es importante por su papel en la descomposición de la materia orgánica y el reciclaje de nutrientes. Entre los organismos de la mesofauna se destacan los ácaros del suelo los cuales están representados por cinco grupos: Oribatidos, Astigmatos, gamasinos, Uropodinos y Prostigmatos. Los oribatidos son el grupo más abundante dentro de la pedofauna, son esencialmente descomponedores de la materia orgánica. Son sensibles al contenido de la materia orgánica, porcentaje de humedad, temperatura, pH, manejo realizados por el hombre y el uso de insecticidas (Socarras, 1998).

Los uropodinos son descomponedores pero poco abundante en el suelo, poseen características morfológicas y bioecológicas que los hacen exigentes en cuanto a las cualidades del hábitat. Los uropodinos junto con los oibatidos son indicadores de condiciones ecológicas de los suelos con productividad alta. Los prostigmata abundan en suelo con bajo contenido de materia orgánica y carbonato de calcio, generalmente son mas abundantes en suelos labrados, sin embargo son sensibles a los fertilizantes. Los astigmatos son micofagos por excelencia son un buen indicador de suelos perturbados porque sobreviven en condiciones desfavorables y responden positivamente a fertilizantes, en condiciones de sequía están presentes en la hojarasca y los primeros 5 cm de suelo (Socarras, 1998).

En los primeros centímetros del suelo ecuatorial hay gran concentración de micro organismos y de materia orgánica. La materia orgánica es el alimento de los micro organismos. Diariamente el

suelo sufre procesos de cambio por efecto de las reacciones químicas y biológicas que se suceden debido fundamentalmente a la actividad de los millones de microorganismos presentes en él.

Los microorganismos tienen un papel fundamental y decisivo en la fertilidad de los suelos; la biomasa microbiana está íntimamente correlacionada con la fertilidad de los suelos. Los microorganismos en los suelos están constantemente construyendo materia orgánica a partir de material inorgánico y al mismo tiempo descomponiendo materiales orgánicos para construir a partir de ellos nueva materia orgánica, de la eficiencia de este proceso depende la fertilidad de los suelos, es decir los microorganismos constantemente intervienen en el ciclaje de nutrientes, la producción de hormonas de crecimiento vegetal como auxinas, giberelinas, citoquitinas que estimulan el crecimiento y producción de las plantas. Esto permite comprender su importancia en la nutrición de las plantas. La humificación de la materia orgánica es un proceso fundamentalmente microbiológico (Garret, 1980, Burges, 1971, Mayea et, al, Olalde, 1998, Hernández, et., al., 1994)

La versatilidad bioquímica de los microorganismos es muy amplia, ellos obtiene su energía de diversos sustratos tales como hexosas (azúcares), disacáridos (sucrosa) y polisacáridos (almidón o celulosa). La distribución de los hongos en el suelo está determinada por la distribución de los sustratos, generalmente no es uniforme, sin embargo puede aparecer uniforme si el modelo de distribución del sustrato es uniforme (Garret, 1980).

La utilización de los microorganismos benéficos en la agricultura permite obtener mayores rendimientos agrícolas (Hegde et al., 1999; Hernández et al., 1994; Quintero et al., 1991; Pereira, 1993). Diversos microorganismos rizosféricos contribuyen a mejorar la calidad y productividad de los cultivos mediante la sustitución total o parcial de fertilizantes químicos, poseen la capacidad de proteger a las plantas del ataque de patógenos e inciden igualmente en el crecimiento y desarrollo de plantas.

BIBLIOGRAFÍA

Atlas R. 1990. Microbiología Agrícola En: Microbiología Fundamentos y aplicaciones. Atlas R. (Ed.) Compañía Editorial Continental S.A. México. pp. 756-788.

Bautista, C. A., J. Etchevers B., R.F. del Castillo y C. Gutiérrez. 2004. La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas 2004* (URL: <http://www.aeet.org/ecosistemas/042/revision2.htm>).

Botero, R. & Russo, R. 2000. Utilización de árboles y arbustos fijadores de nitrógeno en sistemas sostenibles de producción animal en suelos ácidos tropicales. <http://www.fao.org/WAICENT/FAOINFO/AGRICULT/AGA/AGAP/FRG/AGROFORI/Agrofor1.htm>

Mollison B. 1996. Permacultura. Conferencia en la Universidad de las Naciones Unidas, Tokio.

Bowen, G.; and Rovira, A. 1999. The Rhizosphere and its management to improve plant growth. *Advances in Agronomy Vol 66: 1-77.*

Brussaards, L. 1997. Biodiversity and Ecosystem functioning in soil. *Ambio Vol. 26 No. 8: 563-569.*

Burbano, O. 1981. Efecto de los pesticidas en el suelo. Facultad de Ciencias Agrícolas Universidad de Nariño. Pasto. 27 p.

Burbano H. 1989. El Suelo: Una visión sobre sus componentes biorgánicos, universidad de Nariño, Pasto, Colombia. p. 86.

Burges, A. y Fraw F. 1971. La vida en el suelo. En *Biología del Suelo*. Ediciones Omega. S.A. Barcelona España. 596 pp.

Centro Internacional de Agricultura Tropical. 1989. Desarrollo del manejo integrado de plagas en el cultivo de arroz. Guía de estudio serie Ousrou Ou. Cali. 69 p.

Correa, M. 2005. Microorganismos eficientes. <http://www.autosuficiencia.com.ar/shop/index.asp>.

Eil, C. And Nisula, B. 1990. The Binding Properties of Pyrethroids to Human skin fibroblast Androgen Receptors and to sex hormone binding globulin. *J. Biochem, 35:3-4 pp. 409-14.*

Farb, P. 1964. La colmera del Bosque. En: *La vida del suelo*. Editorial Hobbs. Buenos Aires Argentina. 49-71.

Forero, R. Curso. Agricultura y Ganadería Tropical. Curso IICA. Bogotá.

Garrett, S. 1980. Microbial inhabitants of the soil. In: *Soil Fungi and Soil Fertility*. Chapter Two. College. Cambridge and University Reader in Mycology. 5-27 pp.

Gómez, A. y Cardona C. 1978. El uso de insecticidas en el tomate y su influencia en los niveles de residuos tóxicos. Conferencias en: Seminario sobre Manejo de plaguicidas y protección del ambiente. Bogotá, Colombia. 13-17 de febrero. pg 119-203.

Hernández, M. 1998. El uso de los árboles como mejoradores de los suelos y de la productividad de las gramíneas forrajeras. *Pastos y Forrajes, 1998, 1:283-292.*

Hernández, M.; Pereira, M. & Tang, M. 1994. Utilización de los microorganismos bio-

fertilizantes en los cultivos tropicales En: Pastos y Forrajes 17:183-191

Hegde, D.; Dwivedi, B. & Sudhakara, S. 1999. Biofertilizers for cereal production in India. A Review. Indian Journal of Agricultural Sciences 69 (2):73-83.

Pereira, M. 1993. Empleo de *Azospirillum* como biofertilizante. Pastos y Forrajes 16: 1-12.

Quintero, R.; Ferrera, R.; Etchevers, J. & Sotres D. 1991. La simbiosis *Azolla sp-Anabaena azollae* como Biofertilizante en arroz. Terra. Vol. 9 No. 1: 87-96.

Mayea, S.; Novo, R. y Valiño, A. 1982. Microorganismos del suelo. Introducción a la microbiología del suelo. Editorial Pueblo y Educación. La Habana Cuba. 12-28 pp.

Medio ambiente y desarrollo sostenible. 2003. http://www.cinu.org.mx/temas/des_sost.htm

Mejia, 2003. Ética de las agriculturas alternativas, papel de la investigación. Memorias Seminario Técnico Universidad del Tolima. Ibagué

Mejia, M. 1995. Agriculturas para la vida. Movimientos alternativos frente a la agricultura química. ed (Carvajal, L.) LED, CEPROID. Talleres Gráficos de impresora Feriva. Cali. 252 pp.

Micolta, M. y Gardeazabal, A. 1989. Toxicopatología y contaminación por uso de agroquímicos, centro y sur del Tolima. Facultad de Medicina Veterinaria. Universidad de Caldas. Manizales. 6p.

Nivia, E. 1993. Endosulfan (Thiodan). Boletín Enlace. Rapalmira. RAP. Colombia No.26 pg. 5-26

Nivia, E. 1995. Los plaguicidas en Colombia. Palmira: Pan Rapalmira, red de acción en plaguicidas y alternativas-América Latina, Pesticidas action Network. 68 p.

Olalde, V. & Aguilera L.L. 1998. Microorganismos y biodiversidad. En: Terra Vol. 16 No. 3: 289-292.

Primavesi, A. 1982. Biología del suelo. En: Manejo Ecológico del suelo, la agricultura en regiones tropicales. Librería "El Ateneo". Buenos Aires Argentina. 123-145.

Rosales, M. 2003. Mezclas de forrajes: uso de la diversidad forrajera tropical en sistemas agroforestales. <http://www.fao.org/ag/AGA/AGAP/frg/AGROFOR1/Rosales9.PDF>

Socorras, A. 1998. La vida del suelo: Un indicador de su fertilidad. En: Agricultura Orgánica Año 4 No. 1 La Habana Cuba. Pp12-13.

Vergara, R. 1986. Los plaguicidas en el suelo: Problemas derivados del uso indiscriminado. En: Revista Coagro No. 24: 14-17.

Vergara, R. 1997. Los plaguicidas en Colombia problemática ambiental y alternativas a su empleo. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 104 p.

Waldorf, 2005. Agricultura Biodinámica. <http://www.waldorfcolombia.org/seccns/agricultura.html>

Importancia de la fertilización orgánica, preparación uso y manejo de inoculantes, compost y caldos microbianos

MÓDULO 2

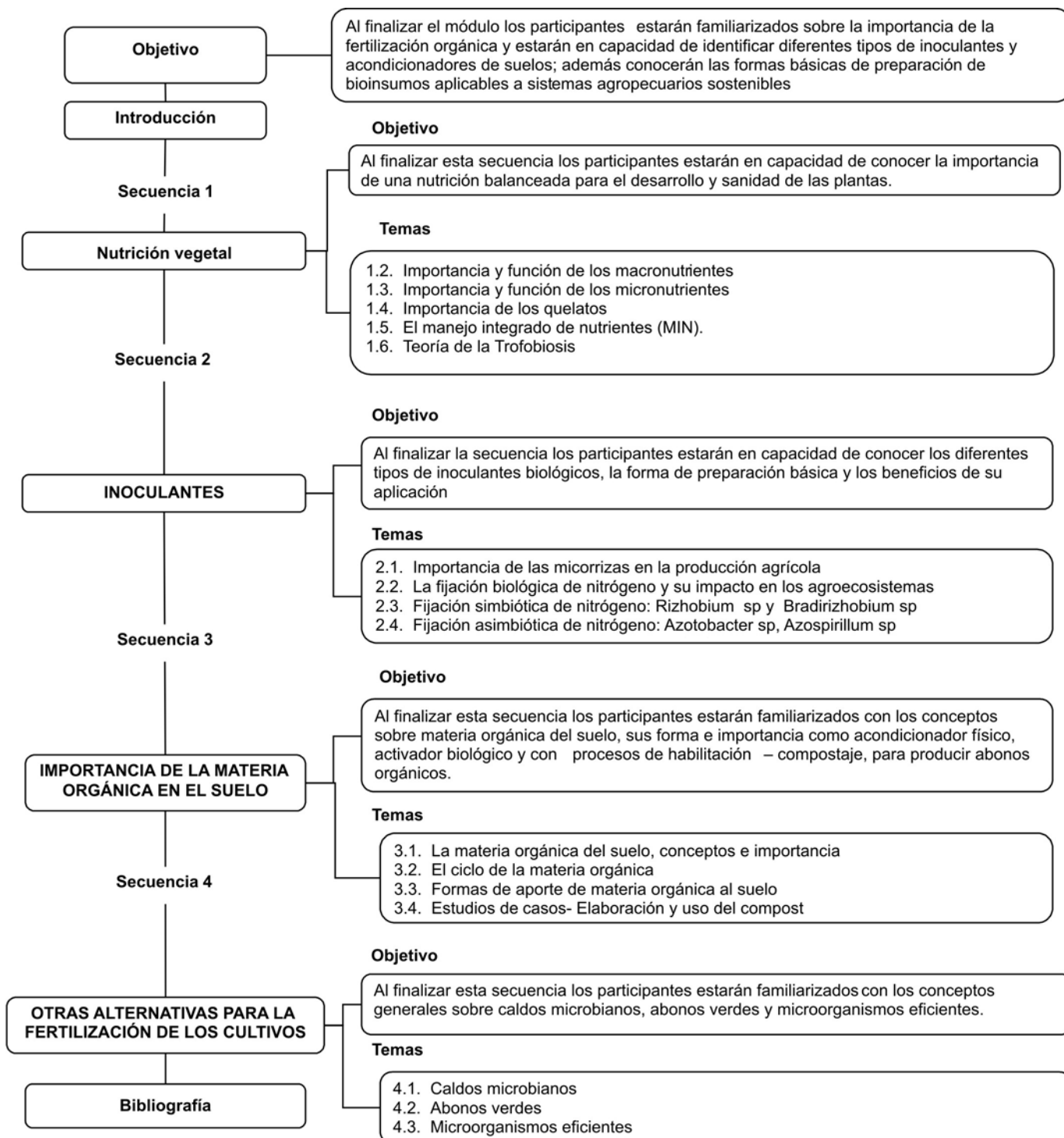
María Denis Lozano Tovar
Ingeniera Agrónoma, Master en
Microbiología Industrial
Investigadora C.I. Corpoica Nataima
email: mlozano@corpoica.org.co

Martha Marina Bolaños
Bióloga, Master en Ciencias Agrarias, PhD.
Ciencias Agropecuarias
Investigadora C.I. Corpoica Palmira
email: mmbolanos@corpoica.org.co

Gloria Amparo Corredor Huertas
Microbióloga, Candidata Master
en Microbiología
Investigadora C.I. Corpoica Tibaitatá
email: gcorredor@corpoica.org.co

FLUJOGRAMA PARA EL ESTUDIO DEL MODULO 2

IMPORTANCIA DE LA FERTILIZACIÓN ORGÁNICA, PREPARACIÓN USO Y MANEJO DE INOCULANTES, COMPOST Y CALDOS MICROBIANOS



INTRODUCCIÓN

Las plantas necesitan alimentarse. El proceso por el cual las plantas toman alimento se denomina nutrición; los elementos utilizados se conocen como nutrientes. Las plantas toman alrededor de 17 elementos; entre los cuales están el carbono, hidrogeno y el oxígeno. Se llaman elementos mayores aquellos que las plantas requieren y utilizan en cantidades grandes como nitrógeno, fósforo, azufre, calcio y magnesio. El nitrógeno, el fósforo y el potasio se denominan elementos primarios, mientras que el azufre, calcio y magnesio se llaman secundarios y micronutrientes a aquellos nutrientes que la planta utiliza en pequeñas cantidades. Sin embargo todos los nutrientes, primarios, secundarios y menores son esenciales para la vida de las plantas. De tal manera que si en un suelo no hubiese nada, cero gramos, de cualquiera de ellos, la planta moriría, puesto que todos son imprescindibles. (García, 1999, Salisbury & Ross, 1994). El suministro en forma oportuna y en las cantidades necesarias (balanceada) permite el desarrollo eficiente del metabolismo de las plantas lo cual se traduce en una buena producción y sanidad vegetal.

SECUENCIA I

NUTRICIÓN VEGETAL

CONTENIDO

Objetivo

Información

- 1.1. Importancia y función de los macronutrientes
- 1.2. Importancia y función de los micronutrientes
- 1.3. Importancia de los quelatos
- 1.4. El manejo integrado de nutrientes (MIN).
- 1.5. Teoría de la Trofobiosis

CONTENIDO

Al finalizar esta secuencia los participantes estarán en capacidad de conocer la importancia de una nutrición balanceada para el desarrollo y sanidad de las plantas.

INFORMACIÓN

1.1. Importancia y función de los macronutrientes

1.1.1. Nitrógeno

Este mineral forma parte de todas las proteínas y es un elemento constitutivo de los tejidos, incluyendo las paredes celulares (Clavijo, 1994).

Del suelo se absorben dos formas iónicas principales del nitrógeno: nitrato (NO_3^-) y amonio (NH_4^-). **El nitrato** es la forma en la que la planta absorbe la mayor cantidad de nitrógeno. Es muy soluble en agua y no es retenido por el poder absorbente del suelo, sino que desciende a capas profundas del terreno arrastrado por el agua.

Durante este transporte es cuando las raíces deben tomarlo para no perderlo. Si el nitrógeno aportado con los fertilizantes está en esta forma química, gran parte del mismo puede perderse al subsuelo sin que las raíces tengan tiempo para tomarlo.

Las plantas con exceso de nitrógeno tienen hojas de color verde oscuro, presentan abundancia de follaje, sistema radical mínimo. En plantas de tubérculos la abundancia de nitrógeno hace que las plantas crezcan en exceso en la parte aérea con tubérculos pequeños. Igualmente el exceso retarda la floración y la formación de frutos, también se pueden presentar cuarteamiento de los frutos.

La deficiencia de este elemento se manifiesta con clorosis general, especialmente en hojas viejas, hojas amarillas que mueren y caen de la planta, algunas plantas muestran una coloración púrpura por la acumulación de pigmentos de antocianina (Salisbury & Ross, 1994).

1.1.2. Fósforo

Después del nitrógeno, el fósforo es el elemento que con mayor frecuencia resulta limitante en los suelos. El fósforo es un componente esencial en los vegetales que interviene activamente en la mayor parte de las reacciones bioquímicas de la planta: respiración, síntesis y descomposición de glúcidos, síntesis de proteínas, etc. (García, 1999).

La mayor parte del P_2O_5 que necesitan las plantas lo toman de la solución del suelo, en forma de iones fosfato “fósforo asimilable”, siendo, por tanto, el agrónomicamente útil. A este “fósforo asimilable” en los análisis químicos y en la legislación sobre fertilizantes se denomina “fósforo soluble en citrato de amonio neutro y en agua”. La absorción es muy activa durante el período de máximo crecimiento y se reduce a partir de la floración. El P_2O_5 se concentra en los órganos de reproducción y en el grano (semilla).

El fósforo interviene en varios procesos de la planta como: **Transferencias de energía:** Los iones fosfóricos son capaces de recibir energía luminosa captada por la clorofila y transportarla a través de la planta en forma de ADP (adenosin difosfatos) y ATP (adenosin trifosfatos). La falta de este elemento en el suelo, puede impedir que otros sean absorbidos por las plantas (por ejemplo, las leguminosas necesitan determinada cantidad de fósforo para poder fijar nitrógeno). Influye fuertemente en el desarrollo de las raíces de la planta. Activa el desarrollo inicial y tiende a acortar el ciclo vegetativo, favoreciendo la maduración de los frutos, mejorando su calidad. El fósforo favorece la nodulación y la actividad de las bacterias nitrofijadoras, por ejemplo en la soja, especialmente cuando no existe un exceso de calcio en el terreno Este el-

emento aumenta la resistencia a las condiciones meteorológicas adversas, al encamado (cereales) y en general, a las enfermedades, función que comparte con la potasa. Este factor es de suma importancia para la rentabilidad de los cultivos (Mirat, 2006, Salisbury & Ross, 1994).

Un exceso en fósforo por lo general crecimiento de la raíz se incrementa con relación a la parte aérea

Una alimentación insuficiente en fósforo se manifiesta en retraso del crecimiento, fecundación, deficiencias en formación y llenado de las semillas -, retraso de la maduración, hojas pequeñas con nervios poco pronunciados y coloración azul-verdosa oscura, desarrollo de un sistema radicular débil, lo que determina en su conjunto una reducción de la cosecha y menor calidad de la misma.

El fósforo es muy poco móvil en el suelo ya que los iones fosfato no pueden ser extraídos por una raíz cuando entre ellos hay una distancia mayor a 2 mm.

1.1.3. Potasio

Este elemento se sitúa en mayor cantidad en zonas activas de crecimiento, fundamentalmente en los tejidos jóvenes. Las fibras esclerenquimatosas poseen más firmeza, mejores tejidos de sostén y por tanto, mayor estabilidad de la planta; fundamental para muchos cultivos, como el maíz, **Interviene en la fotosíntesis.** Con su presencia la potasa favorece la síntesis en la hoja, de los glúcidos o hidratos de carbono, así como el movimiento de estas sustancias y su acumulación en ciertos órganos de reserva. Por esto, las plantas que se cultivan por sus reservas de glúcidos (papa, remolacha y plátano) responden especialmente bien al suministro de abonos ricos en potasio. **Formación de prótidos.** En la práctica se observa que existe una interacción entre el nitrógeno y la potasa favoreciendo ambos elementos la formación de proteínas.

Disminuye la transpiración de la planta. La potasa asegura una mayor resistencia de la planta a la

sequía. Actúa como osmoregulador, permitiendo un buen aprovechamiento del agua, ya que mantiene la turgencia fisiológica celular imprescindible para el desarrollo de los procesos metabólicos. El potasio permite un equilibrio adecuado entre la respiración, la transpiración y el anabolismo.

Aumenta la resistencia de la planta a las heladas y a las enfermedades criptogámicas. Cuando existen deficiencias de potasa en los cereales se produce una disminución del peso específico. Existe un cierto antagonismo entre el potasio y otros elementos, principalmente el calcio y el magnesio. **Una deficiencia de potasio** retrasa el crecimiento de la planta, afectando principalmente a las partes que acumulan sustancias de reserva: frutos, semillas, etc., debido a la inhibición de carbohidratos.

1.1.4. Calcio

Interviene en el crecimiento celular, absorción de elementos nutritivos, actividad de enzimas, transporte de carbohidratos y proteínas. Es esencial en la estabilidad de las membranas proporcionando mayor consistencia a los tejidos, por ejemplo provoca mayor firmeza en el tallo de la planta. Por otro lado, actúa favoreciendo la estabilidad estructural del suelo, mejorando la porosidad, el laboreo, el riego etc. **Un déficit de calcio** detiene el crecimiento de la planta y origina clorosis, pérdida de clorofila. **El exceso** produce inmovilización de algunos elementos en el suelo, hierro, boro, cinc y manganeso, al encontrarse el calcio como carbonato lo que produce un aumento del pH del suelo que favorece la precipitación de dichos elementos. También puede provocar una inhibición de asimilación de potasio. (García, 1999)

1.1.5. Magnesio

Es un compuesto mineral bastante móvil dentro de la planta, su absorción puede ser afectada por la presencia de otros cationes como el Ca y/o K o por una acidez muy fuerte del suelo.

Favorece la formación de proteínas y vitaminas. Aumenta la resistencia de la planta en medios adversos:

frío, sequía, enfermedades, etc. Facilita la fijación de nitrógeno atmosférico en las leguminosas. Actúa como complemento en todas las enzimas que activan el proceso de fosforilación. Es un nutriente fundamental para la planta, siendo uno de los constituyentes de la clorofila, jugando un papel prioritario en la fotosíntesis. Su déficit provoca la reducción de la fotosíntesis que se traduce en una desaparición de clorofila, y por tanto amarillamiento de las hojas y aparición de manchas pardas, siendo las partes viejas las primeras afectadas, con defoliación prematura de las ramas bajas de la plantas. Los cultivos de hortalizas, leguminosas y frutales son muy sensibles a la falta de este elemento nutritivo. Los terrenos arenosos suelen tener carencias en este elemento (Frye, 1991).

1.1.6. Azufre

Forma parte de las proteínas como constituyente de los aminoácidos azufrados. Es uno de los componentes de las enzimas. Actúa como catalizador en los procesos de formación de la clorofila. Se asimila como ión sulfato, SO_4^{2-} . Dado que interviene en la formación de la clorofila, sus deficiencias se manifiestan en un amarilleo de las hojas, que se traduce en una reducción del desarrollo de la planta.

Los síntomas de deficiencia consisten en una clorosis general en toda la hoja, incluyendo los haces vasculares. En algunas especies el azufre no se redistribuye con facilidad a partir de tejidos maduros, su deficiencia por lo tanto se observa en los tejidos jóvenes.

1.2. Importancia y función de los micronutrientes

Los microelementos son llamados elementos trazas, oligoelementos, elementos menores, estas denominaciones parecen darle un papel secundario o inferior. Sin embargo tienen un papel nutritivo indispensable en cantidades muy pequeñas. La mayoría están involucrados en la activación de las enzimas

Los microelementos que son actualmente reconocidos como esenciales para las plantas superiores

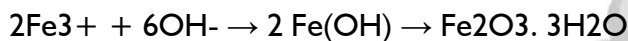
son el hierro (Fe), el manganeso (Mn), el zinc (Zn), el cobre (Cu), el boro (B) y el molibdeno (Mo).

Otros elementos que pueden ser útiles para ciertas plantas son cloro (Cl), el silicio (Si), y el cobalto (Co).

La materia orgánica contiene una importante proporción de micro elementos asimilables, en general los suelos pobres en materia orgánica tienen tendencia a ser igualmente pobres en micro elementos. Sin embargo los suelos con altos contenidos de materia orgánica pueden tener problemas de asimilabilidad en particular con el cobre, ya que puede establecer complejos orgánicos metálicos muy estables y no disponibles para las plantas.

1.2.1. Importancia de los quelatos

Los micronutrientes catiónicos son insolubles como sales inorgánicas y también son insolubles en la mayoría de los suelos y esta insolubilidad es mayor a pH mayores de 5. Los micronutrientes reaccionan con iones hidroxilo y forman óxidos hidratados insolubles como se observa en la siguiente reacción:



Sin embargo en la naturaleza existen sustancias o agentes orgánicos que permiten que los iones metálicos divalentes o trivalentes que al unirse con estos formen un producto soluble llamado quelato. Es decir que un quelato es el resultado de combinar un ligando (sustancia orgánica) con ciertos cationes metálicos como Calcio (Ca), cobre (Cu), Zinc (Zn), Hierro (Fe), Manganeso (Mn), Boro (B), Molibdeno (Mo), Magnesio (Mg). En los suelos los ligandos son producidos principalmente por las actividades de los microorganismos

Los nutrientes aplicados en forma de quelatos son diez veces más eficientes que aplicados en forma de sales, así las aplicaciones de quelatos por vía foliar gastan de nueve a diez veces menos material y las aplicaciones de quelatos al suelo gastan cinco veces menos material que cuando se usan fuentes meramente minerales (Mejía, 1999).

En el compost, actúan como ligandos el ácido húmico y el ácido fúlvico. Al alcance del agricultor están ligandos como jugo de limón, extractos de bosque (realmente jugos de ácidos húmico y fúlvico), vinagre y algunos aminoácidos (triptófano, obtenible mediante caldos de cabezas de pescado)

Los agentes quelatantes producidos por los microorganismos y excretados por las raíces de las plantas se comportan como transportadores de micro elementos hacia las raíces como ácidos orgánicos, proteínas, aminoácidos, ácidos húmicos y fúlvicos. Los micro elementos quelatados pueden permanecer en solución mientras que si no lo están forman precipitados insolubles, otra ventaja de la quelatación es los iones metálicos son retenidos mediante enlaces que los protegen de muchas reacciones, sin embargo la planta es capaz de absorber numerosas formas de micro elementos ligados a materia orgánica. Es absolutamente necesario poner gran cuidado en la dosis y en el pH de los quelatos so pena de peligro de daño a los cultivos. Las aplicaciones foliares deben hacerse a pH próximo a 6.

Los oligoelementos de la solución del suelo, en parte se pueden inmovilizar por complejación con sustancias húmicas insolubles o a través de la fijación sobre las superficies de los minerales de la arcilla o de los óxidos. Por otra parte los residuos de las plantas, por descomposición, liberan oligoelementos y moléculas orgánicas quelatantes, moléculas que pueden mantenerlos en solución, así como favorecer la solubilización de las formas insolubles.

Una característica común a todos los oligoelementos es el hecho de que a partir de una determinada concentración, una vez superado el rango óptimo, toda cantidad adicional se vuelve tóxica para las plantas incluso llegando a un rango en el que la concentración es letal.

1.2.2. Hierro

El hierro es abundante en los suelos en cantidades que van entre 200 ppm, los suelos ferruginosos

contienen cantidades elevadas de hierro que le dan un color rojizo. Las arenas ácidas muy lavadas contienen cantidades muy pequeñas de hierro. En suelos con pH elevado, la absorción de hierro se disminuye presentándose deficiencias de hierro, en suelos ácidos se forman fosfatos de hierro o este es adsorbido por arcillas.

La liberación de hidrógenos por las raíces reduce el pH de la zona radical y favorece la solubilidad de hierro.

El hierro es un componente de varias enzimas, en cloroplastos las hojas se encuentra concentrado más del 80% del hierro de las plantas. El hierro participa en funciones como la respiración, síntesis de clorofila fotosíntesis y en la fijación de nitrógeno.

La planta tiene una necesidad de una alimentación de hierro regulada menos de 0.5 ppm. en la capa cultivada mientras que el contenido alcanza a unos 20.000 ppm.

Su papel principal es la intervención en las reacciones de oxidación-reducción debido a su capacidad para intercambiar electrones, y como constituyente esencial de varias enzimas. Influye en la formación de la clorofila y en el resto de compuestos que intervienen en la fotosíntesis, respiración, metabolismo del nitrógeno, etc.

Se absorbe como ión ferroso, Fe^{2+} , o asociado a complejos orgánicos en forma de quelatos.

Su papel principal es la intervención en las reacciones de oxidación-reducción debido a su capacidad para intercambiar electrones, y como constituyente esencial de varias enzimas. Influye en la formación de la clorofila y en el resto de compuestos que intervienen en la fotosíntesis, respiración, metabolismo del nitrógeno, etc.

Las deficiencias se dan por pH elevados, es muy raro la clorosis de hierro, se puede degradados. En la planta se manifiesta provocando clorosis en las hojas (pérdida de coloración verde de la hoja),

la cual se vuelve amarilla pálida y a veces se torna blanca.

Análisis utilizando la extracción con DTPA.

Contenidos por debajo de 10 ppm: riesgo elevado de deficiencia.

10-20 p.p.m: riesgo medio a bajo de deficiencia.

20-150 p.p.m: contenidos satisfactorios.

Mayor a 150 ppm: índice de un problema de estructura e hidromorfia.

1.2.3. Manganeseo

El contenido del manganeso en el suelo es de 200 a 3000 ppm. La asimilabilidad del manganeso es más elevada en suelos ácidos, cuando estos son muy ácidos y son ricos en manganeso este puede llegar a ser tóxico para las plantas. Grandes cantidades de materia orgánica pueden provocar deficiencias de manganeso, se pueden formar complejos manganeso-materia orgánica no asimilables por las plantas. En suelos saturados de agua se incrementa la disponibilidad de manganeso asimilable que puede llegar a ser tóxica también.

El manganeso tiene importantes funciones en el metabolismo de las plantas como activación de diferentes enzimas, síntesis de la clorofila, fotosíntesis, reducción de nitratos y síntesis de aminoácidos y de proteínas.

La asimilabilidad del manganeso está muy relacionada con el pH del suelo, aumenta cuando el pH desciende por debajo de 5.5 y en suelos por encima de 6.5 no está disponible. Los suelos ricos en materia orgánica y con pH altos son sensibles a deficiencia de manganeso, suelos con exceso de agua solubiliza el manganeso y se produce pérdida de manganeso soluble por precolación.

Análisis utilizando la extracción con DTPA.

Contenidos por debajo de 4 ppm: riesgo elevado de deficiencia.

4-8 ppm: riesgo medio a débil de deficiencia.

8-80 ppm: contenidos satisfactorios.

Mayor a 80 ppm índice de un problema de estructura, o pH muy ácido.

1.2.4. Zinc

La solubilidad del zinc es baja en los suelos con pH alto, mientras que en pH 4, la solubilidad es máxima. La solubilidad del Zn en los suelos puede ser mejorada por los abonos acidificantes. El fósforo puede inducir la deficiencia de Zn cuando hay formación de fosfato de zinc, sin embargo hay planteamientos que afirman lo contrario, que este compuesto puede suministrar zinc y fósforo. La cantidad de Zn total en la mayor parte de los suelos es muy superior a las necesidades de los cultivos. Sin embargo ciertos suelos ácidos muy lavados pueden ser muy pobres llegando a tener solamente de 10 a 30 ppm de Zn en total. La asimilabilidad de zinc depende también del contenido de los suelos en agentes quelatantes ya sean exudados por las raíces de las plantas o sustancias de la descomposición de la materia orgánica.

El zinc participa en diversos sistemas enzimáticos, síntesis de ácidos nucleicos y de proteínas, reducción de nitratos, regulación de crecimiento mediante el control de la síntesis de triptófano.

Las deficiencias de Zn en los suelos existen generalmente en suelos con bajo nivel de Zinc (arenosos, ácido y lavados). Suelos calizos, suelos pobres en materia orgánica y bajas temperaturas. Deficiencias por debajo de 2 ppm., sin embargo en suelos ricos en fósforo pueden existir riesgos de deficiencia a 5 ppm. Satisfactorio entre 4- 5 ppm, bueno entre 6-7 ppm. El zinc puede llegar a ser tóxico para las plantas con aplicaciones excesivas.

1.2.5. Cobre

La movilidad del cobre se ve muy limitada a causa de su elevada adsorción, el cobre queda también fijado muy fuertemente por la materia orgánica del suelo, la elevación del pH reduce la asimilabilidad del cobre. El 70% del cobre está localizado en los cloroplastos, en forma de proteínas complejas,

es decir que participa en la fotosíntesis, Muchas proteínas contienen cobre, las necesidades de los cultivos en cobre son modestas entre 25 a 150 gramos por hectárea.

El cobre ligado a complejos, quelatos o adsorbido constituye la mayor parte del cobre accesible por las plantas.

Análisis utilizando la extracción con DTPA.

A pH mayor de 7.5

Por debajo de 0.2 ppm, riesgo elevado de deficiencias

0.2- 0.3 ppm ligeramente

1-2 ppm satisfactorio

2-3 ppm alto

Mayor de 3 ppm muy alto.

Las aplicaciones foliares de cobre en forma de sulfato (1 o 2%), la forma de sulfato presenta riesgo de producir quemaduras cuando se utilizan dosis muy elevadas siendo necesaria la neutralización con cal a partir del 5%.

Para un gran número de especies vegetales, los contenidos de cobre asimilable en el suelo demasiado elevados son perjudiciales para el desarrollo es decir son tóxicos. Los suelos con mayor posibilidad de presentar exceso de cobre son aquellos muy ricos en cobre naturalmente o por haber recibido grandes aportes de cobre durante mucho tiempo de aplicaciones foliares de caldo bordelés. El estiércol de cerdo pueden ser ricos en cobre debido al incremento de los contenidos de este elemento en los complementos minerales en el forraje.

1.2.6. Boro

El contenido del boro total en los suelos varía de 2 a 200 ppm, del cual la mayor parte no es asimilable por las plantas. El boro es retenido en la materia orgánica y liberada lentamente por los microorganismos.

El boro interviene en el crecimiento de tejidos meristemáticos tanto en las raicillas como en los

brotos, es necesario para la síntesis de las bases nitrogenadas (multiplicación celular), interviene en el transporte de nutrientes, se ha demostrado que las deficiencias en boro influyen en la disminución de la absorción de fósforo.

La deficiencia en boro se ve acompañada de una fuerte acumulación de auxinas (ácido indolacético) y fenoles que general muerte de los puntos de crecimiento.

Uno de los principales factores que determina la asimilabilidad del boro en los suelos es el pH, cuando este se eleva la asimilabilidad disminuye, la interacción mas importante es nitrógenos x boro, las fertilizaciones nitrogenada disminuyen la absorción del boro por las plantas, es decir una elevada fertilización nitrogenada podría inducir una deficiencia.

Menor a 0.45 bajos contenidos.

0.5- 1 aceptable

El boro puede llegar a ser toxico para numerosas especies, los cultivos mas sensibles son cítricos, fresas, cultivos semitolerantes zanahoria, maíz, papa lechuga, tabaco y tomate. Los suelos con exceso de boro pueden presentarse en regiones áridas o semiáridas

1.2.7. Molibdeno

El Molibdeno es importante en la fijación de nitrógeno. El pH es el factor principal que determina la asimilabilidad del molibdeno por las plantas. A pH bajo el molibdeno es fuertemente fijado. Con la elevación del pH las plantas pueden utilizar mejor el Molibdeno. Un contenido elevado de materia orgánica puede, en un determinado punto disminuir los riesgos de deficiencia de Molibdeno en presencia de un pH bajo.

El molibdeno es necesario para la asimilación normal del nitrógeno forma parte de dos enzimas importantes de las plantas la nitrato reductasa y la nitrogenasa, interviene en la síntesis de ácidos nucleicos.

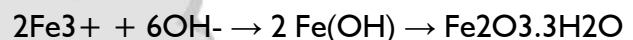
El fósforo facilita la absorción y el transporte de Molibdeno, con aplicaciones se fósforo se aumenta la absorción de molibdeno y se ve disminuida por el azufre. En una fertilización razonada se debe contemplar los aportes conjuntos de azufre y de molibdeno para obtener los mejores resultados en términos de rendimientos y de calidad de las plantas.

Menor a 0.15 ppm a pH menor de 6.3 deficiencia.

Los síntomas de toxicidad de molibdeno en las plantas son extremadamente raros en las condiciones agrícolas. El molibdeno parece poder ser absorbido por las plantas en cantidades muy superiores a las necesidades sin efectos tóxicos o bajas en el rendimiento.

1.3. Importancia de los Quelatos:

Los micronutrientes catiónicos son insolubles como sales inorgánicas y también son insolubles en la mayoría de los suelos y esta insolubilidad es mayor a pH mayores de 5. Los micronutrientes reaccionan con iones hidroxilo y forman óxidos hidratados insolubles como se observa en la siguiente reacción:



Sin embargo en la naturaleza existen sustancias o agentes orgánicos que permiten que los iones metálicos divalentes o trivalentes que al unirse con estos formen un producto soluble llamado quelato. Es decir que un quelato es el resultado de combinar un ligando (sustancia orgánica) con ciertos cationes metálicos como Calcio (Ca), cobre (Cu), Zinc (Zn), Hierro (Fe), Manganeseo (Mn), Boro (B), Molibdeno (Mo), Magnesio (Mg). En los suelos los ligandos son producidos principalmente por las actividades de los microorganismos

Los nutrientes aplicados en forma de quelatos son diez veces mas eficientes que aplicados en forma de sales, así las aplicaciones de quelatos por vía foliar gastan de nueve a diez vedes menos material

y las aplicaciones de quelatos al suelo gastan cinco veces menos material que cuando se usan fuentes meramente minerales (Mejia, 1999).

En el compost, actúan como ligandos el ácido húmico y el ácido fúlvico. Al alcance del agricultor están ligandos como jugo de limón, extractos de bosque (realmente jugos de ácidos húmico y fúlvico), vinagre y algunos aminoácidos (triptófano, obtenible mediante caldos de cabezas de pescado)

Los agentes quelatantes producidos por los microorganismos y excretados por las raíces de las plantas se comportan como transportadores de microelementos hacia las raíces como ácidos orgánicos, proteínas, aminoácidos, ácidos húmicos y fúlvicos. Los microelementos quelatados pueden permanecer en solución mientras que si no lo están forman precipitados insolubles, otra ventaja de la quelatación es los iones metálicos son retenidos mediante enlaces que los protegen de muchas reacciones, sin embargo la planta es capaz de absorber numerosas formas de microelementos ligados a materia orgánica. Es absolutamente necesario poner gran cuidado en la dosis y en el pH de los quelatos so pena de peligro de daño a los cultivos. Las aplicaciones foliares deben hacerse a pH próximo a 6.

Los oligoelementos de la solución del suelo, en parte se pueden inmovilizar por complejación con sustancias húmicas insolubles o a través de la fijación sobre las superficies de los minerales de la arcilla o de los óxidos. Por otra parte los residuos de las plantas, por descomposición, liberan oligoelementos y moléculas orgánicas quelatantes, moléculas que pueden mantenerlos en solución, así como favorecer la solubilización de las formas insolubles.

Una característica común a todos los oligoelementos es el hecho de que a partir de una determinada concentración, una vez superado el rango óptimo, toda cantidad adicional se vuelve tóxica para las plantas incluso llegando a un rango en el que la concentración es letal

1.4. El manejo integrado de nutrientes (MIN)

La disminución de la fertilidad del suelo ha planteado asimismo la preocupación sobre la sostenibilidad de la productividad agrícola al nivel actual. Las estrategias futuras para el aumento de la productividad agrícola tendrán que concentrarse en un empleo más eficiente, eficaz y sostenible que en el pasado de los recursos de nutrientes disponibles. El manejo integrado de los nutrientes necesarios para el crecimiento adecuado de las plantas, junto con la gestión eficaz de los cultivos, el agua, el suelo y la tierra, serán críticos para el sostenimiento a largo plazo de la agricultura

El manejo integrado de los nutrientes (MIN) es una técnica que busca tanto el aumento de la producción agrícola como la protección del medio ambiente para las futuras generaciones. Se trata de una estrategia que incorpora nutrientes tanto orgánicos como inorgánicos de las plantas para lograr una mayor productividad de los cultivos, prevenir la degradación del suelo y ayudar por lo tanto a cubrir las necesidades futuras de provisión de alimentos. Se basa en la aplicación y la conservación de nutrientes, las nuevas tecnologías para el incremento de la disponibilidad de nutrientes para las plantas y la divulgación de conocimientos entre agricultores e investigadores.

1.5. La teoría de la Trofobiosis

La teoría de la trofobiosis (trofos: alimento- biosis: vida) fue planteada por Francis Chaboussou 1933 investigador del INRA- Institut National de la Recherche Agronomique de Francia (Mejia, 1995), su principio básico es que la salud de las plantas esta relacionada con la nutrición equilibrada de estas. En los vegetales, hay procesos simultáneos la proteosíntesis y la proteólisis para la reestructuración de las proteínas y nuevas síntesis con el cumplimiento de las fases fenológicas o translocación de nutrientes. El suministro adecuado de los nutrimentos permite una síntesis eficiente y una actividad enzimática optima (Restrepo, 1973).

Todas las plantas poseen activos mecanismos de defensa contra el ataque de patógenos y estos mecanismos se expresan si la planta desarrolla una actividad enzimática apropiada. Para Virchow, (citado por Restrepo, 2004), los microorganismos patógenos no son los causantes de la enfermedad y por el contrario el tejido enfermo es el hábitat natural de los gérmenes, las condiciones internas de los tejidos los predisponen a sufrir la infección.

Una planta mal nutrida acumula en el citoplasma sustancias como azúcares y aminoácidos libres que pueden ser utilizados por los insectos y los hongos y virus patógenos y no puede desencadenar los mecanismos de defensa en forma apropiada.

Se define como nutrición vegetal equilibrada cuando la planta recibe todos los nutrientes necesarios en cantidades adecuadas para formar proteínas, enzimas y todas las sustancias genéticamente programadas (Primavesi 1994).

La teoría de la trofobiosis hace énfasis en el papel de los microelementos (oligoelementos) en el metabolismo, que participan en reacciones de defensa, respiración, inhiben la segregación de sustancias tóxicas de hongos y bacterias.



SECUENCIA 2

INOCULANTES

CONTENIDO

Objetivo

Información

- 2.1. Importancia de las micorrizas en la producción agrícola
- 2.2. La fijación biológica de nitrógeno y su impacto en los agroecosistemas
- 2.3. Fijación simbiótica de nitrógeno: *Rizhobium* sp y *Bradirizhobium* sp
- 2.4. Fijación asimbiótica de nitrógeno: *Azotobacter* sp, *Azospirillum* sp
- 2.5. Microorganismos solubilizadores de fósforo

CONTENIDO

Al finalizar la secuencia los participantes estarán en capacidad de conocer los diferentes tipos de inoculantes biológicos, la forma de preparación básica y los beneficios de su aplicación.

INFORMACIÓN

2.1. Importancia de las micorrizas en la producción agrícola

Para lograr maximizar la producción en el sector agrícola en concordancia con la oferta ambiental se presentan varias alternativas, entre las cuales los **inoculantes biológicos** (biofertilizantes) juegan un papel importante. Estos biofertilizantes, son productos de carácter biológico que favorecen el normal desarrollo de las especies vegetales y tienen como principio activo bacterias u hongos de carácter benéfico.

Las micorrizas arbusculares (MA) pueden ser utilizadas en la agricultura en forma de inoculantes biológicos (biofertilizantes), promoviendo la aplicación de un inóculo mixto que debe contener una buena dosis de propágulos del hongo MA y debe ser considerada

como una alternativa viable para promover sanidad y productividad en los sistemas de importancia agrícola y pecuaria.(Corredor, et al 2002)

2.1.1. Que son las Micorrizas?

La asociación simbiótica de carácter benéfico, que se da en forma natural entre las raíces de las plantas y ciertos hongos del suelo, caracterizada por el movimiento bi-direccional del flujo de nutrientes entre ellos, se reconoce actualmente con el nombre de micorriza. El término aparece por vez primera en una publicación titulada: *On the root-symbiosis-depending nutrition through hypogeous fungi of certain trees*, donde Albert Bernard Frank (1885), describe el fenómeno que ocurría frecuentemente y resultaba de la unión estrecha entre las raíces de las plantas de ciertos árboles y

el micelio de los hongos, estableciendo una dependencia fisiológica de reciprocidad (Sylvia, 1994).

Es necesario resaltar entonces que la planta o el hongo aislados no pueden definir el término, como tampoco la parte anatómica o funcional considerada por separado. Aun hoy, la definición inicial de Frank mantiene su vigencia, sin embargo, los desarrollos actuales del conocimiento de las micorrizas, tanto ecto como endomicorrizas, han precisado y definido la integración estructural y funcional que caracteriza esta simbiosis, ampliando la descripción y relación de órganos de absorción involucrados, teniendo en cuenta que no solo la forman plantas que poseen raíces ramificadas sino también aquellas que se caracterizan por poseer rizomas o talos (Sánchez de P., 1999).

2.1.2. Clasificación taxonómica.

Las micorrizas son tal vez los hongos más difundidos en el suelo. Todas las plantas vasculares son capaces de asociarse con hongos tipo micorrizas. Como es obvio la universalidad de la simbiosis implica una gran diversidad en la taxonomía de los hongos y las plantas involucradas.

Cerca del 3% de las plantas superiores, incluyendo árboles forestales de las familias *Fagaceae*, *Betulaceae*, *Pinaceae*, y algunas leguminosas leñosas forman ectomicorrizas. Los hongos desarrollados son comúnmente *Basidiomicetos* y *Ascomicetos* que colonizan los tejidos corticales de la raíz. La penetración intracelular es una característica. En general el hongo desarrolla una envoltura o manto alrededor de la raíz.

Otros tres tipos de micorrizas pueden ser agrupados como endomicorrizas, donde el hongo puede colonizar el cortex de la raíz intracelularmente. Uno de estos grupos es restrictivo para algunas especies en las *Ericaceae* (micorrizas ericodes), el segundo grupo son las *Orchidoideaceae* (micorriza orquidoidea) y el tercer grupo, las micorrizas arbusculares, que es el grupo más universal.

Existe un quinto grupo, las ectendomicorrizas, compuestas por algunas especies de plantas en al-

gunas familias de *Ericaceae* y *Ericales* y en *Monotropaceae*. Ellas poseen una vaina y producen penetración intracelular (micorrizas arbutoides y monotropoides).

La simbiosis, tiene distribución mundial. Estos hongos pertenecen a la clase *Zigomicotina*, orden *Glomales* (Walker, 1992; Rosendahl et al, 1994; Morton et al, 1988). Hay cerca de 150 especies en únicamente seis géneros que se agrupan por forma en los MA (*Acaulospora*, *Entrophospora*, *Gigaspora*, *Glomus*, *Sclerocystis* y *Scutellospora*).

2.1.3. Establecimiento de la simbiosis o colonización.

El término “micorriza” implica la asociación permanente de hifas de hongos con raíces de plantas superiores. Estos hongos MA son simbiotes obligados, por lo tanto en condiciones naturales no es posible encontrarlos sin un hospedero, ya que dependen nutricionalmente de ellos.

La micorriza está conformada por tres componentes principales:

- La raíz de la planta hospedera,
- Las estructuras fúngicas en el interior o entre las células corticales de la raíz
- Una red de micelio extra radical.

La colonización de las raíces puede iniciarse de cualquiera de las siguientes estructuras, que generalmente encontramos en el suelo:

- Esporas Libres
- Esporocarpos
- Hifas en el Suelo y
- Fragmentos de Raíces Colonizadas

Este proceso comienza cuando surgen los propágulos del suelo o de una planta micorrizada con MA que crece en la proximidad y por factores bioquímicos, fisiológicos y/o ambientales es capaz de penetrar en otra planta.

La colonización se inicia con un proceso denominado **Apresorio** que no es otra cosa que la penetración

de la epidermis en la (o pelos radiculares, en algunos casos), la hifa comienza a crecer inter e intracelularmente a lo largo de la corteza (Formación Tipo *Arum*), o enrollándose en las células (Formación Tipo *Paris*), la colonización se extiende longitudinalmente penetrando hacia la corteza interna.

Los **Arbúsculos**, se forman generalmente en la corteza interna, éstos surgen a partir de ramificaciones sucesivas de hifas intracelulares de aproximadamente $2\ \mu\text{m}$ de diámetro, que penetran la pared celular y desplazan el plasmalema, de esta forma, las ramificaciones de la hifa se rodean completamente por el plasmalema de la célula radicular y se forma una matriz interfacial entre éste y el arbúsculo, a través de la cual se produce la transferencia de nutrientes en ambas direcciones. Los arbúsculos son estructuras transitorias con una vida media que varía entre 4 y 15 días. Hacia el final de este tiempo, las ramificaciones colapsan progresivamente y su contenido desaparece. En efecto, el arbúsculo es probablemente el sitio donde se transfieren los nutrientes minerales del hongo a la planta y compuestos carbonados hacia el hongo (Smith, and Gianinazzi-Pearson, 1988; Bonfante y Bianciotto, 1995).

Algunos géneros de micorrizas arbusculares producen **Vesículas**, estructuras esféricas u ovals cuya función es el almacenamiento o en algunos casos **células auxiliares**, las cuales son hinchamientos terminales de hifas intra o intercelulares, respectivamente. Estas estructuras, que por lo general se desarrollan después de los arbúsculos, contienen gran cantidad de lípidos y otras reservas nutritivas cumpliendo con su función de almacenaje. Estas reservas son utilizadas por el hongo durante situaciones de estrés, ocasionado principalmente por el bajo suministro de metabolitos por la planta huésped.

Se expande la colonización interna, por ramificación de las hifas extraradicales, y el crecimiento cerca de la superficie de la raíz para tener así más puntos de penetración. Los hongos MA pueden crecer hacia el exterior en el suelo circundante, así se desarrolla una extensa y tridimensional cadena de micelio con interfaces entre las partículas del suelo, creando una

red micelial, que logra amarrar al suelo por medio de la secreción de una glicoproteína denominada **glomalina**, favoreciendo la estabilidad de agregados del suelo y ayudando a controlar procesos de erosión. Datos registrados por Smith y Gianinazzi-Pearson (1988) indican que la longitud de la hifa externa aumenta en suelos que tengan la asociación micorriza/raíz alcanzando un promedio para profundidad de 1m/cm de raíz, aunque valores superiores a 10-14m/cm han sido registrados. Esta malla micelial puede extenderse por varios centímetros fuera de la superficie de la raíz, haciendo un puente sobre la zona de menos nutrientes alrededor de la raíz para absorber los iones de baja movilidad (nutrición mineral de plantas) desde la masa de suelo.

En el micelio externo se producen **Esporas**, que son estructuras reproductivas (asexuales) y de resistencia que pueden sobrevivir por largos periodos de tiempo sobre el suelo y germinan para iniciar un nuevo ciclo del hongo. Muchos hongos MA forman esporas sobre el micelio externo. Su dispersión puede ser por agua, viento o animales y los caracteres morfológicos de las esporas, han sido utilizados ampliamente en taxonomía tradicional para distinguirlas unas de otras.

2.1.4. Factores que intervienen en el establecimiento de la simbiosis.

El evidente proceso de reconocimiento entre la planta y el hongo que formaran la simbiosis ocurre en varios estados y hay evidencias que así lo soportan como afirman Gianinazzi-Pearson (1984) y Azcon-Aguilar y Bago (1994): (1) un contacto célula a célula que es el camino para la formación del apresorio; (2) ciertos cambios morfológicos y estructurales cuando el hongo esta colonizando los tejidos radicales, concernientes a la organización de la pared celular del hongo; (3) integración de la fisiología de ambos simbioses y (4) redistribución de las actividades enzimáticas, especialmente las que involucran el intercambio de nutrientes entre los simbioses.

Durante el proceso de la formación de la micorriza, en el cual la planta acepta la colonización del

hongo sin que haya ninguna evidencia de rechazo, una serie de interacciones raíz-hongo suceden en la integración de ambos organismos. A su vez, en primer lugar se debe llevar a cabo el desarrollo de una buena adaptación de la “unidad” en el contexto del ecosistema suelo-planta. A pesar de la escasa información experimental, ha sido aceptado que el establecimiento de la simbiosis puede ser el resultado de un continuo “diálogo” molecular entre la planta y el hongo, donde debe haber un intercambio de ambos para el reconocimiento y aceptación de las señales. El resultado de este “diálogo” finalmente depende de la expresión del genoma de ambos organismos (Smith y Gianinazzi-Pearson, 1988; Gianinazzi-Pearson, 1994).

Muchas de las propiedades inherentes a todos los sistemas simbióticos son particularmente relevantes en la asociación micorrizal, como dependencia, compatibilidad, especificidad, entre otros. Hay diferencias en su alcance para colonizar el sistema radical de las plantas hospederas. Se comprende que hay cierto tipo de “especificidad” y que puede ser reconocido en la simbiosis con su participación. Así, el concepto de “compatibilidad” surge y es asociado a la “efectividad de la simbiosis” que establece la “compatibilidad funcional” (Gianinazzi-Pearson, 1984). Las últimas referencias para expresión fenotípica de los MA es el resultado de las influencias medio ambientales sobre la expresión genotípica de ambas entidades, la planta y el hongo MA involucrado (Smith y Gianinazzi-Pearson, 1988).

2.1.5. *Como actúan las micorrizas?*

Las micorrizas ya en simbiosis con una planta actúan básicamente en el desarrollo de un mejor y más eficiente sistema radical, lo que posibilita a la planta para que su nutrición sea más efectiva y eficiente. El otro beneficio directo reconocido es la eficiencia en captación de fósforo, elemento esencial en el desarrollo de las especies vegetales.

Resumiendo, las MA actúan como un mejorador de las relaciones bióticas y abióticas de las plantas y el complejo ecosistema del suelo. Varios rasgos de

las plantas hospederas, dependen principalmente (pero no exclusivamente) de las características fisiológicas y morfológicas del sistema radicular, condición que la habilita para tomar los nutrientes y, consecuentemente, la raíz que sirve de hospedero obtiene beneficio del estado micorrizal. Ciertos factores que afectan la formación de las micorrizas pueden también afectar el funcionamiento de la simbiosis. En general, algunas plantas capacitadas para absorber nutrientes relativamente inmóviles tales como el fósforo, son menos dependientes de la formación micorrizal. La habilidad del sistema radicular para absorber nutrientes de baja movilidad de la solución del suelo es realizado gracias al área superficial de la raíz, y como consecuencia de la arquitectura del sistema radicular (patrones de ramaje largo de las raíces, longitud y número de pelos radiculares, etc.). En consecuencia plantas con pocas ramas, bajo número de raíces laterales y pocos (y/o cortos) pelos radiculares muestran mayor dependencia de las micorrizas para tomar los nutrientes minerales (Brundrett, 1991).

Sin embargo, la geometría del sistema radicular no es la única característica relevante para la toma de nutrientes y dependencia micorrizal; la actividad del sistema radicular, su tasa de crecimiento y plasticidad (la habilidad para responder rápidamente para localizar cambios temporales en las condiciones de suelo, o sus perfiles nutricionales), también afecta la habilidad de las plantas para enfrentarse a las condiciones desfavorables de suelo. Consecuentemente, y dependiendo de estas características, la planta necesitará para lograr un crecimiento adecuado, contar con el establecimiento de simbiosis con micorrizas para sortear mejor estos inconvenientes.

2.1.6. *Beneficios por aplicación de Micorrizas.*

Las micorrizas (MA) pueden ser utilizadas en la agricultura en forma de inoculantes biológicos (en las diferentes fases que permite una especie vegetal, ya sea en semilleros, viveros, enraizamiento de plantas micropropagadas, y trasplante a campo, constituyéndose así en una alternativa valiosa para

solucionar problemas de micropropagación, aclimatación, establecimiento y nutrición de diferentes especies de importancia en la agricultura y reduciendo al mismo tiempo los costos de producción, ya que requieren una menor aplicación de insumos químicos y pesticidas y a su vez permitiendo de esta forma establecer sistemas de producción más eficientes, precoces y productivos, que aumenten la sostenibilidad de los cultivos.

La asociación simbiótica micorriza arbuscular, es considerada en la actualidad a nivel mundial como biofertilizantes, bioprotectores y bioreguladores para la mayoría de cultivos y ya hacen parte del manejo integrado de suelos y de plagas, así como del manejo de los materiales micropropagados en el área de la biotecnología vegetal (Azcón y Barea, 1.997).

Es ampliamente conocida la multitud de ventajas que tiene una planta micorrizada con respecto a una que no lo esté (Olivares y Barea, 1.991; Gianinazzi y Dexheimer 1988, Harley y Smith 1983; Hayman 1983; Barea y Azcón 1987; Bagyaraj 1984; Plaut 1988; Barea y Azcón 1982, Smith 1980; Harley y Smith 1983; Hayman 1983; Smith 1985; Gianinazzi y Dexheimer 1988) , algunos de los beneficios son:

- Se obtiene mejor respuesta en el cultivo en aquellos suelos de baja fertilidad o nutricionalmente desequilibrados en los que el contenido de P asimilable es bajo.
- Contribución a la nutrición mineral de la planta, en especial a su aporte de fósforo, por absorción, translocación y transferencia; en la nutrición nitrogenada de la planta, y en la adquisición de otros nutrientes como zinc y cobre, y se considera que probablemente. podrían translocar potasio, calcio, magnesio y azufre
- Las plantas son capaces de soportar condiciones de clima adversas, la elevación de la temperatura en el suelo, la presencia de agentes contaminantes y además mejoran la resistencia al trasplante
- Control biológico para algunos patógenos provenientes de suelo, e incremento de la tolerancia de la planta a patógenos comunes.

- Aumentan la resistencia al ataque de hongos y nematodos de las raíces
- Efecto positivo sobre el desarrollo y distribución de biomasa
- Favorece la absorción de agua y aumenta la resistencia de la planta huésped a la sequía
- Influencia sobre la fotosíntesis de la planta hospedera
- Producción de hormonas estimulantes o reguladoras de crecimiento vegetal
- Incremento en la relación parte aérea/raíz de la planta micorrizada
- Aportes en recuperación de suelos por ser formadores de agregados del suelo por sustancias adherentes (glomalina)
- Uso potencial en suelos degradados o áridos en programas de revegetación
- Interacción positiva con fijadores libres y simbióticos de nitrógeno y otros microorganismos de la rizosfera

La perspectiva para el futuro cercano muestra que el desarrollo de integrar biotecnologías, no únicamente inoculación micorrizal, sino también otros microorganismos capaces de promover el crecimiento o dar protección a la planta, como simbiosis o bacterias asociativas, rizobacterias promotoras de crecimiento (PGPR), patógenos antagonistas, o cepas hipovirulentas de patógenos, pueden ser incorporados en los sistemas productivos para el beneficio de los mismos, el mantenimiento de los recursos naturales, cultivar en armonía con el medio ambiente y tener la posibilidad de ofertar productos de alta calidad libres de contaminantes que pueden incursionar en los mercados ecológicos a nivel nacional e internacional, garantizando una mejor calidad de vida a productores y consumidores.

2.2. La fijación biológica de nitrógeno y su impacto en los agroecosistemas

Todas las formas de vida requieren de nitrógeno para sintetizar proteínas y realizar funciones bioquímicas. El nitrógeno frecuentemente es el nutriente limitante para el crecimiento de plantas y microorganismos.

El nitrato, es la forma en que comúnmente las plantas toman el nitrógeno. Es clave en la nutrición de éstas y puede hallarse en el suelo, derivado del contenido mineral del mismo, fijado de la atmósfera o del producto de la biotransformación de las moléculas orgánicas que lo contienen como los restos vegetales y animales. La desnitrificación o reducción del nitrato hasta nitrógeno molecular o dinitrógeno (N₂), es una actividad microbiana importante.

El nitrógeno molecular (N₂) es la mayor reserva de nitrógeno para la biósfera. Aunque es prácticamente ilimitada, no puede ser utilizada directamente por los vegetales y animales. La atmósfera contiene alrededor de 1015 toneladas de N₂ y el ciclo del nitrógeno involucra la transformación de unas 3 x 10⁹ toneladas de N₂ por año

El descubrimiento de la fijación biológica de nitrógeno en las leguminosas se remonta al siglo XIX. La fijación biológica de N₂ es realizada principalmente, por procariontes. Es decir por microorganismos como bacterias y cianobacterias.

Las bacterias fijadoras de nitrógeno son muy diversas con diferentes estilos de vida y de asociación con los vegetales. Algunas fijan en presencia de oxígeno y otras en ausencia de este, algunas solo fijan bajo simbiosis mientras que otras pueden fijar nitrógeno en forma libre.

Azolla sp., es un helecho acuático capaz de fijar de 100 a 1564 kg/ha/año de nitrógeno en simbiosis con la cianobacteria ***Anabaena azollae***; es usado como abono verde en el cultivo de arroz, especialmente en China y en Vietman. Se ha demostrado que aumenta el crecimiento del cultivo así como el número de espigas, el contenido protéico y el rendimiento.

Estudios realizados por el IRRI (1977); demuestran que *Azolla* acumula de 30 a 40 kg de N/ha en 2 semanas; el nitrógeno fijado es disponible para las plantas de arroz solamente después de la descomposición del helecho y el 62 al 75% del nitrógeno total fijado

es liberado como amonio después de 6 semanas de iniciarse la descomposición del material, lo cual lo hace rápidamente disponible para la planta.

Los microorganismos más eficaces en la fijación de nitrógeno son aquellos que se asocian con las plantas y forman estructuras diferenciadas, llamadas “nódulos”, localizadas en la raíz de las plantas. En el interior de estas estructuras se localizan los microorganismos, desarrollando una verdadera simbiosis con la planta.

Bradyrhizobium japonicum establece una relación simbiótica muy eficiente con soya, donde un 70% de la fijación nitrogenada por la bacteria es asimilada por la planta. En Brasil se ha empleado con éxito la fertilización biológica de soya con ***B. japonicum*** y 0% de aporte de N como fertilizante químico, ello ha conducido a que este país sea el segundo productor de soya a nivel mundial

En Colombia los microorganismos ***Rhizobium spp*** y ***Bradyrhizobium spp***, son los mas usados a nivel intensivo en los cultivos de soya y algunas especies de leguminosas forrajeras y han sido producidos a escala comercial partir de 1988 por el ICA y actualmente por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria Corpoica

Con la inoculación de las semillas de soya es posible un ahorro efectivo del fertilizante nitrogenado equivalente a 200 kg de N/ha. Investigaciones muestran rendimientos en soya inoculada con cepas de ***Rhizobium spp***, superiores al tratamiento con 200 kgN/ha. Igualmente presentan efectos positivos de la inoculación de plantas de frijol con cepas de ***Rhizobium leguminosarum***, logrando valores similares en materia seca al control con N (200 ppm nitrógeno), afirmando que la fertilización inorgánica de nitrógeno pueden ser sustituida en forma parcial por la simbiosis frijol – *Rhizobium*. En el cultivo de arveja han encontrado que la inoculación con cepas de ***Rhizobium spp*** reemplaza en un 100% la fertilización nitrogenada, obteniendo producciones iguales y superiores al tratamiento con nitrógeno.

El microorganismo **Azoarcus** se localiza en las capas externas del cortex; una vez en el interior de la planta se disemina a los tejidos aéreos probablemente por medio de los vasos del xilema. En experimentos de inoculación con **Azoarcus** en arroz, se logró la colonización del microorganismo y la expresión de la nitrogenasa. La bacteria invade las raíces en la zona de alargamiento y diferenciación, coloniza el cortex intra e intercelularmente, penetrando en el sistema vascular en los vasos del xilema, permitiendo la diseminación sistémica del tallo del arroz.

2.2.1. Fijación de dinitrógeno por bacterias de vida libre.

La fijación de nitrógeno es altamente demandante de energía, en condiciones óptimas para la actividad nitrogenasa se requieren de 16 MgATP para la reducción de $8 \text{ H}^+ + \text{N}_2 \rightarrow \text{NH}_3 + \text{H}_2$. Bajo condiciones naturales 20 a 30 Mg ATP son necesarios para reducción el dinitrógeno. El rompimiento del triple enlace requiere de 226 kcal por mol. La fijación industrial vía Haber-Bosch logra el rompimiento del enlace $\text{N}\equiv\text{N}$ y reducir el N_2 a 2NH_3 por el empleo de altas temperaturas y altas presiones en presencia de un catalizador. En la fijación biológica del dinitrógeno, el proceso opera a temperatura ambiente y a $p\text{N}_2$ de 0.78 atm, con la ayuda de la enzima nitrogenasa, la cual favorece el paso a formas asimilables y lo hace disponible para las necesidades de los organismos.

2.2.2. Actividad Nitrogenasa

La fijación biológica del dinitrógeno está mediada por la enzima nitrogenasa, la cual está constituida por dos proteínas. La proteína I del Molibdeno-Hierro (MoFe) y la proteína II del Hierro (Fe), cada una compuesta por múltiples subunidades. La Molibdeno-Hierro proteína (MoFe) es la dinitrogenasa y el sustrato es el dinitrógeno. La Hierro proteína (Fe) es llamada dinitrogenasa reductasa y su función es la reducción de la dinitrogenasa (**Sylvia et al., 1999**).

La dinitrogenasa reductasa (Fe), acepta electrones de un donante como Ferrodix o Flavodoxin y los une a 2 MgATP; la dinitrogenasa reductasa y la dinitrogenasa forman un complejo y los electrones son transferidos a la dinitrogenasa (MoFe), los dos MgATP son hidrolizados a MgADP + Pi (fosfato); cuando la dinitrogenasa ha colectado suficientes electrones une una molécula de dinitrógeno reduciéndola y convirtiéndola en amonio, luego la dinitrogenasa reductasa y la dinitrogenasa se disocian y el proceso se repite nuevamente. (**Sylvia et al., 1999**).

2.3. Fijación simbiótica de nitrógeno: *Rizhobium sp* y *Bradirizhobium sp*

El termino **simbiosis**, describe la forma de vida que desarrollan organismos de dos especies diferentes de forma íntima y permanente de tal manera que ambos reciben beneficios para su normal desarrollo, tal es el caso de un grupo de bacterias denominadas Rizobios y ciertas plantas especialmente las denominadas leguminosas. Las bacterias reciben carbohidratos de la planta, mientras que estas reciben nitrógeno para ser utilizado en sus procesos de desarrollo. El nitrógeno es un elemento esencial para el desarrollo normal de las plantas; aunque el 78% de la atmósfera está constituido por este elemento, en esta forma no se encuentra disponible para las plantas. El nitrógeno además es un nutriente limitante en la producción ya que en los suelos se presenta en niveles bajos y por lo tanto en la mayoría de los sistemas de producción se debe recurrir a la aplicación de fertilizantes nitrogenados, lo cual además de aumentar los costos, contribuye a la contaminación ambiental.

Es así, como dos de los sistemas más ampliamente estudiados a nivel mundial y nacional son los relacionados con la **fijación simbiótica de nitrógeno** de los rizobios que permite la sustitución parcial o total de la fertilización nitrogenada de síntesis química mediante la producción de inoculantes biológicos que contengan estas bacterias como alternativa dentro de esquemas de producción limpia, orgánica, ecológica o convencional, con

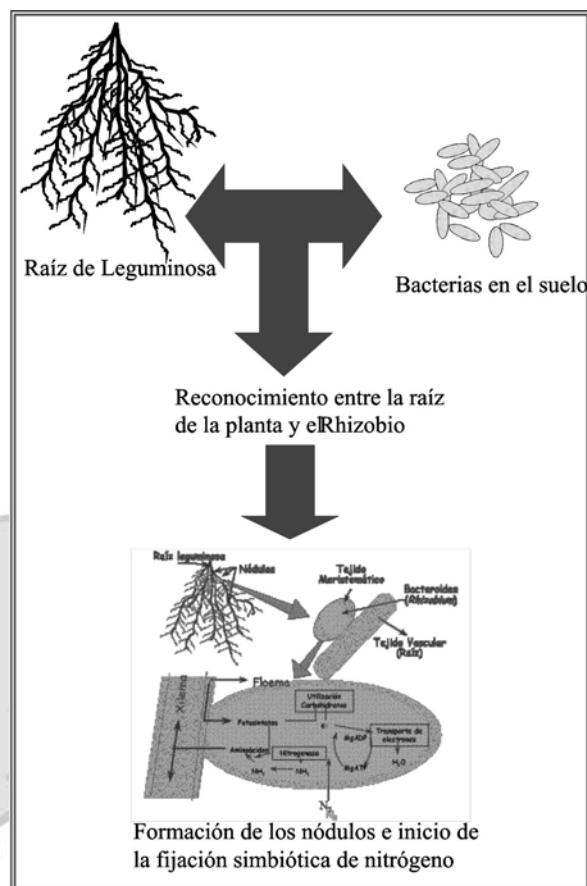
el fin de establecer sistemas de producción más sostenibles y competitivos, sin degradar el medio ambiente

2.3.1. ¿Como el *Rhizobium* captura el nitrógeno atmosférico?

Los *Rhizobium* son bacterias que morfológicamente se caracterizan por tener forma alargada (bacilos) y movilidad gracias a la presencia de un flagelo. Son Gram negativas y aerobias obligadas que pertenecen a la familia *Rhizobiaceae*. Entre ellos se encuentran los géneros ***Rhizobium***, ***Bradyrhizobium*** y ***Azorhizobium***. Estos microorganismos del suelo forman una asociación simbiótica con distintas especies de plantas y durante la simbiosis son capaces de llevar a cabo la fijación de nitrógeno molecular. En la simbiosis las bacterias se encuentran en las raíces de las plantas dentro de estructuras llamadas **nódulos**. Ni la plantas ni estas bacterias por si solas fijan el nitrógeno molecular (N₂), que debe pasar a formas asimilables amonio y nitrato para que las plantas puedan utilizarlo.

La invasión inicial de las plantas se lleva a cabo por los pelos radiculares. Las bacterias inducen una curvación de esos pelos mediante el contacto con la planta y la producción de metabolitos **nod**. Las bacterias invaden las plantas mediante el desarrollo de canales de infección, por lo que se forman túneles transcelulares. Durante la penetración, y la simbiosis, las bacterias no quedan alojadas directamente dentro del citoplasma de las células de la planta hospedadora, sino que permanecen alojadas en “vesículas” rodeadas por una membrana derivada de la membrana citoplasmática de la célula de la planta. Con este proceso se da la formación del nódulo.

La simbiosis es inhibida si existe un exceso de nitrato o amonio en el suelo. Dentro de los nódulos las bacterias se convierten en **bacteroides** que son células más grandes que los *Rhizobium* que se encuentran en el suelo y que llevan a cabo la fijación de nitrógeno porque son capaces de formar la **enzima nitrogenasa** que es responsable de la



Tomado de Biofertilizantes Rizobianos. Alternativa para manejo sostenible de cultivos de soya.

conversión del nitrógeno molecular en amonio. Debido a esta simbiosis, la planta recibe nitrógeno que puede utilizar para si misma, mientras que las bacterias utilizan moléculas que les proporciona la planta.

Existen muchos genes de rizobios característicos de la simbiosis como por ejemplo los genes *nod*, *nol*, *nif* y *fix*. Los nódulos aparecen rojos por causa de una proteína llamada **leghemoglobina**. Después de la fase de fijación de nitrógeno, el color del nódulo llega a ser verde debido a la conversión de leghemoglobina en **biliverdina**.

Leghemoglobina protege a la nitrogenasa de los altos niveles de oxígeno y evitar la inactivación de esta enzima. Cada tipo de *Rhizobium* tiene espectro específico de plantas con las que es capaz de formar nódulos. Por ejemplo, *Bradyrhizobium japonicum* forma una simbiosis con soya, *Rhizobi-*

um leguminosarum *bv. viciae* con arveja, *Rhizobium* (*Sinorhizobium*) *meliloti* con alfalfa y *Azorhizobium caulinodans* con sesbania.

2.3.2. ¿Por qué utilizar inoculantes rizobianos?

En general, se ha estimado que la simbiosis Leguminosa-Bacteria, tiene una capacidad de fijación entre 53 y 320 Kg N/ha (Philips, 1980) dependiendo de la eficiencia de fijación que está determinada por la bacteria (cepa o aislamiento), la leguminosa y las condiciones ambientales. Para lograr los beneficios de la fijación simbiótica de N₂ se deben seleccionar cepas de la bacteria que presenten características favorables de efectividad, infectividad, competitividad, persistencia y supervivencia, que garanticen una fijación efectiva.

Para esto se realiza un trabajo inicial en el que se incluyen diversos genotipos a partir de los cuales se puede seleccionar el aislamiento que cumpla con estas características para cada tipo de leguminosa y ambiente, logrando a través de procesos de selección y aislamientos sucesivos obtener los biofertilizantes que son una tecnología de alto impacto para sistemas productivos agrícolas, ya que permite incrementar la producción, reducir costos, sustituir fertilización nitrogenada convencional y adicionalmente reducir la contaminación de recursos naturales y ambientales, mejorando la calidad del producto.

Cuando las leguminosas y las bacterias fijadoras de nitrógeno trabajan unidas, las plantas crecen vigorosas sin la utilización de fertilizantes nitrogenados. Los inoculantes rizobianos producidos contienen billones de bacterias seleccionadas para que se lleve a cabo la fijación biológica de nitrógeno. Cuando las semillas son inoculadas con la cepa apropiada, se lleva a cabo la formación de nódulos efectivos.

Los inoculantes son de fácil aplicación y de bajo costo y garantizan un buen desarrollo y crecimiento del cultivo debido al incremento en la fijación de nitrógeno. Cuando las semillas son inoculadas con la cepa apropiada, se lleva a cabo la formación de nódulos efectivos.

Los inoculantes son de fácil aplicación, de bajo costo, garantizan un buen desarrollo y crecimiento del cultivo debido al incremento en la fijación de nitrógeno. Además una inoculación apropiada puede fijar potencialmente cientos de kilos de nitrógeno del ambiente durante el periodo de vida de los dos organismos asociados. Cuando la planta cesa su desarrollo y muere gran parte de este nitrógeno fijado durante el crecimiento del cultivo puede reciclarse al incorporar los residuos al suelo.

Cuando los niveles de nitrógeno (N) en el suelo son muy bajos, dosis iniciales de N pueden aumentar el crecimiento temprano de la planta y la fotosíntesis, mejorando a su vez la nodulación temprana y la fijación del nitrógeno. Por el contrario cuando los niveles de nitrógeno son altos, se puede inhibir la nodulación y reducir la fijación biológica de nitrógeno por nódulos ya formados. Un problema común es que los niveles de N al inicio del crecimiento pueden limitar la nodulación y fijación del nitrógeno, pero no ser suficiente para la nutrición adecuada de las plantas para el ciclo total de crecimiento y por lo tanto reducir la productividad.

2.3.3. ¿Cuándo debe inocularse?

Este procedimiento debe realizarse cuando se va a introducir una leguminosa en el suelo que no haya sido cultivado antes con esa especie, ya que es poco probable que el suelo contenga Rizobios y por lo tanto la inoculación es necesaria. Cuando la inoculación es adecuada, la senescencia de los nódulos al final del periodo de desarrollo del cultivo retorna un gran número de Rizobios al suelo y esto puede hacer innecesaria la inoculación posterior. Sin embargo no todos los inoculantes rizobianos son buenos para colonizar el suelo y pueden desaparecer después de un tiempo.

Por otro lado, cuando el cultivo es una especie tradicional en el área, es posible que el suelo tenga Rizobios abundantes y adaptados a las condiciones del cultivo. Estos organismos pueden competir con aquellos introducidos por inoculación, reduciendo la proporción de nódulos formados por

éstos. Ya que en promedio las cepas nativas de *Rhizobium* son menos efectivas que aquellas seleccionadas para la producción de inoculantes, es posible que la planta en estas condiciones no fije todo el nitrógeno que necesita.

2.3.4. Tipos de Inoculación

Los inoculantes pueden ser aplicados a la semilla, directamente al suelo bien sea debajo de la semilla o en solución sobre el suelo después de la siembra. El método convencional de inoculación consiste en realizar una mezcla del inoculante con una sustancia adherente, por lo general azúcar común disuelta en agua (10%), para posteriormente cubrir completamente las semillas. Las semillas cubiertas se deben dejar secar a la sombra antes de ser sembradas, pero es recomendable inocular solamente aquellas semillas que van a ser sembradas durante el día.

Características de un buen inoculante

Un buen inoculante debe:

- Ser capaz de establecer la infección y fijar nitrógeno con las variedades comúnmente usadas de la leguminosa y la región para la cual ha sido recomendado.
- Capaz de competir con Rizobios nativos del suelo, que en la mayoría de los casos son menos efectivos y de esta forma la mayoría de los nódulos formados pertenecerán a la cepa del inoculante.
- Persistente en el suelo.
- Tolerantes al estrés del suelo, tales como temperatura y acidez.
- Crecer adecuadamente en medios de cultivo simples en el laboratorio.
- Ser genéticamente estables.

2.3.5. ¿Cómo se puede identificar que un nódulo está fijando nitrógeno?

Cuando se corta un nódulo que este fijando nitrógeno efectivamente, una proporción alta de

este debe ser rosado o rojo, este color es debido a una hemoproteína, llamada leghemoglobina similar a la hemoglobina en la sangre y que también está involucrada en el suministro de oxígeno para la bacteria.

La cantidad de leghemoglobina presente por lo general está relacionada con la cantidad de nitrógeno fijado, cuando los nódulos son blancos o verdes, tienen baja capacidad de fijación. Sin embargo cuando ha pasado el tiempo de vida de un nódulo (en el caso de Soya ha sido estimado en 50-60 días) estos empiezan a envejecer y toman un color café o verde. La mayoría de los nódulos eficientes están en la raíz principal, aunque algunos se encuentran en las raíces laterales. La forma de los nódulos esta determinada por el tipo de leguminosa y por esto la misma bacteria producirá diferentes tipos de nódulos dependiendo del hospedero (planta inoculada). Por ejemplo, los nódulos de Soya, Frijol y Caupi tienen forma redondeada, mientras que los nódulos en Trébol son más alargados.

2.3.6. ¿Que beneficio obtengo en cultivos de soya por inoculación con *Rhizobium*?

Dentro de los procesos necesarios para determinar la cepa más efectiva para las condiciones regionales, se llevan a cabo pruebas en invernadero y campo, en las que se realizan comparaciones entre plantas inoculadas y plantas con fertilización química (urea). Estos ensayos han hecho posible establecer que para el caso de soya, la cepa denominada ICA J-01, es la más apropiada y su inoculación puede incluso superar la producción que se obtiene al aplicar 200 kg N/ha, y adicionalmente lograr el ahorro del fertilizante químico

2.4. Fijación asimbiótica de nitrógeno: *Azotobacter sp*, *Azospirillum sp*

La familia Azotobacteriaceae comprende a las bacterias del género *Azotobacter*, las cuales son Eubacterias Gram-negativas que tienen una pared celular compleja que consiste de una membrana externa y una capa interna de peptidoglicano que contiene ácido murámi-

co y mureína. Se reproducen por fisión binaria, viven en suelos y en aguas frescas, son células ovoides y grandes de 1.5 a 2.0 μm de diámetro. Los miembros de esta familia se caracterizan principalmente por ser bacterias fijadoras de nitrógeno asimbióticas (vida libre), son aerobios pero pueden crecer en concentraciones bajas de oxígeno. (Becking. 1992).

Azotobacter es una bacteria fijadora de nitrógeno comúnmente encontrada en el suelo. Tiene un alto potencial como productora de sustancias de crecimiento vegetal, sustancias antifúngicas y degradadora de sustancias tóxicas, son quimiorganotróficas, utilizan azúcares, alcoholes, ácidos orgánicos y sales inorgánicas para crecer.; en vida libre fijan al menos 10 mg de N_2 por gramo de carbohidrato (glucosa) consumido. El incremento de la actividad nitrogenasa de raíces inoculadas contribuye al balance de nitrógeno de las plantas, demostraron que entre el 5 y 18% del nitrógeno de la planta es derivado de la fijación (Kucey, 1988; Rennie Thomas, 1987 citados por Parra Cuevas, 2001).

La capacidad de *Azospirillum* para estimular el crecimiento de las plantas ha sido demostrada en decenas de experimentos, tanto de campo como de invernadero. Varios son los mecanismos que se han sugerido como responsables del efecto estimulador observado en las plantas inoculadas. En numerosos estudios de inoculación con *Azospirillum*, además del mejor crecimiento de las plantas, fueron observados incrementos en el contenido de nitrógeno total de las plantas inoculadas respecto a las testigos (Baldani, et. al. 1983).

Azospirillum tiene la capacidad de producir auxinas, citocininas y giberelinas en medios de cultivo (Bottini, et al. 1989). No obstante, el mecanismo analizado con mayor amplitud ha sido la producción de auxinas, especialmente la del ácido indolacético (AIA) (Barbieri, et al. 1986).

El AIA producido por las bacterias puede modificar el contenido de fitohormonas de las plantas conduciendo a la estimulación del crecimiento de las mismas (Bar, & Okon. 1992).

2.5. Microorganismos solubilizadores de fósforo

Desde el punto de vista químico el fósforo puede encontrarse como:

- Fósforo inorgánico.
- Fósforo orgánico.
- Fósforo adsorbido.
- Fósforo asimilable.

La disponibilidad está determinada por los siguientes factores:

- pH del suelo
- Fe, Al, y Mn solubles
- Presencia de minerales que contienen Fe, Al y Mn.
- Minerales de calcio y magnesio disponibles
- Cantidad y descomposición de materia orgánica
- Actividad de microorganismos

Todos estos factores están influenciados por el pH de suelo. La máxima disponibilidad del P ocurre para pH entre 6 y 7.

A pH bajos, suelos ácidos, existe en solución Fe, Al y Mn que reaccionan con el ácido fosfórico dando fosfatos hidróxidos insolubles. También existe la fijación por los óxidos hidróxidos formando fosfatos hidróxidos insolubles. La fijación por silicatos-arcillas, se realiza en condiciones de moderada acidez. En suelos alcalinos, los fosfatos precipitan con el Ca de cambio y con el de CaCO_3 .

La dependencia del comportamiento del fósforo con el pH se resume a continuación:

A pH = 3-4. Mínima solubilidad.

A pH > 4 el fósforo disminuye la capacidad fijadora.

A pH = 5,5 mucho del fósforo está químicamente combinado con Fe y Al.

A pH = 6 comienza la precipitación como fosfato cálcico

A pH = 6,5 se forman sales de Ca insolubles por lo que el fósforo no es disponible.

A pH > 7 puede formarse incluso apatito como ejemplo de compuestos muy insolubles

Generalmente los fosfatos forman compuestos insolubles con iones Fe^{+3} y Al^{+3} en medio ácido y con Ca^{++} en medios alcalinos. Tan solo existe un rango de pH (alrededor de 6,5) en el que el fosfato se mantiene soluble, que es la situación en la que se puede presentar cierto riesgo de lixiviación.

La capacidad de solubilización del fósforo del suelo es una característica que tienen numerosos microorganismos tales como Hongos de los géneros *Penicillium*, *Aspergillum*, *Fusarium*; Actinomicetes (*Streptomicetes*) y bacterias (*Mycobacterium*, *Flavobacterium*, *Micrococcus*, *Bacillus*) siendo este último grupo y dentro de él, las bacterias del género *Pseudomonas* las que mayor capacidad de solubilización del fósforo tienen (Rizobacter 2001).

El principal mecanismo de la solubilización del fosfato mineral es la síntesis de ácidos orgánicos por los microorganismos. La producción de ácidos orgánicos resulta en una acidificación de los alrededores de la célula bacteriana en consecuencia el P puede ser liberado por sustitución del Ca^{2+} . La producción de ácidos orgánicos por bacterias solubilizadoras de fosfato ha sido bien documentada, el principal ácido orgánico reportado es el glucónico; el 2 ketogluconico esta presente en varias especies de *Rhizobium*, también se han encontrado mezclas de ácidos láctico, isobutírico, acético malónico y succínico en solubilizadores de fosfato (Goldstein, 1994)

El uso de bacterias solubilizadoras de fosfato incrementa la toma de P por la planta y los cultivos. Ciertas cepas como *Pseudomonas*, *Bacillos Rhizobium* pueden solubilizar fósforo.

Aunque, en general, los suelos agrícolas contienen buenas reservas de fósforo como consecuencia de la aplicación regular de fertilizantes, su disponibilidad para la planta es escasa debido a los procesos químicos que “fijan” el fósforo soluble de los fertilizantes en formas insolubles no aptas para la nutrición vegetal. En suelos ácidos son los óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio, y en suelos básicos los carbonatos de calcio los que inmovilizan

el pentóxido de fósforo (P_2O_5) contenido en los abonos químicos. Así, se calcula que en el 40% de los suelos del planeta la producción agrícola se ve limitada por la escasa disponibilidad de fósforo asimilable.

Varios reportes han examinado la habilidad de diferentes especies para solubilizar compuestos insolubles de fósforo inorgánico, tales como el fosfato tricalcico, fosfato dicalcico, hidroxipatita y roca fosfórica; entre los géneros bacteriales con capacidad solubilizadora están *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Rhizobium*, *Burkholderia*, *Achromobacter*, *Agrobacter*, *agrobacterium*, *Micrococcus*, *aereobacter*, *Flavobacterioun* y *Erwinia*.

Son considerables poblaciones de bacterias solubilizadoras de fosfatos en el suelo y en la rizósfera de las plantas incluyendo cepas aeróbicas y anaeróbicas.

La detección y estimación semicuantitativa de los microorganismos solubilizadores de fosfato ha sido posible usando métodos de selección en plato, en los cuales se muestra claramente las zonas alrededor de la colonia microbiana del medio conteniendo fosfato mineral insoluble.

La mineralización de compuestos de fósforo orgánico se lleva a cabo por enzimas fosfatasas. Importantes niveles de fosfatasas microbianas han sido detectadas en diferentes tipos de suelo, particularmente la actividad fosfatasas es mayor en la rizósfera.

Las bacterias solubilizadoras de fosfato juegan un papel importante en la nutrición de las plantas a través del incremento de la toma de P, su uso con bacterias promotoras de crecimiento vegetal es una importante contribución a la biofertilización de los cultivos agrícolas (Rodríguez Fraga, 1999).

SECUENCIA 3

IMPORTANCIA DE LA MATERIA ORGÁNICA EN EL SUELO

CONTENIDO

Objetivo
Información

- 3.1. La materia orgánica del suelo, Conceptos e Importancia.
- 3.2. El ciclo de la materia orgánica
- 3.3. Formas de aporte de materia orgánica al suelo
- 3.4. Estudios de casos- Elaboración y uso del compost

CONTENIDO

Al finalizar esta secuencia los participantes estarán familiarizados con los conceptos sobre materia orgánica del suelo, sus forma e importancia como acondicionador físico, activador biológico y con procesos de habilitación – compostaje, para producir abonos orgánicos.

INFORMACIÓN

3.1 La Materia Orgánica del Suelo, Conceptos e Importancia

La materia orgánica del suelo (M.O.S.) está compuesta por toda sustancia muerta que proviene de plantas, microorganismos y excreciones de animales (Primavesi, 1982), en procesos de descomposición, la biota que se renueva con intensidad variable y el humus o fracción relativamente estabilizada y resistente a la descomposición. El humus también se consume a una tasa de 1 a 6 % anual. (Gómez, J).

Conceptos relacionados con materia orgánica:

Residuos orgánicos: tejidos animales o vegetales y sus productos de descomposición parcial.

Biomasa del suelo: Materia orgánica presente en forma de tejido microbial vivo.

Necromasa: M.O.S. muerta

Materia Orgánica del Suelo: humus

Sustancias húmicas: De peso molecular relativamente alto, de color pardo a negro, formadas por reacciones secundarias de síntesis.

La parte orgánica del suelo representa un sistema complejo de sustancias, su dinamismo se determina por la incorporación al suelo de los residuos vegetales y animales y la transformación de estos bajo la acción de diversos organismos. Estas sustancias orgánicas pueden pertenecer a dos grupos fundamentales: el primero está formado por restos orgánicos (proteínas y aminoácidos, hidratos de carbono simples y compuestos, ácidos orgánicos de distinta naturaleza, ceras,

resinas, lignina, entre otros). Estos compuestos constituyen en los suelos minerales aproximadamente 10 a 15 % de la reserva total de materia orgánica. Sin embargo, la porción principal de la parte orgánica del suelo está representada por sustancias húmicas propiamente dichas, este grupo de sustancias constituye en los suelos minerales hasta 85 o 90 % de la reserva total del humus (Kononova, 1982). Los residuos en proceso de descomposición finalmente llegan a formar parte de la fracción húmica.

Importancia de la M. O. S.

La importancia de la M. O. S. tiene tal dimensión que se considera como un acondicionador físico, ya que mejora la retención de humedad, disminuye la densidad aparente, mejora la aireación y la estructura (formación y estabilidad de agregados).

Sobre las propiedades químicas, la M. O. S. tiene los siguientes efectos positivos: es fuente de nutrientes para las plantas y organismos edáficos, permite la liberación lenta de nutrientes, bloquea los sitios de fijación de fósforo en suelos ácidos, es fuente de micronutrientes, incrementa la capacidad de intercambio catiónico. Es fuente de ácido carbónico que actúa en la disolución de minerales y esto contribuye a incrementar la disponibilidad de nutrientes, aumentando la fertilidad del suelo.

Por otra parte, sirve de sustrato para la actividad biológica, tanto de fauna y flora y provee un ambiente más favorable para la fijación biológica de nitrógeno, la solubilización de fósforo y las asociaciones simbióticas entre organismos del suelo y raíces de las plantas.

La M.O. contribuye a la fertilidad y productividad del suelo, debido a que afecta procesos físicos, biológicos y químicos que tienen lugar en el sistema suelo – planta – atmósfera.

3.2 El ciclo de la materia orgánica

El ciclo de la materia orgánica está dado por las entradas y salidas que se producen en el sistema, el

balance del humus generado por la cantidad y calidad de los aportes orgánicos define si la M.O.S. se está agotando o si permanece en el tiempo, dando sostenibilidad.

El ciclo de la materia orgánica comprende los procesos mediante los cuales el carbono (C) es reciclado a la atmósfera como dióxido de carbono (CO₂), el nitrógeno (N) se torna disponible como amonio (NH₄⁺) y nitrato (NO₃⁻), y otros elementos asociados como fósforo, azufre y varios micronutrientes se presentan en las formas requeridas por las plantas superiores. El ciclo conlleva el intercambio de elementos entre las partes vivientes y no vivientes del ecosistema. La conversión de C, N, P y S a formas minerales se denomina mineralización, el proceso contrario se conoce como inmovilización; estos dos procesos son concomitantes, es decir que hay un ciclo mineralización – inmovilización en el suelo (Burbano, 1989).

La descomposición de la M. O. es fundamental en el ciclado de nutrientes dentro del ecosistema y contribuye a disminuir la pérdida de estos, de manera que la aplicación de fertilizantes sea menor y más efectiva. En la descomposición de la materia orgánica influyen diversos factores como la composición química inicial del material orgánico, las características edafoclimáticas, los organismos del suelo y la edad del ecosistema (Gallardo, 1994)

3.3. Formas de aporte de materia orgánica al suelo

Los aportes pueden ser endógenos y exógenos. Los primeros son los que se generan al interior de los ecosistemas (hojarasca, residuos de cosecha “in situ”, estiércol procedente de pastoreo) y llegan a la descomposición en el suelo sin transformación antrópica. Los aportes exógenos son aquellos que transformados o no aporta el hombre al ecosistema.

Una de las principales formas de materia orgánica que llegan al suelo son los residuos vegetales, estos constituyen una de las principales fuentes de

materiales y energía para el mantenimiento de los procesos que se desarrollan en un ecosistema

Otra forma de aportes de materia orgánica son los estiércoles de diferentes animales, estos al igual que otras formas de materia orgánica tienen algunas restricciones para su uso en fresco, debido a que pueden contener fitotoxinas, patógenos, semillas de malezas, sales o por poseer calor latente, pobreza en nutrientes, olores desagradables.

El proceso mediante el cual los residuos orgánicos se tornan aptos para su empleo como abonos se denomina habilitación, dentro de este término se incluyen los procesos de compostaje, lombricompostaje, acolchados, troceado, enriquecimiento, etc.,. El compostaje es un proceso biooxidativo, es decir que es llevado a cabo por microorganismos y requiere la presencia de oxígeno. Este proceso implica el paso de las materias primas por diferentes etapas.

3.4 Estudios de casos Elaboración y uso del compost

De acuerdo con los requerimientos nutricionales de los cultivos y el grado de fertilidad del suelo, debe seleccionarse las materias primas para la preparación de un compost, para esta selección también es conveniente considerar la disponibilidad de materiales orgánicos en la zona de trabajo.

Estudio de caso 1. Evaluación de parámetros en un compost. En la Universidad Nacional de Colombia - Sede Palmira se evaluó un proceso de compostaje a partir de una mezcla de cachaza y bagazo de caña de azúcar, vinaza y gallinaza. Entre otras las variables evaluadas fueron temperatura, humedad, pH, contenido de macro y micronutrientes; encontrándose que en una pila con altura de un metro se alcanzó la etapa mesofílica a los 5 días, la termofílica a los 12 días y que el enfriamiento duró hasta los 60 días, a partir de este período comenzó la etapa de maduración del compost. En cuanto a humedad, esta descendió desde 58 % hasta 50 % a los 13 días y a 36 % a los 53 días (Bolaños *et al.*, 2004).

Los contenidos de N, P, y K permanecieron estables hasta los 15 días luego se presentaron variaciones marcadas, el P descendió hasta 0.7 % y después de la etapa termofílica nuevamente subió hasta 1.1%. Para nutrientes como azufre y magnesio se presentó un incremento durante todo el proceso de compostaje, mientras que el calcio incrementó en los primeros días y luego las concentraciones variaron. Según los parámetros establecidos por la legislación colombiana sobre agricultura ecológica esta mezcla de materiales para el proceso de compostaje dio como resultado un compost que cumplió con las especificaciones para ser abono orgánico (Bolaños *et al.*, 2004).

Estudio de caso 2. Uso de Compost. En el departamento del Quindío se realizó un experimento sobre cultivo orgánico de plátano (*Musa AAB*), empleándose como abono orgánico un compost fabricado con las siguientes fuentes: rúquis y cáscara de plátano, pulpa de café, gallinaza, bovinaza y melaza. El contenido de N, P y K de este compost fue de 7,3 %. La aplicación de este abono se realizó a los antes de la siembra, a los dos, seis y 12 meses después de la siembra, de acuerdo con las demandas del cultivo según su desarrollo. Con el fin de comparar el efecto de este manejo orgánico se plantearon dos tratamientos más uno con agroquímicos y otro aplicando solo pulpa de café (tradicional). Algunas de las variables evaluadas en suelo fueron la biomasa microbiana Carbono y actividad de la enzima deshidrogenasa, encontrándose que el suelo que recibió la fertilización orgánica con el compost, mostró mayores valores de estas dos determinaciones, comparado con el suelo del manejo tradicional o con agroquímicos. El índice de gasto energético fue mayor en el suelo que recibió agroquímicos y menor en el manejo orgánico y en este manejo fue mayor la reserva de energética de suelo. En planta también se obtuvo efecto positivo de la aplicación del compost, ya que se redujo el la duración del ciclo del cultivo y se incrementó el peso del racimo (Bolaños, 2006).

SECUENCIA 4

OTRAS ALTERNATIVAS PARA LA FERTILIZACIÓN DE LOS CULTIVOS

CONTENIDO

Objetivo

Información

- 4.1. Caldos microbianos.
- 4.2. Abonos verdes
- 4.3. Microorganismos eficientes

CONTENIDO

Al finalizar esta secuencia los participantes estarán familiarizados con los conceptos generales sobre caldos microbianos, abonos verdes y microorganismos eficientes.

INFORMACIÓN

4.1. Caldos microbianos

Los procesos de respiración y fermentación se deben a la acción enzimática y son las formas mediante las cuales se lleva a cabo la desasimilación o catabolismo.

La respiración se define como un proceso metabólico que conduce a una oxidación total de los compuestos de carbono con la producción de CO₂ y agua.

Fermentación es un proceso que se caracteriza por la oxidación incompleta de los compuestos de carbono con formación de ácidos alcoholes y diversas moléculas orgánicas. Son una mezcla de productos orgánicos y algunos químicos permitidos debidamente combinados especial-

mente estiércoles de animales, algunos sulfatos y plantas que mezclados con agua fresca y libre de químicos contaminantes se convierten en un biofertilizantes o fungicida de fácil asimilación para el suelo y las plantas.

Estas mezclas generan procesos de multiplicación de microorganismos benéficos que ayudan a sintetizar o transforman los nutrientes haciéndolos asimilables a la planta y al suelo sin dejar residuos tóxicos en el sistema

Aumentan la capacidad para que la planta pueda asimilar mejor los alimentos, fortaleciéndola para un mayor crecimiento y para que se defienda de algunas enfermedades, especialmente las producidas por hongo.

4.1.1 Materiales básicos para la preparación de caldos microbianos

En general los estiércoles son fuente principal de nitrógeno en la fabricación de abonos y caldos microbianos. Los sulfatos pueden ser utilizados en la agricultura orgánica y aunque son productos de procedencia química, está permitido usarlos, ya que en el proceso de transformación realizados por los microorganismos se convierten en elementos que la planta asimila con facilidad en pequeñas cantidades sin dejar residuos tóxicos ni a los humanos ni a la naturaleza.

La leche fortifica y ayuda a multiplicar los microorganismos y también aporta algunos nutrientes importantes para la planta y el suelo. La levadura es una fuente de introducción de microorganismos para dinamizar o arrancar con fuerza un proceso de transformación de los nutrientes.

Calfos –cal dolomita-fosforita Huila: Estos materiales son importantes en todo el proceso de la agricultura orgánica, ya que aportan minerales especialmente fósforo, calcio y magnesio, pero además ayudan a que el proceso de transformación e integración de nutrientes se haga con más equilibrio, si las cantidades son adecuadas, también ayudan a corregir la acidez del fermentado o compostaje mejorando el pH.

4.1.2. Recomendaciones para el uso de los caldos minerales

El éxito en la preparación y uso de caldos microbianos depende de varios factores entre los cuales es importante la metodología de preparación, el almacenamiento, el origen y humedad de los estiércoles, estos últimos deben ser muy frescos y proceder de animales sanos. Durante la fermentación y almacenamiento los productos deben estar protegidos del sol, la lluvia en lugares frescos y ventilados.

Las dosis y frecuencias de aplicación son muy importantes de tener en cuenta. Cada formulación

tiene unos requerimientos de tiempos de fermentación e igualmente su aplicación debe estar sujeta a los análisis de suelo y necesidades de los cultivos.

4.2. Abonos verdes

Los abonos verdes son cultivos de cobertura o plantas que se siembran para alimentar a la tierra, no para cosecharse, las cuales aportan nutrientes para el cultivo siguiente. Las leguminosas son las plantas más usadas para abonos verdes porque toman el nitrógeno del aire y lo llevan a la tierra. Es una práctica probada para la recuperación física, química y biológica de suelos degradados.

Los abonos verdes pueden ser cualquier especie vegetal que cubra el suelo o incremente su fertilidad. Pueden ser leguminosas comestibles como los frijoles comunes o también leguminosas usadas para forraje. Se han usado la *Crotalaria juncea* y el frijol Mungo (*Phaseolus aureus*), pueden ser incluso “malezas”, la vegetación nativa se deja crecer produciendo suficiente vegetación para proveer de una cobertura al próximo cultivo luego se corta y se deposita sobre el suelo.

4.2.1. Ventajas de los abonos verdes

Las ventajas de los abonos verdes son varias:

Reducción de la erosión: El mantener una cobertura ayuda a reducir la erosión de dos maneras: 1) La cobertura protege el suelo del golpe de las gotas de lluvia y 2) reduce la escorrentía, incrementando la filtración del agua en el suelo. El material vegetal como cobertura del suelo actúa como una sombrilla deteniendo el impacto de las gotas de lluvia y 3) reduce la escorrentía, incrementando la filtración del agua en el suelo.

Incremento en la fertilidad del suelo: Porque contienen nutrientes que son liberados al suelo según se van descomponiendo. A menudo el cultivo de cobertura/abono verde es una especie que resulta ser más eficiente que el cultivo principal en su capacidad para extraer los nutrientes del suelo.

Incremento en la disponibilidad de agua para el cultivo. La presencia de los cultivos de cobertura/abono verde en el suelo reduce la fuerza de las lluvias, aumentando de esta manera la filtración y reduciendo la escorrentía, de tal forma que más agua penetra en el suelo.

Reducción de enfermedades y de insectos dañinos: Los monocultivos año tras año aumentan las probabilidades de ataques por insectos o enfermedades. Los cultivos de cobertura/abonos verdes funcionan como un cultivo de rotación reduciendo de esta manera la posibilidad de ataques de enfermedades e insectos. Hay también alguna evidencia de que los cultivos de cobertura/abonos verdes pueden reducir los problemas causados por nematodos.

4.2.2. Características deseables en un abono verde

Un abono verde ideal posee tres características importantes:

- Un crecimiento rápido
- Follaje abundante y suculento
- Habilidad de crecer bien en suelos pobres.

A más rápido crecimiento, mayor es la posibilidad de aptitud para ser introducido en una rotación y uso económico como medios de mejoramiento del suelo. Follaje abundante y raíces poderosas son, desde luego, algo necesario, y, como ya se ha mencionado antes, a mayor contenido de humedad en el abono verde, más rápida es la descomposición y más pronto se obtienen beneficios. Como la necesidad de materia orgánica es urgente, en especial en la tierra pobre, un cultivo jugoso tendrá grandes ventajas.

Cuando las demás condiciones son iguales, es mejor hacer uso de las leguminosas en el abono verde, preferentemente a las no legumbres, a causa del Nitrógeno ganado por el suelo y la actividad orgánica que provocan. Es a veces de extraordinaria importancia una pequeña adición de Nitrógeno.

Sin embargo, a veces es difícil obtener un cultivo intercalado de legumbres, pues pueden ser tan valiosos como alimento de ganado, que sería antieconómico usarlo como abono verde. Además, las semillas de las legumbres son caras, casi prohibitivo su uso para los abonos verdes. Por otro lado, algunas legumbres no encajan dentro de las rotaciones comunes de tal forma que puedan ser luego enterradas

4.3 Microorganismos Eficientes

Las plantas y los microorganismos han tenido desde siempre un desarrollo basado en relaciones de simbiosis y coexistencia. El hecho de que los procariontes (Bacterias y Archaeas) hayan sido de los primeros pobladores terrestres y que hayan vivido en un inicio en condiciones extremas (luz ultravioleta, temperaturas extremas, condiciones anóxicas y en un ambiente químico cambiante), les confirió una serie de estrategias metabólicas que les ha permitido vivir en muy diversas condiciones ambientales. Estas estrategias los mantienen íntimamente involucrados en el movimiento y transformación (Ciclos biogeoquímicos) de las diferentes formas químicas de muchos elementos, pero sobretodo de aquellos esenciales para la vida como: oxígeno (O), carbono (C), nitrógeno (N), azufre (S) y fósforo (P). En años recientes, estudios sobre la ecología de los microorganismos nos han llevado a conocer los denominados **Microorganismos Eficientes (EM)** que se constituyen en una alternativa para potenciar muchas de las actividades relacionadas con el sector agropecuario, industrial, medioambiental y de salud, aun cuando su proceso de investigación no esta concluido.

4.3.1 Historia

El Profesor Teruo Higa de la Facultad de Agricultura de la Universidad de Ryukyus es el padre de la tecnología de Microorganismos Eficaces (EM). El Profesor Higa empezó a estudiar los microorganismos a raíz de un envenenamiento que tuvo con productos químicos agrícolas. Para su investigación, recogió 2000 especies de microorganismos.

El trabajo tomó enormes cantidades de tiempo, excluyendo microorganismos dañinos u olorosos, logró encontrar 80 microorganismos eficaces benéficos a los seres humanos. En el curso de su investigación, el profesor dispuso de una mezcla de microorganismos cerca de algunos arbustos. Encontró allí más adelante, crecimiento vegetal abundante. Inspirado por el feliz accidente, Higa empezó a investigar las mejores combinaciones hasta que en 1982 hizo la presentación formal del EM, como acondicionador del suelo, catorce años después de haber comenzado su investigación.

4.3.2 La tecnología de Microorganismos Eficientes (EM)

El EM es una combinación de los varios microorganismos naturales benéficos usados para y encontrados en alimentos. Contiene organismos benéficos de tres géneros principales: bacterias fototróficas, bacterias del ácido láctico y levadura. Estos microorganismos eficaces secretan sustancias benéficas tales como vitaminas, ácidos orgánicos, minerales y antioxidantes cuando entran en contacto con la materia orgánica.

“El EM consiste en cultivos mixtos de microorganismos benéficos y naturales que coexisten en un medio líquido. Cuando se aplican inoculadores microbianos a la basura orgánica o se introducen en el medio ambiente, su efecto benéfico individual se multiplica en forma sinérgica. El cultivo consiste sobre todo de bacterias lácticas, bacterias fotosintéticas y levaduras, y contiene más de 80 diferentes microorganismos en total”

1. Las especies principales del microorganismo incluyen: Bacterias del ácido láctico: *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus casei*, *Streptococcus lactics*.
2. Bacterias Fotosintéticas: *Rhodospseudomonas plastrus*, *Rhodobacter spaeroides*
3. Levaduras: *Saccharomyces cerevisiae*, *Candida utilis* Actinomycetes: *Streptomyces albus*,
4. *Streptomyces griseus*
5. Hongos la fermentación: *Aspergillus oryzae*, *Mucor hiemalis*.

El EM viene en forma líquida y contiene microorganismos útiles y seguros. No es un fertilizante, ni un químico, no es sintético y no ha sido modificado genéticamente. Este se utiliza junto con la materia orgánica para enriquecer los suelos. Dichos microorganismos se encuentran en estado latente y por lo tanto se utiliza para hacer otros productos secundarios de microorganismos eficientes, tales como el biol, el bokashi.

4.3.3 Modo de acción de los EM

Los microorganismos eficientes actúan de manera que toman sustancias generadas por otros organismos basando en ello su funcionamiento y desarrollo. Las raíces de las plantas secretan sustancias que son utilizadas por los microorganismos eficientes para crecer, sintetizando aminoácidos, ácidos nucleicos, vitaminas, hormonas y otras sustancias bioactivas. Cuando los microorganismos eficientes incrementan su población, como una comunidad en el medio en que se encuentran, se incrementa la actividad de los microorganismos naturales, enriqueciendo la microflora, balanceando los ecosistemas microbianos, suprimiendo microorganismos patógenos.

4.3.4 Tipos de microorganismos presentes

4.3.4.1 Bacterias Fototróficas

Son bacterias autótrofas que sintetizan sustancias útiles a partir de secreciones de raíces, materia orgánica y gases dañinos, usando la luz solar y el calor del suelo como fuentes de energía. Las sustancias sintetizadas comprenden aminoácidos, ácidos nucleicos, sustancias bioactivas y azúcares, promoviendo el crecimiento y desarrollo de las plantas. Los metabolitos son absorbidos directamente por ellas, y actúan como sustrato para incrementar la población de otros microorganismos eficientes.

4.3.4.2 Bacterias Ácido Lácticas

Estas bacterias producen ácido láctico a partir de azúcares y otros carbohidratos sintetizados por bacterias fototróficas y levaduras. El ácido láctico

es un fuerte esterilizador, suprime microorganismos patógenos e incrementa la rápida descomposición de materia orgánica. Las bacterias ácido lácticas aumentan la fragmentación de los componentes de la materia orgánica, como la lignina y la celulosa, transformando esos materiales sin causar influencias negativas en el proceso.

4.3.4.3 Levaduras

Estos microorganismos sintetizan sustancias antimicrobiales y útiles para el crecimiento de las plantas a partir de aminoácidos y azúcares secretados por bacterias fototróficas, materia orgánica y raíces de las plantas. Las sustancias bioactivas, como hormonas y enzimas, producidas por las levaduras, promueven la división celular activa. Sus secreciones son sustratos útiles para microorganismos eficientes como bacterias ácido lácticas y actinomiceto.

4.3.5 *Que es un Biol?*

El Biol es un fitoestimulante de origen orgánico, es un preparado líquido que se produce en un “bio-fermentador” casero. Es el producto de la descomposición anaeróbica o aeróbica de desechos orgánicos por microorganismos eficientes (ME), que básicamente se integran por tres grupos funcionales de microorganismos como bacterias ácido lácticas, bacterias fotosintéticas y levaduras, también encontramos en menor concentración actinomicetos, solubilizadores de fosfatos entre otros, y la adición de algunos elementos que no son de síntesis química, que posteriormente van a servir como fuente de fertilización, nutrición y control fitosanitario a las plantas.

Su empleo aporta al suelo algunos minerales para la nutrición de las plantas y permite inocular microorganismos activadores de la biota del suelo. Su elaboración se puede adelantar mediante la descomposición y fermentación aeróbica y anaeróbica de distintos sustratos. Este tipo de bioabono tiene la particularidad de que se puede balancear mediante la adición de elementos minerales deficitarios en el suelo, con el fin de corregir su disponibilidad y facilitar el suministro para las plantas vía edáfica y foliar según el caso. (Corpoica-PBA, 2002)

El uso de bio-fertilizantes y fertilizantes orgánicos se constituye así en una opción viable en los sistemas productivos del trópico reflejando aumento de la competitividad por reducción de los costos de producción, y aumento en la eficiencia de los sistemas de producción, con plantaciones precoces y productivas, que requieren una menor aplicación de insumos fertilizantes, riego y pesticidas, a través de tecnologías limpias sostenibles, que propenden por la conservación del medio ambiente y la calidad de vida tanto de productores como de consumidores. (Corredor, et al. 2004)

Los estudios sobre ME en el país, son relativamente recientes y su campo de acción puede ser muy amplio. Existen entidades dedicadas a la investigación científica y divulgación entre las que se cuentan: FUNDASES, Universidad Nacional, Universidad de los Andes, Universidad Javeriana, Universidad Minuto de Dios, Universidad Santo Tomas, Universidad Juan de Castellanos, CORPOICA, Corporación PBA, entre otras.

BIBLIOGRAFÍA

- Azcón-Aguilar, C., Barea, J.M. 1997.** Applying mycorrhiza biotechnology to horticulture: significance and potentials. *Scientia Horticulturae*. 68:1-24.
- Baldani, V. L. D., J. I. Baldani, and J. Döbereiner. 1983.** Effects of *Azospirillum* inoculation on root infection and nitrogen incorporation in wheat. *Can. J. Microbiol.* 29:924-929.
- Bar, T., and Y. Okon. 1992.** Tryptophan conversion to indole-3-acetic acid via indole-3-acetamide in *Azospirillum brasilense* Sp7. *Can. J. Microbiol.* 39:81-86.
- Barbieri, P., T. Zanelli, E. Galli, and G. Zanetti. 1986.** Wheat inoculation with *Azospirillum brasilense* Sp 6 and some mutants altered in nitrogen fixation and indole-3-acetic acid production. *FEMS Microbiol. Lett.* 36:87-90.
- Barea, J. Azcon, C. 1982** Productions of plant growth-regulating substances by the vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus mossae*. *Appl. Environ. Microbiol* 43 :810-813.
- Barea, J. Azcon, C. 1987.** Vesicular-arbuscular mycorrhiza improve both symbiotic N fixation and N uptake from soils as assessed with a N technique under field conditions. *New Phytol.* 106: 717-725
- Bolaños B. M.; Bonilla, C. R.; Castilla L. A.; Navia J. 2004.** Evaluación de parámetros físicos, microbiológicos y químicos en un compostaje a partir de cachaza y bagazo de caña, vinaza y galinaza. En Memorias XVI Congreso Latinoamericano y XII Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo. Septiembre 26 a octubre 1 de 2004. Cartagena. Colombia.
- Bolaños, B. M. M. 2006.** Evaluación de actividad enzimática (deshidrogenasa, proteasa, fosfatasas y arilsulfatasa) en la rizosfera de plátano (*Musa AAB*): relación con propiedades de un andisol. Tesis Doctoral para optar al título de Ph.D. en Ciencias Agropecuarias. Manejo de Suelos y Aguas. Universidad Nacional de Colombia. Sede Palmira. 214 pág.
- Bottini, R., M. Fulchieri, D. Pearce, and R. P. Pharis. 1989.** Identification of gibberelins A1, A3, and iso-A3 in cultures of *Azospirillum lipoferum*. *Plant Physiol.* 90:45-47.
- Burbano H. 1989.** El Suelo: Una visión sobre sus componentes biorgánicos, universidad de Nariño, Pasto, Colombia. p. 86.
- Clavijo, P. 1994.** Fertilidad de los suelos diagnóstico y control, metabolismo de los nutrientes en las plantas. Santa fé de Bogotá. Corpoica. 13-27 pp.
- CORPOICA. 2003.** Manual de Procedimientos Técnicos Planta de Producción de Inoculantes Rhizobianos. Bogota, 2003
- Corredor, GA; Ramírez, M; Baquero, C; Espitia, A; Suárez, D; Benavides, J; Serralde, A; Laignelet, A; Cotes, L; Primera, F. 2004.** Scaling-up biological and organic inputs with regional participation: Technologic and Social Development Model for cassava production systems. Abstracts VI Cassava Biotechnology Network, Cali-Colombia.
- Corredor G.A., M. Ramírez, C. Baquero and A. Espitia. 2002.** Participative Scale-Up of AM Production on Cassava Clean Seed Production Programs. Fifth Internacional Scientific Meeting of

the Cassava biotechnology Network , St. Louis, Missouri.USA CBN-V Video Archives - SI-04

EM – Microorganismos eficaces .<http://www.fundases.com/p/em03.html>. Consultado. 10/06/2007

Frye, A. El algodón en fertilización de cultivos en clima cálido. Barranquilla. Monomeros Colombia Venezolanos p. 33.

Gallardo, L., J. F. 1994. Dinámica de decomposición orgánica en sistemas conservacionistas. En: Memorias VII Congreso de la Ciencia del Suelo. Pág 31 – 37.

Garcia, I. 1999. Contaminación de suelos por fertilizantes. [Htt//edafología.ugr.es/conta/tema00/home.htm](http://edafología.ugr.es/conta/tema00/home.htm).

Gianinazzi, S., Dexheimer, J. 1988. Recherche sur les mecanismes intervenant dans les interactions symbiotiques plante-champignon endomycorrhizogènes VA. *Cryptog. Mycol* 9 ; 201-209.

Giller K. E. and Wilson K. J. 1991. Nitrogen fixation in Tropical Cropping Systems. CAB International, Wallingford.

Goldstein A.H. 1994. Involvement of the quinoprotein glucose dehydrogenase in the solubilization of exogenous phosphate by gram-negative bacteria In: Torriani Gorini A. Yagil E. Silver S. editors Phosphate in Microorganisms: Cellular and Molecular Biology. Washington,DC: ASM Press 197-203.

Gómez, Z. J. 2000. Abonos Orgánicos. 107 p. ISBN: 958-33-1520-6

Harley, J., Smith, S. 1983. Mycorrhizal symbiosis. Academic London. 216 p.

Hayman, D. 1983. The physiology of vesicular arbuscular endomycorrhizal symbiosis. *Can J. Bot.* 61: 944-963.

Higa, T., Parr, J. 1994. Microorganismos Benéficos y Eficaces para una agricultura y Medio ambiente sustentable. Consultado 21/03/2007 <http://em.iespana.es/manuales/manuales.html>

Kononova, M. M. 1982. Materia Orgánica del Suelo. Su naturaleza, propiedades y métodos de investigación. Oikos-tau, S.A. Ediciones. 347 p. ISBN: 84-281-0496-1981.

MIRAT, 2006. Fertilizantes. www.mirat.net/fertilizantes/nutricion/recomendadoabono.htm.

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

Morton, J.B., G.L. Benny, 1990. Revised classification of arbuscular mycorrhizal fungi (*Zygomycetes*): a new order, *Glomales*, two new suborders, *Glomineae* and *Gigasporineae*, and two new families, *Acaulosporaceae* and *Gigasporaceae*, with an emendation of *Glomaceae*. *Mycotaxon*. 37 : 471-491

Olivares, J ; Barea J.M. 1991. Fijación y movilización Biológica de nutrientes, fijación superior de N y Micorrizas. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid 1991.

Parra Y. & Cuevas Cuevas, F. 2001. Potencialidades de *Azospirillum* como inoculante para la agricultura. *Cultivos Tropicales* Vol. 23 No. 3:31-41.

Plautz, M. 1988. Photosynthesis of salt-stressed maize as influenced by Ca:Na ratios in the nutrient solution. *Plant and Soil* 105: 283-286.

Primavesi, A. 1982. Biología del suelo. En: Manejo Ecológico del suelo, la agricultura en regiones tropicales. Librería "El Ateneo". Buenos Aires Argentina. 123-145.

Ramirez, M., Roveda, G. 2006. Biofertilizantes: Alternativa para Producción Sostenible y Competitiva. Bogota, 2006.

Ramírez M, Rozo L, Corredor, Roveda G, Reyes A. M. 1998. Ensayos de campo para la evaluación de tres cepas de *Rhizobium leguminosarum* en cultivos comerciales de arveja. Memorias IX Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo. Manejo de Suelos e Impacto Ambiental. Paipa, 1998

Rizobacter 2001. Inoculación de semillas de trigo con Rizofos. WWW. Rizobacter.com/ar/esp.

Rodríguez, H. & Fraga, R. 1999. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion.

Salisbury, F. & Ross, C. 1994. Nutrición mineral. En: Fisiología Vegetal. Grepe, N. (Ed). Grupo editorial Iberoamerica S.A. Mexico. 127-148 pp.

Rosendahl, S., Dodd, J.C. Walker, C., 1994. Taxonomy and phylogeny of the Glomales. In: Impact of arbuscular mycorrhizas on sustainable agriculture and natural ecosystems. S.Gianinazzi & H.Schhepp (eds). pp. 1-12. Birkhäuser, Basel

Sánchez de Prager, M, 1999. Endomicorrizas en Agroecosistemas Colombianos. Universidad Nacional de Colombia. Palmira, Colombia. pg. 25-92.

Serralde, A.M., Corredor, G.A., Roveda, G., Ramirez, M. 2003. Biofertilizantes Rizobianos. Alternativa para manejo sostenible de cultivos de soya.

Smith, S. 1980. Micorrizas of autotrophic higher plants. Biol. Rev. 55: 475-510.

Smith, S. 1985. Activity of glutamine synthetase and glutamate dehydrogenase in *Trifolium subterraneum* L. And *Allium cepa*. L. Effects of mycorrhizal infection and phosphate nutrition. New Phytol. 99:211-227.


Smith S E, Gianinazzi-Pearson. 1988. Physiological interactions between symbionts in vesicular-arbuscular mycorrhizal plants. Ann. Rev. Plant Physiol. & Plant Mol. Biol. 39:221-244.

Smith S E, Read D J. 1997. Mycorrhizal Symbiosis. 2nd ed. Academic Press, London.605p.

Sylvia, D.M. and A.G. Jarstfer, 1994. Production of inoculum and inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi. In : Management of mycorrhizas in agriculture, horticulture and forestry. Robson, A.D. et al. (Ed) Kluwer, Dordrecht, pp 231-238

Sylvia, D.; Fuhrmann, J.; Hartel, P. and Zuberer, D. 1999. The Significance of Biological Nitrogen Fixation. In: Principles and Applications of soil microbiology. Stewart, Ch. (Ed.). Prentice Hall Inc. U.S.A. pp. 297-318.

Souza, A., E. Escalante, Ana M. Noguez, Laura Espinoza, René Cerritos y Luis E. Eguiarte. 2005. La ecología microbiana: una nueva ciencia para un nuevo siglo. Pp. 107-134. En: I. Rosas, A. Cravioto y E. Ezcurra (compiladores). Microbiología Ambiental. Semarnat, INE y PUMA-UNAM, México, D.F., México.



**Manejo ecológico de la
entomofauna asociada a los
cultivos frutales y hortícolas**

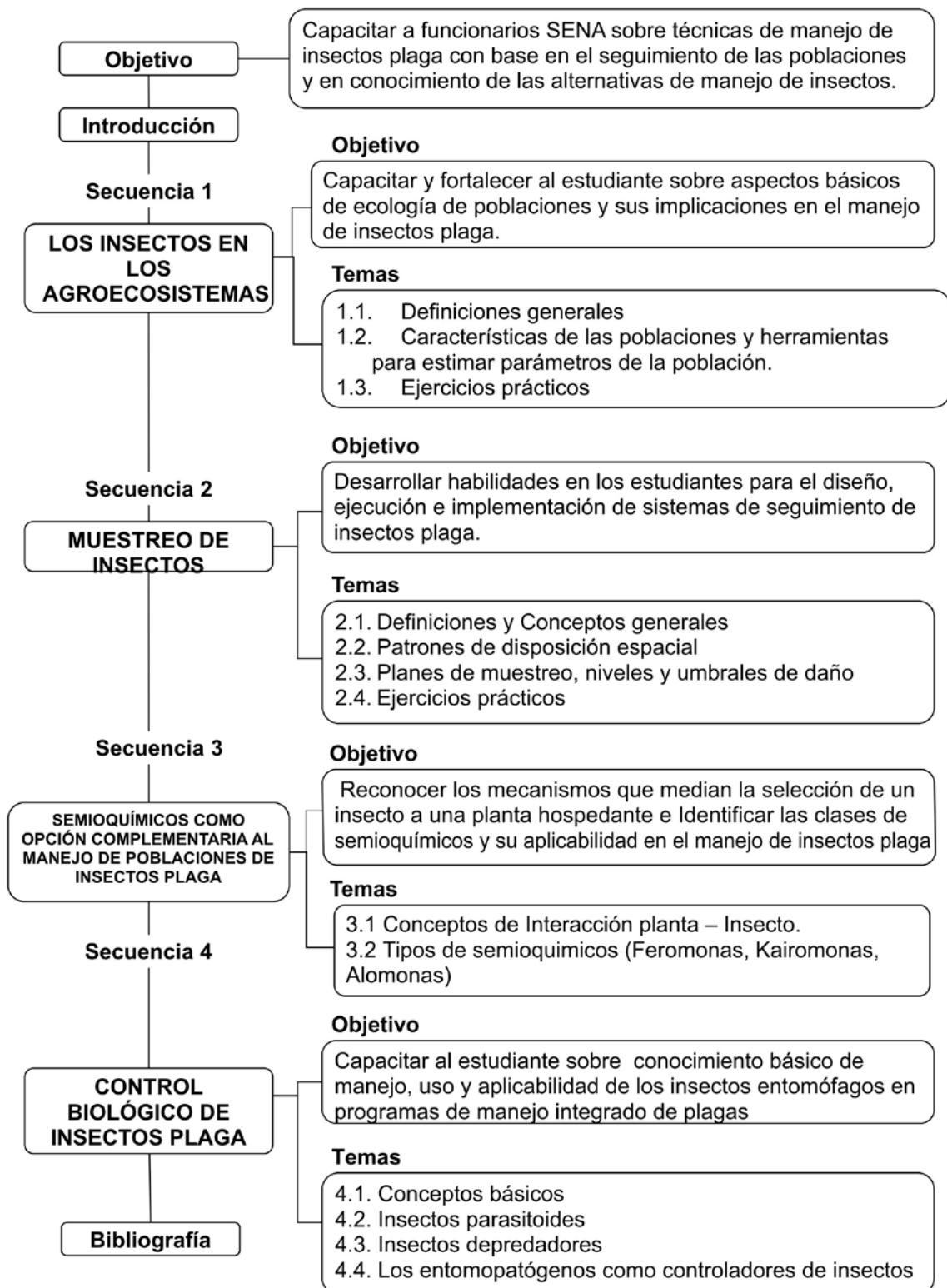
**MÓDULO
3**

María Denis Lozano Tovar
Ingeniera Agrónoma, Master en Microbiología Industrial
Investigadora C.I. Corpoica Nataima
email: mlozano@corpoica.org.co

Javier García González
Ingeniero Agrónomo, Master en Entomología
Investigador C.I. Corpoica Tibaitatá
email: jgarcia@corpoica.org.co

FLUJOGRAMA PARA EL ESTUDIO DEL MODULO 3

MANEJO ECOLÓGICO DE LA ENTOMOFAUNA ASOCIADA A LOS CULTIVOS FRUTALES Y HORTÍCOLAS



SECUENCIA I

LOS INSECTOS EN LOS AGROECOSISTEMAS

CONTENIDO

- I.1. Definiciones generales
- I.2. Características de las poblaciones y herramientas para estimar parámetros de la población
- I.3. Herramientas para estimar parámetros de la población
- I.4. Ejercicios prácticos

CONTENIDO

Capacitar y fortalecer al estudiante sobre básicos de ecología de poblaciones y sus implicaciones en el manejo de insectos plaga.

INFORMACIÓN

I.1. Definiciones generales

Cuando se habla de los insectos en los agroecosistemas y del efecto que estos pueden ocasionar en los sistemas productivos, se hace necesario aclarar algunos conceptos que permiten desarrollar a plenitud las interacciones que se presentan entre los insectos plaga y los sistemas en los cuales ellos actúan. Para ello se deben definir los componentes particulares, así como los generales.

Elemento: Unidades que conforman la población. En planes de muestreo se refiere a aquellas unidades sobre las cuales se desea conocer cierta información específica denominada **“Variable de análisis”** o simplemente **“variable”**.

Población: Una población de insectos es un grupo de individuos que poseen una estructura limitada en el tiempo y en el espacio. Los individuos de la población tienen la capacidad de reproducirse entre sí.

Comunidad: Interacción que se presenta en un ambiente dado entre individuos de diferentes poblaciones la habitan. Ej.: Comunidad de animales presentes en un bosque.

Ecosistema: Ensamblaje de elementos, poblaciones, comunidades y ambientes físicos.

En este último orden de ideas, se hace necesario definir las características de los Agroecosistemas así como de las poblaciones de insectos los cuales permiten tener mayor claridad de las interacciones que se presentan entre ellos.

- Un agroecosistema se caracteriza por que a menudo carecen de continuidad temporal, ocasionando cambios abruptos, es dominado por plantas seleccionadas por el hombre, presenta poca diversidad de especies, genéticamente uniformes. Presenta estructuras vegetativas uniformes (tipos y edades similares). Los nutrientes

son introducidos al agroecosistema. son plantas suculentas y frecuentemente presenta explosiones de insectos, enfermedades y malezas.

Estas características se reflejan en las explosiones de la población de insectos, patógenos y arvenses, las cuales ocasionan serios daños en las etapas productivas de los cultivos.

1.2. Características de las poblaciones

El principal objetivo de la ecología de poblaciones es explicar la dinámica de los insectos en el tiempo y en el espacio. La interacción entre ambiente e insectos, resulta en un número dado de individuos y debido a que estos están cambiando, el número de insectos también es cambiante. Para entender la dinámica de las poblaciones, es necesario conocer las características de las poblaciones y analizar cada uno de sus componentes los cuales se discutirán en los siguientes párrafos.

- **Densidad.** Esta definida como el número de Individuos/unidad de medida o volumen. En muchos casos resulta impracticable obtener estimativos de la densidad absoluta o total de una población, y más bien se recurre a la densidad relativa de la población, la cual determina la cantidad de individuos por un área determinada. Ej.: insectos por foliolo, estructuras reproductivas del hongo por cm²
- **Dispersión.** Arreglo espacial (Patrones de disposición espacial). Corresponde a la forma como los individuos de una población se ubican en un espacio determinado. Este arreglo espacial, presenta tres patrones, los cuales se diferencian por la relación entre estado fenológico del cultivo Vs infestación con el organismo plaga y el avance en la densidad de población del organismo plaga. Estos patrones se reconocen como Aleatorio que es el momento de invasión de un organismo al cultivo, Agrupado que corresponde al momento de crecimiento de la población del organismo y Uniforme que corresponde al momento en que el espacio se encuentra completamente ocupado por el organismo plaga, por lo que este migra a otras áreas.
- **Natalidad.** Característica de la población que en insectos es medida por la cantidad total de huevos (Fecundidad Potencial) o la cantidad de huevos puestos por hembra (Fecundidad real) por unidad de tiempo. Otra variable empleada en la medida de natalidad en una población es la Fertilidad, que corresponde al nivel real de nacimientos en la población.
- **Mortalidad.** Corresponde al número de individuos que mueren por unidad de tiempo. En una población sobre esta característica actúan factores naturales como enemigos naturales, clima o factores introducidos como la aplicación de medidas de manejo en el caso de los insectos plaga.
- **Movimiento.** Dos de los conceptos involucrados en el movimiento de los insectos tiene que ver con la inmigración y la emigración de los insectos desde y hacia ciertas áreas específicas. Estos conceptos pocas veces se miden, pero al igual que los conceptos mencionados en los numerales 3 y 4 son comportamientos que aportan al crecimiento y disminución de las poblaciones. Se ha demostrado en muchas ocasiones que la principal causa de cambios drásticos en la dinámica de las poblaciones se pueden presentar por las características mencionadas.
- **Distribución edades.** O composición de poblaciones, considera a las poblaciones que no está compuestas por un conjunto de individuos idénticos, pero se tiende a olvidar la heterogeneidad cuando se estudia la densidad de las poblaciones. En esta característica, entonces, se hace necesario conocer el sexo y la edad de los individuos de la población en un momento dado.
- **Forma de crecimiento.** En organismos y en general en insectos plaga, se presentan dos estrategias de crecimiento, estrategia **r** y **k**. La estrategia de crecimiento **r** (Fig. 1) se presenta en insectos con altas tasas reproductivas

y bajas tasas de sobrevivencia, son de tamaño pequeño y se menciona que el modelo no presenta limitante alguna para el crecimiento de la población. Finalmente, esta estrategia será directamente proporcional al tamaño que tiene la población en un momento dado y que dicho factor de proporcionalidad está representado por la tasa intrínseca de crecimiento natural.

Por su parte la estrategia de crecimiento **k** corresponde a insectos de tamaño grande, se menciona que existen limitantes de recursos que evitan el crecimiento indefinido de la población el cual está representado por su misma densidad. En este sentido, se menciona que la velocidad de crecimiento de la población es proporcional a la fracción no usada o disponible de la capacidad de mantenimiento del ambiente. Es decir, la población crece de manera exponencial con tasa igual a la tasa intrínseca de crecimiento natural. A medida que la población crece, el factor que afecta a la tasa de crecimiento exponencial se va haciendo cada vez más una fracción más pequeña, hasta que la población deja de crecer y se mantiene constante en su valor asintótico.

1.3. Herramientas para estimar parámetros de la población

Cuando se dejan de lado las entradas y salidas de individuos en una población por procesos de inmigración o emigración, los cambios en el tamaño de una población animal se deberán exclusivamente a los procesos de nacimiento y muerte. En este contexto y con el antecedente mencionado, cuando se combinan las funciones de sobrevivencia y fecundidad específico por edades, se pueden estimar parámetros de la población que son de gran

utilidad para tipificar y caracterizar una población animal. Entonces, los parámetros que se pueden estimar de las funciones mencionadas son la tasa neta de reproducción o tasa de reemplazo (R_0), el tiempo generacional (T_g) que representa el tiempo promedio entre dos generaciones sucesivas y la tasa intrínseca de crecimiento natural (r) o tasa de multiplicación como parámetro de gran importancia en estudios de dinámica de poblaciones de insectos, la tasa finita de multiplicación (λ) o número de individuos que se agrega a la población por individuo y por unidad de tiempo.

Los individuos en una población cambian debido al crecimiento y desarrollo. El crecimiento de una población depende de la composición de la población en términos de número de individuos en diferentes clases de edades o tamaño y sus características. El análisis matemático del crecimiento de la población de una edad o tamaño estructurados, inicia con la construcción de una tabla de vida. En ellas, un grupo de individuos o cohorte, es seguido desde su nacimiento hasta su muerte. En la clase $x=0$, el estudio inicia con n_0 individuos. Después de ciertos intervalos de tiempo (x) el número de individuos vivos (n_x) y el número de individuos nacidos (m_x) es registrado. A partir de estos datos se estiman la sobrevivencia (l_x), la tasa neta reproductiva (R_0), el tiempo generacional (T_g) y finalmente la tasa intrínseca de crecimiento (r).

1.4. Ejercicios Prácticos

Construir la tabla de vida para hembras de *Myzus persicae* en lechuga sembrada bajo invernadero, a partir de los datos de sobrevivencia y nacimientos registrados para una cohorte de individuos.

tiempo	Hembras vivas/fecha (n)	Fracción vivos/ fecha (lx)=nx/no	Ninfas producidas	Ninfas producidas madre-día mx=ninfas/n	lx *mx	Ro= suma (lx *mx)	x*lx *mx	Tg= Suma ((x*lx*mx)/Ro)	r= ln(Ro)/Tg
0	30		0						
5	29		242						
10	28		230						
15	25		123						
20	20		45						
25	14		22						
30	8		12						
35	0		0						

Solución: De acuerdo con los enunciados de las columnas, los valores calculados para cada celda serán:

tiempo	Hembras vivas/fecha (n)	Fracción vivos/ fecha (lx)=nx/no	Ninfas producidas	Ninfas producidas madre-día mx=ninfas/n	lx *mx	Ro= suma (lx *mx)	x*lx *mx	Tg= Suma ((x*lx*mx)/Ro)	r= ln(Ro)/Tg
0	30	1,000	0	0,000	0,000		0,000		
5	29	0,967	242	8,345	8,067		40,333		
10	28	0,933	230	8,214	7,667		76,667		
15	25	0,833	123	4,920	4,100		61,500		
20	20	0,667	45	2,250	1,500	22,4667	30,000	10,631	0,748
25	14	0,467	22	1,571	0,733		18,333		
30	8	0,267	12	1,500	0,400		12,000		
35	0	0,000	0	0,000	0,000		0,000		

SECUENCIA 2

MUESTREO DE INSECTOS

CONTENIDO

- 2.1. Definiciones y Conceptos generales
- 2.2. Patrones de disposición espacial
- 2.3. Planes de muestreo, niveles y umbrales de daño
- 2.4. Ejercicios prácticos

CONTENIDO

Desarrollar habilidades en los estudiantes para el diseño, ejecución e implementación de sistemas de seguimiento de insectos plaga.

INFORMACIÓN

2.1. Definiciones y conceptos generales

- **Muestreo:** Inferencia sobre características de una población a partir de la medición de las variables en algunos individuos de la población. Una muestra apropiada es aquella que proporciona una estimación, o valor muestral tan cercano como sea posible al valor que se habría obtenido si se hubiera medido toda la población. Es allí donde la selección de los individuos de la unidad es un factor clave para la obtención de datos confiables que reflejen el tamaño de la población en un momento dado.
 - **Precisión:** es una medida de que tan cerca se puede esperar que una estimación se aproxime a su valor esperado.
 - **Exactitud:** es una medida que cuantifica que tan cerca se puede esperar que una estimación se aproxime a la cantidad que esta siendo estimada
 - **Sesgo:** Es la diferencia entre el valor estimado por un estimador y la cantidad que esta siendo estimada.
 - **Densidad de población:** La densidad esta definida como el número de individuos por unidad de área o volumen. La población tiene diferentes características de grupo, que son medidas estadísticas no aplicables a los individuos, de las cuales una de las más importantes a considerar es el tamaño o densidad. En esta variable los parámetros de natalidad e inmigración (como factores positivos) y mortalidad y emigración (como factores negativos) como características principales, contribuyen directamente al tamaño de la población.
- En general los ecólogos de poblaciones se ven forzados a evaluar el tamaño de la población mediante Técnicas de muestreo, es decir, recurre a estimar el verdadero tamaño de la población en

base a una enumeración incompleta de los individuos (o sus productos) que componen la población total. Existen algunos sistemas productivos, en los que se realiza la observación a toda la población, lo cual implica tiempo y recursos, permitiendo un estimativo real de la misma ya que se tiene registro de todos los individuos que componen la población. En estos casos se habla de “censos” que consisten en el conteo o enumeración completa de los animales sobre un área específica en un momento dado o en un intervalo de tiempo dado para un punto específico del espacio.

En el caso específico de los insectos es necesario conocer muy bien el organismo que se irá a muestrear, por lo que se hace indispensable tener información detallada de su ciclo de vida, longevidad, hábitos, temperaturas a las que se adaptan, hospederos, enemigos naturales, estados nocivos y su respuesta a factores bióticos y abióticos. Todos estos factores influyen en el muestreo de dichos organismos y los resultados confiables que se puedan generar allí.

Otro factor que afecta el muestreo de organismos está dado por los efectos metodológicos, instrumentales y personales que involucran al observador o recolector de la muestra, la técnica de colección y la variabilidad en la respuesta de los organismos.

2.2. Patrones de disposición espacial

Las variables que se consideran cuando se realizan muestreos, se relacionan específicamente con las densidades de población del insecto, las cuales en muchas ocasiones desconocen un factor secundario de importancia que afecta la toma de la muestra y por consiguiente el estimativo de la población, la disposición espacial de los individuos.

Antes de definir los diferentes tipos de arreglos espaciales, hay que considerar ciertas condiciones del espacio y los organismos que hacen que se presenten tres situaciones: cuando el hábitat es discontinuo el cual hace que los organismos están

confinados a sitios habitables discretos, cuando el espacio habitable es continuo en el cual se trata de los casos en que prácticamente todo el hábitat ofrece posibilidades para la presencia de los organismos, finalmente cuando el hábitat es continuo y los organismos no están claramente delimitados individualmente como el caso de plantas que se reproducen asexualmente y no se puede determinar donde comienza ni donde termina un individuo.

Con los antecedentes mencionados los tipos característicos de arreglo o disposición espacial, se analizan a continuación:

- **Disposición Aleatoria.** El arreglo más simple de los organismos en el espacio es el de la disposición al azar. Las hipótesis ecológicas para aceptar que los organismos se encuentran dispuestos al azar son dos: todos los organismos en el espacio tienen la misma probabilidad de ser ocupados por un organismo, y la presencia de un individuo en un cierto punto en el espacio no afecta la ubicación de otro individuo. En este sentido se menciona que los estimadores de la población Promedio (\bar{x}) y varianza (s^2) son iguales.
- **Disposición Agregada o agrupada.** Este tipo de disposición se presenta cuando la supervivencia y el comportamiento de los individuos no se mantiene constante. Si los factores varían de manera irregular pero dentro de límites compatibles con la supervivencia, se tendrán zonas donde las condiciones se acercarán al óptimo y la concentración de individuos es mayor, zonas de condiciones intermedias, donde el número de individuos también será intermedio y finalmente zonas con condiciones cercanas al mínimo de compatibilidad con la supervivencia, donde el número de individuos es nulo o cero.
- **Disposición uniforme o regular.** Se presenta cuando el medio donde están presentes los individuos de la población es perfectamente constante a lo largo del espacio y los individuos presentan entre sí una interacción negativa. En general dicha interacción toma la forma

de competencia entre los individuos de la población por un cierto recurso, que a veces es el espacio propiamente dicho, y en otras ocasiones alimento, el cual está directamente representado por el espacio.

En términos numéricos el tipo de dispersión de una población o de una muestra de la población se puede establecer por los denominados índices de dispersión. Existen diferentes índices de dispersión que pueden ser estimados a partir de muestras de la población tales como el índice de relación varianza-media, media de agregación de Lloyd, índice de Lloyd, índice de agregación de morisita y parámetro k de la distribución binomial negativa entre muchos otros. De ellos uno de los más sencillos de calcular se relaciona con el índice de relación varianza-media el cual se define por la (ec. 1):

$$I = \frac{s^2}{\bar{X}} \quad \text{Ecuación 1}$$

Si el índice I es mayor que 1, se supone que la varianza (s^2) es mayor que el promedio (\bar{x}), por lo que se espera un patrón de dispersión Agregado. Si el índice I es igual a 1, se espera que la (s^2) es igual al (\bar{x}) y se espera un patrón de dispersión Aleatorio. Finalmente si el índice I es menor que 1, se supone que la (s^2) es menor que el (\bar{x}) y se plantea un patrón de dispersión Uniforme.

2.3. Planes de muestreo, niveles y umbrales de daño

Los planes de muestreo en insectos deben considerar todos los aspectos biológicos del organismo, en los que se considere el ciclo de vida, la longevidad, los estados de desarrollo, donde habitan, a que temperaturas se adaptan, hospederos, enemigos naturales, estados nocivos y sus respuestas a factores bióticos y abióticos. Además de los aspectos mencionados, un plan de muestreo incluye la definición de varios aspectos principalmente dependientes del objeto del estudio y son los elementos, las unidades muestrales, el método de muestreo, el tiempo, el tamaño de la muestra y la toma de la muestra.

Los elementos, son aquellas unidades que conforman la población y sobre las cuales se desea información sobre cierto aspecto específico denominado “variable de análisis” o simplemente “variable”.

Las unidades muestrales, son elementos que se encuentran disponibles para ser elegidos y evaluados. Éstas deben ser uniformes, estables, fácilmente identificables, y deben suministrar información lo más precisa posible.

El tiempo, en programas de muestreo, es referido a un conjunto de elementos que deben ser considerados a los resultados diferentes que pueden causar.

El tamaño de la muestra, es el número de unidades muestrales tomadas de una población para medir la característica deseada. En ella se consideran parámetros como la variación de las unidades de muestreo (s^2), el valor medio de la característica que se desea evaluar (\bar{x}), la precisión o error máximo permisible. Considerando los parámetros mencionados, la ecuación 2 presenta un estimativo del tamaño óptimo de muestra:

$$n = \left[\frac{(t * s)}{(D * \bar{x})} \right]^2$$

Donde

n = número de muestras requeridas

= Densidad promedio

s = Desviación estandar

t = Valor t de student. Valor obtenido de tablas estadísticas (usualmente el valor de t para una probabilidad de 0.05 y el número de muestra usado para calcular el promedio.

D = Precisión requerida expresada como decimales (definida por el investigador)

Valor obtenido de tablas estadísticas (usualmente el valor de t para una probabilidad de 0.05 y el número de muestra usado para calcular el promedio.

D = Precisión requerida expresada como decimales (definida por el investigador)

Toma de la muestra, patrón espacial de muestreo dependerá de la uniformidad del hábitat y la dis-

persión de la población. En general se recomienda realizar muestreos aleatorios, es decir, cada punto de muestreo en un área tendrá igual probabilidad de ser elegido.

Una vez se define el plan de muestreo, el investigador podrá iniciar con la toma de los datos provenientes de campo, los cuales estimarán la densidad específica y la disposición espacial de los insectos en un tiempo y momentos definidos. Con ellos, el investigador tendrá conocimiento de la población de insectos en su cultivo. Pero cuando tomar la decisión de manejar una plaga? o seguir realizando muestreo?. Para ello es necesario tener un punto de referencia que permita tomar este tipo de decisiones.

Es allí donde los conceptos de Nivel de daño económico (NDE) y umbral económico (UE) son importantes, pues permiten proponer el tipo de decisión a seguir en el manejo del insecto plaga de acuerdo con la comparación de la densidad de población estimada mediante muestreo y el NDE definido para el insecto plaga. Estos niveles son únicos en el sentido que ellos tienen involucrados en su concepto atributos biológicos y económicos (Pedigo, 1996).

El concepto de NDE es definido como el menor número de insectos que causará daño económico, o el menor número de insectos que reducirá el rendimiento en igual medida al umbral de ganancia. Aunque expresado como número de insectos por unidad de área, este concepto realmente implica un nivel de daño. Debido a que el daño en condiciones de campo es difícil de medir, el número de insectos por área es empleado como un índice de ese daño.

$$NDE = \frac{C}{V * I * D * K}$$

NDE= Nivel de daño económico

C = Costo de manejo por área (ej: \$/ ha)

V = Valor en el mercado por unidad de producción (ej: \$ / bulto)

I = Unidades de daño por insecto por unidad de

producción (ej: % defoliación/ insecto/ ha)

D = Daño por unidad de lesión (ej: bultos perdidos / ha / % defoliación)

K = Proporción de reducción en el potencial de lesión o daño (ej: 0.8 para 80% de reducción. Definido por el investigador)

Por otro lado el umbral económico (UE), es probablemente el término mejor conocido y el más ampliamente empleado en conceptos de toma de decisiones de manejo de plagas. Este concepto indica el número de insectos (densidad o intensidad) que debería implicar una acción de manejo. Por ello, el (UE) es denominado en ocasiones “Umbral de acción”. Aunque es expresado en número de insectos, el UE es realmente un parámetro de tiempo con número de plagas usado como un índice cuando se implementa un manejo. Los UE pueden ser fijos, cuando se considera un solo valor de NDE fijo.

Si la tasa de crecimiento de la población plaga es conocida, un UE más objetivo, denominado UE descriptivo, puede ser calculado. A diferencia del UE fijo, el UE descriptivo toma en consideración posibles cambios en la tasa de crecimiento de la población del insecto plaga y puede ser calculado por medio de la ecuación 3:

$$UE = NDE * C^{-x}$$

Donde

UE = Umbral económico

NDE = Nivel daño económico

C = factor de incremento de la población de la plaga por unidad de tiempo (ej: 0.5 individuos / semana)

x = Período de tiempo en cuestión expresado en las mismas unidades de tiempo del factor C (ej: en el caso arriba mencionado, semanas)

2.4. Ejercicios prácticos

A partir de un muestreo preliminar, se tomaron datos de larvas presentes en plantas de papa en una finca de 5 ha en la sabana de Bogotá. Con la información registrada calcular:

a-) Promedio de adultos, Varianza y desviación estandar, Tipo de Dispersión del insecto, Numero de muestras a tomar $t(n, 0.05) = 2.131$

b-) Estimar el NDE considerando las siguientes variables económicas

Producción: 6 ton/ha costo de manejo de la plaga \$500.000 /ha

Precio por bulto de papa: \$50.000

Consumo de larva/tubérculo: 1 g

Peso de tubérculo 10 g

Peso bulto: 50 kg

Se busca reducir el daño en un 90%.

Solución:

Promedio = 45.64

Varianza = 1126.09

Desviación estandar = 33.56

Índice dispersión = 24.57. Patrón de dispersión agregado.

Muestras a tomar

$$n = \left[\frac{(t^* s)}{(D * \bar{x})} \right]^2$$

n = 4

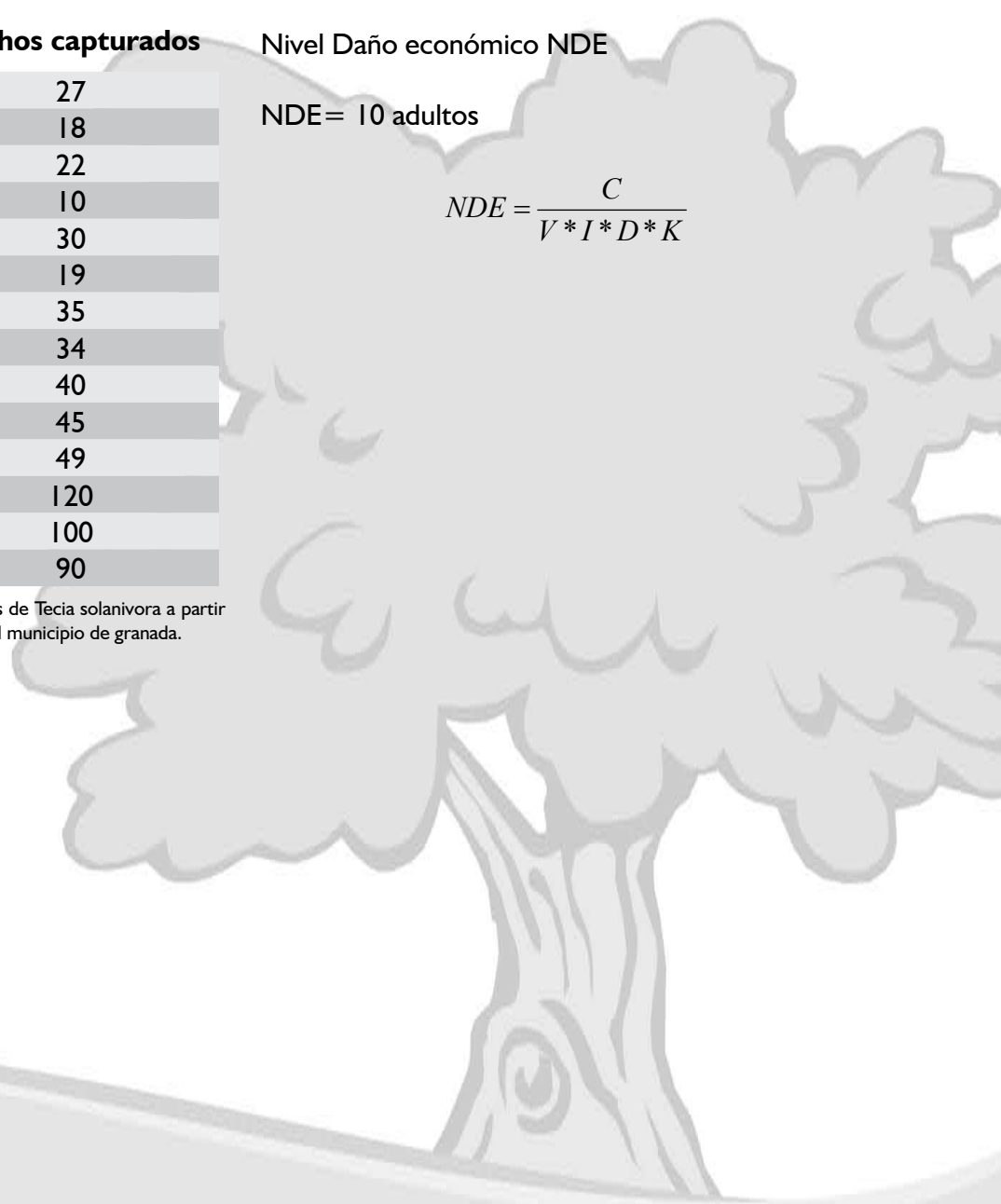
Muestra	Machos capturados
1	27
2	18
3	22
4	10
5	30
6	19
7	35
8	34
9	40
10	45
11	49
12	120
13	100
14	90

Nivel Daño económico NDE

NDE= 10 adultos

$$NDE = \frac{C}{V * I * D * K}$$

Tabla 1. Datos tomados de captura de machos de *Tecia solanivora* a partir de un muestreo realizado en una finca en el municipio de granada.



SECUENCIA 3

SEMIOQUÍMICOS COMO OPCIÓN COMPLEMENTARIA AL MANEJO DE POBLACIONES DE INSECTOS PLAGA

CONTENIDO

- 3.1. Conceptos de Interacción planta – Insecto.
- 3.2. Tipos de semioquímicos (Feromonas, Kairomonas, Alomonas)

CONTENIDO

Reconocer los mecanismos que median la selección de un insecto a una planta hospedante e identificar los tipos de semioquímicos y su aplicabilidad en el manejo de insectos plaga

INFORMACIÓN

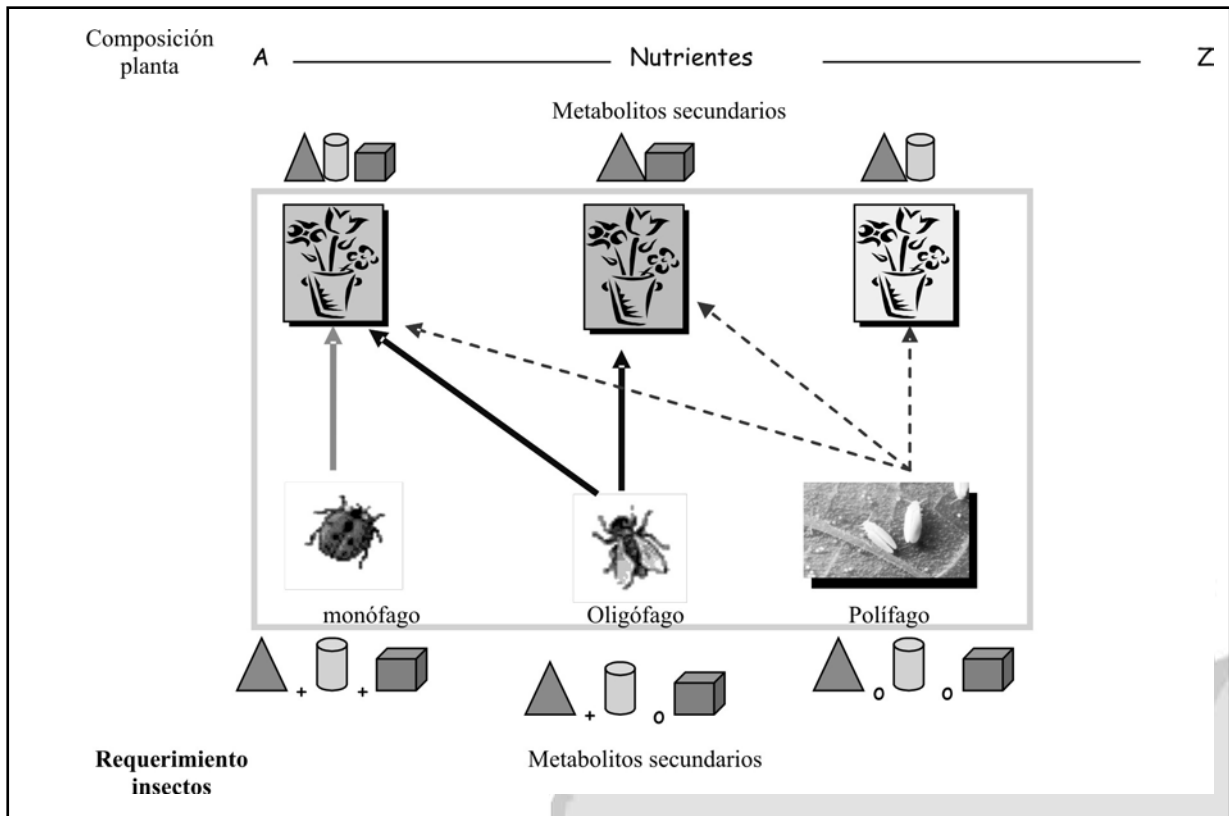
3.1. Interacción insecto – planta

De las cerca de 800.000 especies de insectos descritos, cerca del 50% de especies se alimentan de tejidos de las plantas vivientes y son los denominados herbívoros o fitófagos. Por definición estas especies pueden macerar los tejidos de las plantas o embibir la savia de las plantas, y poseen la capacidad de utilizar los tejidos de las plantas como su única fuente de alimento.

Una notable característica de los insectos herbívoros es que muchas especies son selectivas con su alimento y seleccionan las plantas sobre las que dejan su descendencia meticulosamente. Tres categorías de especialización son reconocidas: Monófagos y oligófagos denominados insectos “especialistas” y polífagos a los denominados insectos “generalistas”. La fig. 4 ilustra de manera sencilla las interacciones que se presentan entre insectos con los diferentes hábitos alimenticios y las plantas de acuerdo a su perfil fitoquímico.

En el proceso de encuentro de una planta hospedante por parte del insecto, diferentes fases consecutivas pueden ser consideradas. La selección supone una situación espacial de selección mientras que es difícil determinar si el insecto experimenta tal situación de selección debida a las pequeñas dimensiones de su cuerpo.

Las estrategias de comportamiento en insectos herbívoros al momento de buscar una planta, están dadas por categorías de búsqueda aleatoria, Kinesis y taxis. Desde la **distancia**, claves visuales y olfativas parecen ser empleadas en insectos diurnos, mientras que el olfato parece ser el principal sentido que media en insectos nocturnos. Una vez el insecto entra en **contacto** con la planta, un abordaje ocurre y una fase intensificada de prueba y evaluación del sustrato son desplegadas. Información química sensorial y mecánica acerca de la calidad de la planta es ejecutada y evaluada, antes que la decisión de ovipositar sea tomada.



El creciente conocimiento de las características químicas de las plantas que son importantes para los insectos en su búsqueda y evaluación del potencial de la planta como hospedera, son relevantes para la protección de cultivos y el mejoramiento de plantas. Los volátiles de las plantas que actúan como atrayentes pueden ser empleados para atrapar herbívoros y deterrentes para evitar la colonización por parte del insecto. Estos mecanismos pueden ser desarrollados por aplicaciones exógenas o por mejoramiento genético para menores niveles de atracción y estimulantes o mayores niveles de repelencia o deterrencia.

3.2. Semioquímicos

Muchos de los comportamientos de los insectos son mediados por los químicos y su ambiente. Para convertir estos químicos a favor de la producción de cultivos, es posible atraer los insectos plaga a trampas o cebos, o repelerlos de los sitios de interés. Los mensajes de comportamiento son liberados por un amplio rango de compuestos químicos. Este tipo de compuestos en su conjunto

Figura 4. El uso de nutrientes y metabolitos secundarios de plantas en la aceptación de hospedero por insectos monófagos, oligófagos y polífagos. Se asume que las plantas son similares en su contenido nutricional. Las plantas poseen diferentes perfiles fotoquímicos representados por la combinación de figuras geométricas (Triángulo, cilindro, cubo). Los insectos monófagos solo aceptan plantas que tienen el perfil completo; solo una planta satisface este requerimiento en el diagrama. Los insectos oligófagos son especies intermedias y los polífagos aceptan plantas que tienen a menos un componente fotoquímico (en el diagrama todas las plantas satisfacen este requerimiento). Las plantas pueden o no estar taxonómicamente relacionadas. (Tomado de van Loon, 2004).

son denominados Semioquímicos. Funcionalmente los semioquímicos pueden tener un amplio rango de actividad. Ellos pueden servir como atrayentes o repelentes, pueden estimular o inhibir la alimentación, pueden provocar el vuelo o inhibirlo, o simplemente pueden elicitar patrones de comportamiento inapropiados en tiempos inapropiados.

Los semioquímicos, de acuerdo con el nivel de comunicación que se presenta entre organismos de la misma especie o dentro de organismos de la misma especie, pueden ser clasificados en fer-

omonas o aleloquímicos respectivamente. Estos últimos de acuerdo con el tipo de respuesta que presentan sobre los organismos emisor o receptor, pueden ser divididos en alomonas, kairomonas o sinomonas.

Las **feromonas** son tal vez los semioquímicos más estudiados y corresponden a las sustancias secretadas por un individuo para ser recibidas por un segundo individuo de la misma especie, provocando reacciones específicas o un proceso específico también definido. Los tipos de feromonas reconocidos son sexuales, de agregación, de alarma y marcadoras de camino. De ellas las feromonas sexuales han sido empleadas como herramienta de seguimiento de poblaciones de insectos plaga, pero también como herramienta de manejo de insectos mediante el método de confusión.

Las **alomonas** son definidas como informaciones químicas de un organismo 1 que en contacto con un organismo 2, perteneciente a otra especie, provocan en el receptor una respuesta de comportamiento o fisiológica favorable o adaptativa al organismo 1 y no al organismo 2. Ejemplos típicos son las sustancias de defensa emitidas por los insectos.

Las **kairomonas** son definidas como unos aleloquímicos de un organismo 1 que en contacto con un organismo 2 de otra especie, provocan en el receptor una respuesta adaptativamente favorable al organismo 2, pero no al organismo 1. Son muchos los ejemplos de estas sustancias, principalmente las que involucran a los insectos parasitoides.

Las **sinomonas** son aleloquímicos pertenecientes a un organismo 1 que cuando están en contacto con un organismo 2, de otra especie, provoca en el receptor una respuesta de comportamiento o fisiológica adaptativamente favorable a ambos organismos. Ejemplo de este tipo de compuestos es el volátil emitido por las crucíferas para atraer un parasitoide de áfidos en este cultivo.

Las plantas se pueden defender de los insectos herbívoros, atrayendo a sus enemigos naturales por

la liberación de compuestos volátiles de las hojas (Sinomonas). Esta defensa indirecta puede ser inducida por el daño causado por el herbívoro. Aun así, observaciones de comportamiento muestran que una respuesta de los enemigos naturales a las sinomonas es afectada por la especie de planta, cultivar y experiencia del enemigo natural.

En muchos casos, ha sido demostrado que los parasitoides prefieren plantas que hayan sido dañadas por su hospedero o cuando son dañadas artificialmente. Estudios detallados sobre la composición química de los volátiles liberados por el complejo planta – herbívoro demuestran que los volátiles difieren en cantidad y número de compuestos. En plantas de trigo atacadas por insectos ocurre una gran liberación de compuestos tipo terpenoides. En este caso, las sinomonas además de atraer a los parasitoides y depredadores pueden actuar como repelente de otros herbívoros.

La idea más antigua de la aplicación de los aleloquímicos que favorece el comportamiento de forrajeo de los enemigos naturales, es identificar y sintetizar los compuestos químicos y aplicarlos en campo. Esta práctica ha tenido poco éxito para las especies de parasitoides, sin embargo algunos trabajos recientes han presentado resultados satisfactorios. Otro método de aplicación de los compuestos es aumentar el comportamiento de forrajeo de los parasitoides y utilizar cultivares de plantas que puedan ser incorporados por la planta mediante ingeniería genética, que aumente la producción de sinomonas cuando las plantas se vean afectadas por los insectos plaga.

En enemigos naturales la manera más frecuente y sugerida para la aplicación de los semioquímicos con el fin de aumentar el comportamiento de forrajeo de los enemigos naturales es a través de la técnica de **aprendizaje**. El método consiste en aumentar la respuesta del enemigo natural al estímulo brindado por el hospedero – presa y colocar al enemigo natural en contacto con el estímulo antes de su liberación.

SECUENCIA 4

CONTROL BIOLÓGICO DE INSECTOS PLAGA

CONTENIDO

- 4.1. Conceptos básicos
- 4.2. Insectos parasitoides
- 4.3. Insectos depredadores

CONTENIDO

Capacitar al estudiante sobre conocimiento básico de manejo, uso y aplicabilidad de los insectos entomófagos en programas de manejo integrado de plagas

INFORMACIÓN

4.1. Conceptos básicos

El control biológico puede interpretarse de tres formas: a) como un campo de estudio en diferentes áreas, tales como la ecología de poblaciones, biosistemática, comportamiento, fisiología y genética. b) como un fenómeno natural, casi todas las especies cuentan con enemigos naturales que regulan sus poblaciones. c) Como una estrategia de control de plagas a través de la utilización de parasitoides, depredadores y patógenos.

Como estrategia de combate de plagas, el control biológico tiene más de 100 años. El primer caso exitoso de control biológico se logró en 1889 con el caso de la escama algodonosa de los cítricos en California, después de introducir un depredador coccinellido de Australia.

Existen varias razones para que un organismo se convierta en plaga: a) al ser introducido o al invadir un área previamente no colonizada por

el organismo, b) al ser estimulado por recursos abundantes y permanentes, c) al ser liberado de factores que controlan y regulan, d) al producirse un cambio en el organismo generalmente genético y e) al producirse cambios en los hábitos y actividades de la gente. Estos organismos en los agroecosistemas se ven favorecidos por los sistemas de producción artificiales que genera el hombre y por la escasez o limitación de los factores de regulación de dichas poblaciones en el sistema.

Por ello, el concepto de regulación incluye el efecto de los factores del medio ambiente cuya acción es determinada por la densidad de población, es decir se destruye un porcentaje más alto cuando se incrementa la población y viceversa. Por ejemplo, al aumentar la densidad de una plaga, se incrementa también la disponibilidad de recurso alimenticio y sitios de reproducción del factor regulador (enemigo natural), lo que permite incrementar también su propia densidad.

Para que dichos enemigos naturales tengan efectos reguladores significativos sobre las densidades de población del insecto plaga, es necesario que éstos cumplan con ciertos atributos, dentro de los que vale la pena mencionar: adaptabilidad a los cambios en las condiciones físicas del medio ambiente, alto grado de especificidad a un determinado huésped / presa, alta capacidad de crecimiento de la población con respecto a su huésped / presa, alta capacidad de búsqueda particularmente a bajas densidades del huésped / presa, sincronización con la fenología del huésped / presa y capacidad de sobrevivir períodos en los que el huésped / presa este ausente y capacidad de modificar su acción en función de su propia densidad y la del huésped / presa.

4.2. Insectos parasitoides

Los insectos parasitoides son organismos en los que la interrelación con su huésped la realiza el adulto, los inmaduros de los parasitoides se desarrollan a expensas de los huéspedes, los adultos frecuentemente se alimentan de mielecillas, néctares o desechos orgánicos de origen vegetal o animal. Otras características que distinguen a los insectos parasitoides de otro tipo de insectos son: los adultos ubican a sus descendientes en los diferentes estados del hospedero (insectos plaga), para que se cumplan su ciclo de vida; presentan una relación estrecha con su hospedero o insecto plaga; son específicos a la especie plaga que atacan, muy pocas especies de parasitoides atacan insectos de diferentes especies y menos aún géneros; son de igual clase taxonómica, es decir, los insectos parasitoides son activos contra especies de insectos; finalmente el adulto es de vida libre y es quien tiene la función de cumplir con el efecto biocontrolador y de ubicar a su descendencia.

Dependiendo del tipo de relación entre el parasitoides y su hospedero, se pueden presentar diferentes clasificaciones de parasitismo:

- Numérico, dependiendo de la descendencia de parasitoides que emergen del huésped, este puede ser solitario (se desarrolla y sobrevive un

solo parasitoides) y gregario (se desarrolla y sobrevive más de un parasitoides).

- Por localización, dependiendo del lugar de ubicación de la descendencia sobre el hospedero éste puede ser ectoparasitoides (al exterior) o endoparasitoides (al interior).
- Ubicación en la cadena trófica, puede ser parasitoides primario, secundario, terciario etc.
- Por limitación del desarrollo de su hospedero, se denominan Idiobiontes cuando limitan instantáneamente el normal desarrollo del huésped con el proceso parasítico. Se denominan Koinobiontes, cuando por efecto del proceso parasítico el huésped sigue su desarrollo normal, hasta un momento en el ciclo de vida del hospedero en el que muere y permite al inmaduro parasitoides completar su normal desarrollo.

Una característica de importancia en los insectos parasitoides es su capacidad de generar descendencia, sin necesidad de ocurrencia de cópula entre adultos, en el denominado concepto de partenogénesis. Este atributo es de importancia en control biológico, pues dependiendo del tipo de partenogénesis el parasitoides tiene la posibilidad de modificar la producción de su descendencia de acuerdo con las condiciones del ambiente. A su vez, esta característica es de importancia en esquemas de producción masiva del benéfico, los cuales buscan al máximo obtener individuos reproductivamente activos, en este caso mayor tendencia a obtener hembras de la especie.

4.3. Insectos depredadores

Los insectos depredadores son otro grupo de gran importancia en esquemas de control biológico. A pesar de las bondades que presenta este tipo de organismos, los estudios e investigaciones realizados con estos son menores a los realizados con los insectos parasitoides. Las características que diferencian a los depredadores son: Existe una relación menos estrecha entre depredador y presa, por lo que se pueden encontrar insectos con monófagos, oligófagos o polífagos; Los depredadores requieren consumir más de una presa para

completar su ciclo de vida; La hembra depredadora busca ovipositar en medio o cerca de la población de la presa para facilitar el encuentro por parte del inmaduro recién emergido; tanto larvas o ninfas como adultos del depredador cumplen con la función biocontroladora; Los depredadores no necesariamente corresponden a los mismos taxa de organismos que son atacados, como ejemplo especies de arácnidos y ácaros depredadores son un grupo importante de esta clase de organismos.

Otros órdenes de insectos con categoría de depredadores, corresponden a los coccinellidos, odonata, algunas especies de hemiptera, hymenoptera y coleoptera.

Para asegurar el éxito de los insectos entomófagos cuando son liberados en programas de manejo integrado de insectos plaga, es necesario conocer algunas características biológicas de dichos organismos, las cuales requieren de estudios tanto básicos como aplicados. Dentro de estos estudios se pueden mencionar aspectos como el conocimiento de parámetros de la población de los insectos, el efecto de la densidad de la presa/ hospedero sobre su eficiencia biocontroladora, el efecto de la densidad del benéfico sobre su capacidad de reproducción, compatibilidad con otras medidas de manejo, adaptabilidad a condiciones ambientales y muy importante desarrollo de protocolos de cría masiva y de evaluación de eficacia del insumo generado.

4.4. Entomopatógenos

El control microbiano se refiere al desarrollo de técnicas de control que involucran algún microorganismo o parte de él que causa enfermedad infecciosa. Los entomopatógenos forman parte de los factores biológicos que regulan las poblaciones insectiles en la naturaleza, se considera que uso de estos enemigos naturales es mas económico seguro y no tiene efectos negativos sobre el ambiente.

El uso de bioplaguicidas representa una alternativa ecológicamente viable para el manejo de plagas (insectos, nematodos, hongos, bacterias, malezas).

Alrededor de la década de los 70 a raíz de las crisis sentidas en muchos cultivos como el Algodón, Tomate, caña de Azúcar, por el abundante uso y mal manejo de los plaguicidas químicos, se inician en el país, la investigación, uso y producción de diferentes agentes de control biológico.

La factibilidad económica del uso de microorganismo para el control de plagas ha sido demostrada en varias investigaciones, García 1993 citado por Vergara (1994), afirma que bajo condiciones del el Valle del Cauca en el cultivo tomate se hacían 40 aplicaciones de insecticidas contra *Scrobipalpula absoluta* actualmente se utiliza *Bacillus thuringiensis* para su control con éxito. Otro ejemplo es el uso de *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* para el control de la broca del café (*Hypothenemus hampei*).

Según Cotes 1999, el control biológico mediante el uso de bioplaguicidas es una alternativa factible, ya que puede suministrar un control adecuado y además dentro de los conceptos de agricultura sostenible. En Colombia la investigación en bioplaguicidas ha sido enfocada básicamente en estudios sobre aislamiento evaluación y caracterización de microorganismos y muy poco se ha incursionado en la producción industrial por esta razón son pocos los productos generados.

Se reconoce la necesidad de establecer programas que promuevan la investigación en desarrollo y producción industrial de bioplaguicidas, es necesario implementar estudios sobre impacto ambiental de los microorganismos, mecanismos de acción implicados en la interacción microorganismo- insecto- planta-medioambiente, mejorar la infraestructura para la producción y establecer campañas educativas dirigidas hacia los agricultores y asistentes técnicos para la difusión del uso de los bioplaguicidas, Cotes 1999.

4.4.1. Algunas generalidades de los entomopatógenos

Especificidad: Existen factores intrínsecos como extrínsecos que determinan o tiene influencia so-

bre la especificidad de un hongos. Algunos hongos presentan acción entomopatogena sobre un amplio número de hospederos, *B. bassiana* parasita del mismo modo a 200 especies, de insectos, *N. rileyi* ataca principalmente a larvas de lepidópteros, algunas cepas de *M. anisopliae* aislada de coleópteros son patógenas únicamente para la especie del insecto de donde fueron aisladas. Las conidias pueden germinar pero no son capaces de penetrar o son rápidamente encapsuladas. Los hongos pueden infectar varios estados ya sea huevos, larvas, pupas, o adultos (Rosas, 1994).

Resistencia: La resistencia esta relacionada con la edad del insecto en general se ha encontrado que en insectos de ciclo biológico corto las larvas de los primeros estadios son mas sensibles a las infecciones que los estados biológicos mas avanzados y en insectos de ciclo biológico largo los últimos estadios son mas susceptibles (Rosas, 1994).

Patogenicidad: Patogenicidad es la capacidad de causar enfermedad o daño o daño en su hospedero (Rosas, 1994).

Virulencia: Es el grado de patogenicidad de las cepas hacia el hospedero específico, esta en relación inversa a la dosis del patógeno requerida para causar un daño determinado, mientras que la agresividad se define como el tiempo en que se causa la muerte del hospedero. A mayor tiempo menor será su agresividad (Rosas, 1994).

4.4.2. Hongos entomopatógenos

Los hongos constituyen un grupo importante en la patología de insectos y por su modo de acción, por sus características biológicas han resultado ser eficaces como una herramienta en sistemas de manejo de insectos. Existen varios mecanismos de acción de los hongos entre los cuales están los físicos, producción de enzimas y producción de toxinas. El uso de hongos entomopatógenos brinda la posibilidad de limitar el uso de los plaguicidas u otro producto químico y así atenuar sus efectos adversos como contaminantes del ambiente (Rosas, 1994).

Algunos hongos pueden matar a sus hospederos mediante acción toxica, mas que por la invasión del mismo (acción mecánica) (Rosas, 1994).

La primera demostración experimental de que una enfermedad de insectos era causada por microorganismos fue hecha por Agostino Bassi 1835 quien demostró que la muscardina blanca (*Beauveria bassiana*) del gusano de la seda se desarrollaba en estos individuos vivos causándoles la muerte, pudiendo ser transmitida la enfermedad por inoculación, por contacto y a través de alimento contaminado (Rosas, 1994).

Metchnikoff trabajo con la muscardina verde producida por *Metarhizium anisopliae*, este investigador aplico masivamente este hongo en campo contra el picudo de la remolacha (*Cleonus punctiventris*) logrando mortalidades de 55 - 80% (Rosas, 1994).

Factores ambientales que influyen en el comportamiento de los hongos

Estabilidad y persistencia en el ambiente:

Los factores como la luz, temperatura, humedad, precipitación, superficie y productos químicos en forma independiente o colectiva afectan a los hongos presentes en forma natural o aquellos que han sido introducidos como insecticidas microbianos.

Las diferentes formas de radiación pueden ser dañinas, benéficas o inocuas dependiendo del hongo y la fuente de radiación. El efecto de la luz puede inducir o inhibir la formación de estructuras o incidir sobre el crecimiento.

La temperatura tiene un gran efecto en la actividad celular; por debajo de los cero grados los hongos sobreviven generalmente pero rara vez crecen y por arriba de los 40 grados centígrados la mayoría detiene su crecimiento y muere. Los hongos entomopatógenos son mesófilos, es decir que la temperatura optima para su desarrollo, patogenicidad y sobrevivencia generalmente fluctúa entre los 20 a 30 grados centígrados.

El agua libre y la humedad relativa elevada, son requeridos por los hongos entomopatógenos para la germinación de los propágulos infectivos y la formación de las estructuras reproductoras fuera del hospedero.

Se sabe que el suelo tiene agentes fungistáticos, los cuales obstaculizan el desarrollo de los conidios de *B. bassiana*, *M. anisopliae* y *Nomurea rileyi* reduciendo los niveles de germinación de los mismos; en algunos casos esto está asociado con otros microorganismos del suelo, como por ejemplo los metabolitos que genera *Penicillium urticae* inhiben la germinación y el desarrollo micelial de *B. bassiana*.

Proceso de infección

La infección se inicia cuando la espora se adhiere a la cutícula del insecto, mediante la secreción de un mucus adhesivo, hincha la conidia durante la pregerminación y desarrolla interacciones hidrofóbicas entre la conidia y la superficie de la cutícula, hay una germinación y formación de un haustorio. La fase de adhesión es un factor esencial para el desarrollo microbial. El exterior de la cutícula de los insectos es mecánicamente frágil y puede ser fácilmente penetrada por la fuerza. Una vez que la epicutícula está rota el proceso de penetración es rápido las hifas se desplazan lateralmente produciendo facturas y facilitando la acción de las enzimas de degradación. La procutícula actúa como una barrera física porque es impermeable a las secreciones del patógeno, esta resistencia a la degradación de las enzimas de muchos patógenos es un mecanismo de resistencia a la penetración (Hajek, A.E., 1994).

Producción de enzimas: Están altamente correlacionadas con los procesos de patogenicidad y virulencia. Las proteasas de *Metarhizium anisopliae* solubilizan las proteínas de la cutícula para facilitar la penetración. La virulencia de *Beauveria bassiana* está relacionada con la producción de lipasas que facilita la selección de razas con esas características y la capacidad de las enzimas quitinolíticas y proteolíticas en la eficiencia de la penetración (Hajek, A.E., 1994).

Producción de toxinas: Son sustancias de bajo peso molecular que no poseen actividad enzimática.

Los hongos entomopatógenos tienen la capacidad de sintetizar toxinas que son utilizadas en el ciclo de relaciones patógeno hospedero. Estos metabolitos tóxicos son de elevada eficacia sobre los insectos y de baja toxicidad para el hombre.

En el género *Metarhizium* se conocen 14 destruxinas diferentes, beauvericinas en el género *Beauveria* y las avermectinas derivadas de estreptomicetos, las cuales son acaricidas y nematocidas. Las destruxinas afectan organelos como mitocondrias, retículo endoplasmático y membrana nuclear. Las toxinas evitan la formación de granulocitos y causan parálisis, beauverin por ejemplo tiene actividad proteolítica (Kuno, et. al. 1982).

Mecanismos de defensa del hospedero

La infección puede ser abortada a nivel de la epicutícula del insecto. En la cutícula del insecto a nivel de superficie hay presencia de inhibidores de germinación como fenoles quinona y lípidos.

La procutícula actúa como barrera física porque es impermeable a las secreciones del patógeno, esa resistencia a la degradación depende de varios factores como el grosor de la cutícula, la intensidad de la tensión de la cutícula y el sistema de laminillas y la esclerotización. La epicutícula está constituida por polímeros de lipoproteínas estabilizados por quinones, los cuales frenan la invasión.

La encapsulación del hongo consiste en que los granulocitos engloban las partes del hongo y se forma un falso tejido en capas construyéndose un granuloma especie de nódulo. Este mecanismo es protección contra patógenos débilmente virulentos. En caso de una fuerte virulencia a los hospederos les es difícil formar los granulomas típicos, estos vencen la encapsulación y siguen creciendo.

Los factores antihongos residen en los inhibidores que pueden estar en la hemolinfa de los insectos infectados y previenen una infección letal. Recientemente se describió una pequeña proteína antihongo producida por *Sarcophaga peregrina*,

la sarcotoxina facilita la acción de la proteína anti-hongo (Hajek, A.E., 1994).

4.4.3 Bacterias entomopatógenas

Las bacterias son microorganismos procariotes distribuidos prácticamente en todos los habitats terrestres. Las bacterias patógenas de los insectos invaden el homocelo con una consecuente reproducción y daño. Las bacterias entomopatógenas también pueden producir toxinas que aniquilan al hospedero para después reproducirse en el cadáver. La gran mayoría de las bacterias entomopatógenas invaden a sus hospederos al ser ingeridas causando la destrucción parcial del intestino medio. Los primeros efectos se reflejan en una pérdida del apetito, diarrea, vomito para después invadir totalmente al hospedero y matarlo. El cadáver normalmente se torna oscuro por la oxidación de la hemolinfa y crecen sobre él gran cantidad de bacterias saprofitas. El cadáver adquiere un olor fétido y el cuerpo se descompone en forma floculenta con excepción del integumento para posteriormente secarse y endurecerse (Ibarra, 1994).

La mayoría de bacterias entomopatógenas son facultativas, son las más estudiadas por presentar alta virulencia, sin embargo existen bacterias obligadas como *Bacillus popilliae*.

La familia Bacillaceae agrupa a la especies de bacterias entomopatógenas más importantes en el control biológico. Se caracterizan por poseer endosporas, estas se forman cuando se han agotados los nutrientes. Son gram positivas y el principal género es *Bacillus* dentro del género *Bacillus*, *Bacillus thuringiensis* es la bacteria universalmente más usada; otros igualmente importantes son *Bacillus sphaericus*, y *Bacillus popilliae* (Kuno et al., 1982).

Bacillus thuringiensis (Bt). Es uno de los bioinsecticidas más usado para el control de insectos plagas. De todos los bioinsecticidas fabricados en el mundo el 98% están basados en Bt., los cuales presentan diferentes cepas y actividad. Es un organismo que puede producirse masivamente y se puede alma-

cenar por largos periodos de tiempo Puerta (1995); sus estereotipos infectan larvas de lepidópteros, dípteros y coleópteros. El serotipo 14 de *Bt. Var israelensis* es extremadamente toxico para mosquitos y simúlidos. *Bacillus popilliae* ataca Coleópteros: Scarabidae y Melolothidos y *Bacillus sphaericus* actúa también sobre mosquitos (Jiménez, 1995).

En Colombia existen varias entidades que desarrollan investigación con *B. thuringiensis*. El centro de Investigaciones Biológicas (CIB) de Medellín, el Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional de Bogotá y la Corporación para la investigación Agropecuaria Corpoica. En el CIB se caracteriza bioquímica, inmunológica y toxicológicamente aislamientos de Bt, tóxicos para mosquitos. La subespecie Medellín presenta alta toxicidad para *Culex quinquefasciatus* (Rodríguez, 1995).

Bacillus thuringiensis pertenece a la clase Eubacteriales, familia bacillaceae, se caracteriza por presentar formas vegetativas grampositivas, una espora o forma de resistencia y un cristal paraesporal, este es de naturaleza proteica, secreta una endotoxina que actúa sobre el intestino medio del insecto (Ibarra, 1994).

Bacillus popilliae es el agente causal de la enfermedad lechosa en especies del orden Coleoptera, en Colombia se ha aislado en larvas de *Clavipalpus ursinus* y de larvas de *A. Scarabaeoides*, *A. Ustulata* y *Phyllophaga obsoleta* registrándose mortalidades hasta del 90% en larvas de tercer instar. (Rodríguez 1989, Guarín 1997, Londoño 2000 citados por Rodríguez 2000.- 2001).

4.4.4. Virus entomopatógenos

Los virus pueden describirse como parásitos obligados, son entidades submicroscópicas, intracelulares y patogénicas, se han aislado cerca de 450 virus de insectos y ácaros y cerca del 90% poseen cuerpos de inclusión. Generalmente los que poseen cuerpos de inclusión son visibles al microscopio de luz y los que no poseen cuerpos de inclusión son visibles únicamente al microscopio electrónico, estos poseen partículas virales que pueden ser

redondeadas, ovales, isométricas, con excepción de la transmisión ovárica, los virus generalmente entran al huésped oralmente, su empleo ha sido exitoso en insectos y ácaros (Bustamante 1995).

Los virus son altamente específicos. El virus de la poliedrosis nuclear por ejemplo ataca solo a *Trichoplusia ni* y no a *Pseudoplusia sp.* Su uso y multiplicación masiva tiene dificultades debido a que son muy susceptibles a altas temperaturas, tienen la capacidad de mutar muy rápidamente y perder la capacidad de virulencia o cambiar para afectar otros organismos que no son el objetivo del control (Puerta 1995).

Sin embargo los virus siguen siendo una alternativa para el control biológico de insectos por su alta incidencia en plagas de importancia económica. *Euprostena elaeasa* y *Automeris sp.*, lepidopteros que afectan el follaje de la palma africana son controladas hasta un 90% por el virus de la poliedrosis nuclear (VPNEe) y el de la granulosis de *A. Sp* (VGAsp), los cuales pertenecen a la familia Baculoviridae. Desde 1975 se registro VPN en el gusano gregario de palma africana, *Dirphia peruvianus* ocasionando 90% de mortalidad (Rodríguez , 1995) .

VPN es común en plagas de importancia económica en el algodón, maíz, arroz, soya, afecta a *Heliothis virescens*, *Spodoptera frugiperda*, *S. Ornithogalli*, *Anticarsia gemmatialis* *Dirphia peruvianus* *Natada pucara* y varias especies de plusinidos (Posada y García 1978, Genty 1978, Jiménez 1980 citados por Rodríguez 2000).

4.4.5. Nematodos entomopatógenos

Los nematodos son otra alternativa para el manejo de problemas de plagas en cultivos. Las familias Steinernematidae y Heterorhabditidae son las más estudiadas debido a su eficacia en el control de insectos problema. Estas dos familias están asociadas con bacterias mutualistas.

La familia steinernematidae compuesta por los géneros *Steinernema* con 24 especies descritas y *Neosteinernema* con una sola especie. Heter-

orhabditidae esta compuesta por un único genero *Heterorhabditis* el cual tiene ocho especies descritas (Saenz 1999).

Xenorhabdus spp es la bacteria simbiote de las especies de nematodos entomopatógenos del genero *Steinernema* y *Photorhabdus sp* simbiote de *Heterorhabditis*, se caracterizan por ser Gram – negativas, anaerobia facultativas y pertenecen a la familia Enterobacteriaceae.

El conocimiento de las distintas fases que presentan las bacterias es necesario para realizar con éxito la propagación de nematodos, especialmente a gran escala, estas bacterias tienen dimorfismo conocido como fase I y II durante su desarrollo con diferentes características morfológicas, actividades y propiedades (Akhurst y Boemare 1990, Nealson et al 1990, McInerney et al 1991 citados por Saenz 1999). Se han realizados diversas investigaciones con nematodos entomopatógenos, las cuales han mostrado mortalidades de 100% en *T. Solanivora* y 88% en larvas de chisas (Saenz 1998).

En Villavicencio (Meta- Colombia), se ha registrado en forma natural el nematodo del genero *Mermis sp* (mermithidae), afectando el mión de los pastos (*Aeneolamia varia*), el cual mata a su hospedero al salir a través de la cutícula (Rodríguez 2000) .

En el CIAT, se ha evaluado el potencial del nematodo *Steinernema carpocapsae* para el control de *Cyrtomenus bergi*, Hemiptera: Cydnidae, chinche que causa daños a las raíces del cultivo de la yuca, siendo los adultos susceptibles con un parasitismo de 58.6% a los 10 días. A nivel de campo se reportan razas de la especie de *H. bacteriohora* afectando *C. bergi* (Caicedo 1994; Caicedo, 1996).

Las rickettsias pertenecen a la familia Rickettsiaceas, por su estructura y metabolismo, localización intracelular en los tejidos del insecto son similares a los virus. No se pueden cultivar en medios artificiales . En Colombia se han encontrado afectando chisas, las cuales presentan un color azulado generalizado en todo el cuerpo (Rodríguez 2000) .

BIBLIOGRAFÍA

Alatorre Rosas R., Guzmán Franco A. 1994. V curso de control biológico. Memorias, Sociedad Colombiana de control biológico. Instituto tecnológico Agropecuario Oaxaca. 162 p.

Bustamante 1995. Control biológico de patógenos de plantas. En: Memorias Curso Internacional Manejo Integrado de plagas. San Juan de Pasto Nariño. Colombia pp 19-21.

Caicedo A. y Bellotti A. 1994. Evaluación del potencial del nematodo entomogeno *Steinernema Carpocapsae* Weiser (Rhabditida: Steinernematidae) para el control de *Cyrtomenus bergi* Froeschner (hemiptera: Cydnidae en condiciones de laboratorio. Revista Colombiana de Entomología Vol. 20 No. 4 P 241-246.

Caicedo A. y Bellotti A. 1996. reconocimiento de nematodos entomopatógenos nativos asociados con *Cyrtomenus bergi* Froeschner (hemiptera: Cydnidae en ocho localidades de Colombia. Revista Colombiana de Entomología Vol. 22 No. 1 P 19-24. Bogota.

Cotes, A. 1999. Estado actual y perspectivas del desarrollo de bioplaguicidas en Colombia . En: Memorias XXVI Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología. Bogotá.65-72

Duque M. C. 2006. Patrones de disposición espacial y su importancia en la definición de un plan de muestreo en MIP. Memorias Curso bioestadística.

Ferreira Vilela E., Della Lucia T. 2001. Feromonios do insetos: Biología, Química e aplicacao no manejo de pragas. Universidade federal do Viçosa. 153 p.

HAJEK A.E., ST LEGER. 1994. Interactions between fungal pathogens and insect host. New York: Institute for plant research New York. <http://www.cals.ncsu.edu/course/ent425/text19/semiochem.html>. Última revisión, 12 Diciembre 2006.

Ibarra,J. 1994. Bacterias entomopatógenas. En: V curso de control Biológico Memorias. Instituto tecnologico agropecuario Oaxaca pp 72-84.

Jiménez, J. 1995. Utilización de agentes microbiales en el manejo integrado de plagas. En: Memorias Curso Internacional Manejo Integrado de plagas. San Juan de Pasto Nariño. Colombia pp 79-90

Jolivet P. 1998. Inerrelationship between insects and plants. CRC press. 309 p.

Krebs C. 1985. Ecología. Estudio de la distribución y la abundancia. Segunda edición. Harla S.A. 753 p.

Kuno, G.; Mulett,J. & De Hernandez, M. 1982. Enfermedades causadas por Hongos. En: Patología de insectos. Universidad del Valle. Cali pp 25-43

Martínez Becerra R., Martínez Rueda N. 1997. Diseño de experimentos, Análisis de datos estandar y no estandar. Fondo Nacional Universitario. 479 p.

Pedigo L. 1996. Entomology and pest management. Second edition. Ed. Prentice hall. 679 p.

Puerta F. 1995. El futuro de los bioplaguicidas. En: Memorias Curso Internacional Manejo Integrado de plagas. San Juan de Pasto Nariño. Colombia. Pp. 117-119.

Rabinovich J.E. 1980. Introducción a la ecología de poblaciones animales. Compañía editorial continental. 312 pg.

Rodríguez, D. 1995. Nuevos enfoques en el uso de entomopatógeno en Colombia. En: Memorias Curso Internacional Manejo Integrado de plagas. San Juan de Pasto Nariño. Colombia pp 109-114.

Rodríguez, D. 2000. Los entomopatógenos en el Manejo Integrado de Plagas. En : Memorias I Curso- Taller Internacional de Control biológico. Componente fundamental del manejo integrado de plagas en una agricultura sostenible. Santafé de Bogota. Pp25-39.

Rodríguez, D. 2000. Los entomopatógenos en el Manejo Integrado de Plagas. En : Memorias I Curso- Taller Internacional de Control biológico. Componente fundamental del manejo integrado de plagas en una agricultura sostenible. Santafé de Bogota. Pp25-39.

Rodríguez, D. 2001. Uso de entomopatógenos en Colombia. En: Seminario Uso de entomopatógenos en Colombia. Sociedad Colombiana de Entomología. Bogota. Pp 3-10.

Rosas, J.1994. Hongos entomopatógenos para el control de plagas insectiles. En: En: V curso de control Biológico Memorias. Instituto tecnologico agropecuario Oaxaca. 85-99 pp.

Rossing W. 2004. Crop growth and epidemiology. In: IPM Tools and Implementation. Training course on Integrated pest management and food safety. International Agricultural Center IAC. Wageningen (NL). 65p.

Saenz , A. 1998. Steinernema feltiae Filipjev, 1934 cepa Villapinzon (Rahbditida: Steinernematidae) ciclo de vida, patogenicidad y metodos de cría. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomia. Pp 130.

Saenz , A. 1999. Los nematodos entomopatógenos: Una alternativa de control biológico. En: En: Memorias XXVI Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología. Bogotá.82-97.

van Loon J.J. 2004. Insect plant relationships and host plant resistance. In: IPM tools and implementation. Lectures. IAC, Wageningen (NL). 30 p.

Vergara. R. 1994. Manejo integrado de plagas en los cultivos : Una solución Bioecologica. En: I Congreso Internacional de agricultura biológica y medio ambiente. Corporación para la conservación del medio ambiente y Universidad pedagógica y tecnológica de Colombia. 87-113



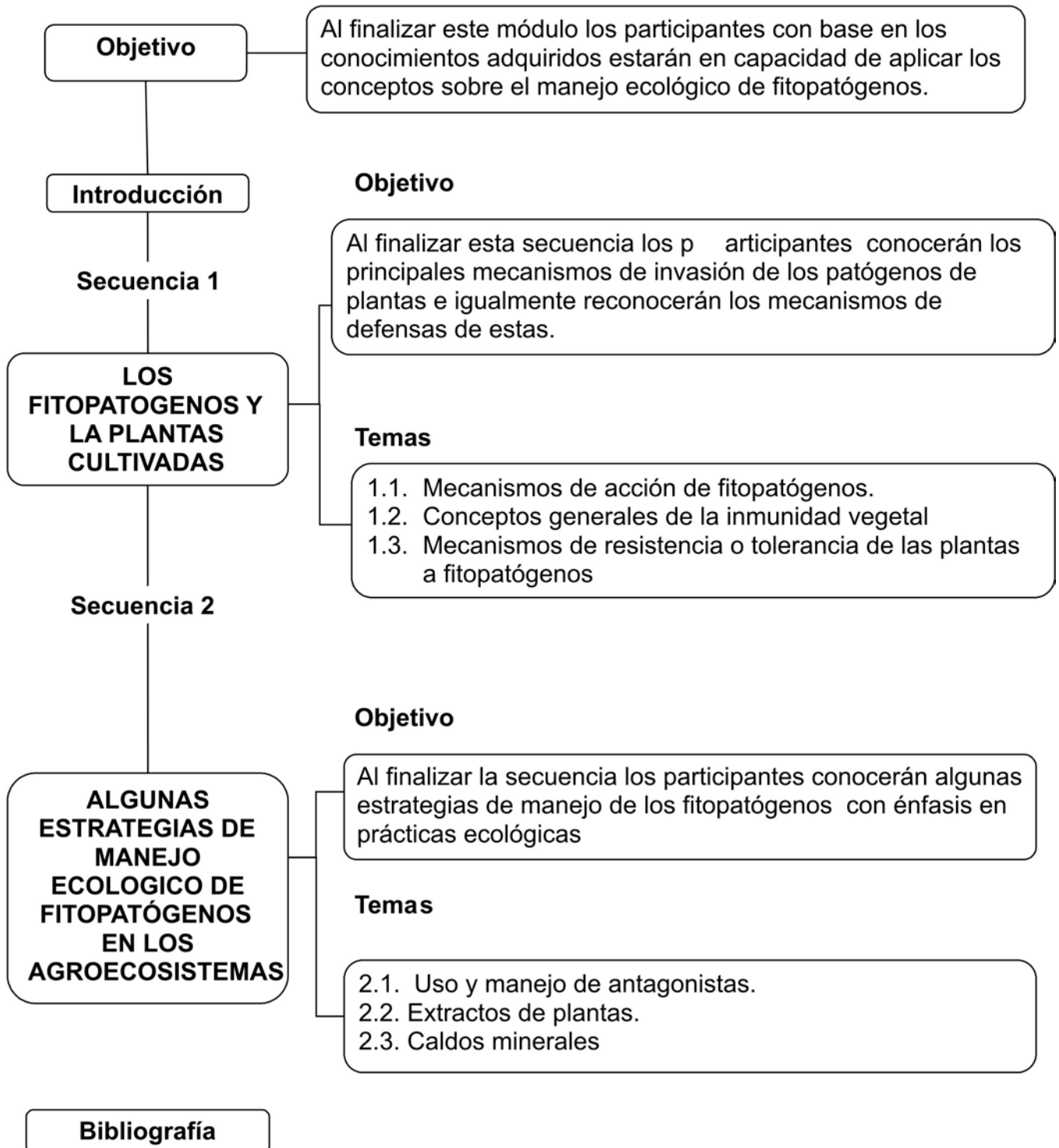
**Manejo
ecológico de
fitopatógenos**

**MÓDULO
4**

María Denis Lozano Tovar
Ingeniera Agrónoma, Master en Microbiología Industrial
Investigadora C.I. Corpoica Nataima
email: mlozano@corpoica.org.co

FLUJOGRAMA PARA EL ESTUDIO DEL MODULO 4

MANEJO ECOLÓGICO DE FITOPATÓGENOS



INTRODUCCIÓN

Los patógenos de plantas causan pérdidas económicas que pueden estar entre los 50 y 100%, igualmente en poscosecha son importantes los daños causados por fitopatógenos, en países desarrollados pueden llegar hasta el 24% mientras en los países en vía de desarrollo las pérdidas son hasta del 50%, los patógenos radicales como *Rhizoctonia solani*, *pythium spp*, *Fusarium oxysporum*, y *agrobacterium tumefaciens* y foliares como *Alternaria solani*, *Phytophthora infestans*, *Mycosphaerella fijiensis*, *Cercospora aradichidicola* son difíciles de manejar y pueden dañar completamente el cultivo (Vero & Mondino, 1999).

SECUENCIA I

LOS FITOPATOGENOS Y LA PLANTAS CULTIVADAS

CONTENIDO

Objetivo

Información

I.1. Mecanismos de acción de fitopatógenos

I.2. Conceptos generales de la inmunidad vegetal

I.3. Mecanismos de resistencia o tolerancia de las plantas a fitopatógenos

CONTENIDO

Al finalizar esta secuencia los participantes conocerán los principales mecanismos de invasión de los patógenos de plantas e igualmente reconocerán los mecanismos de defensas de estas.

INFORMACIÓN

I.1. Mecanismos de acción de fitopatógenos

Se le llama fitopatógenos a los organismos que causan enfermedades a las plantas.

Se define como proceso patológico a la interacción del parásito y la planta dando como resultado una lesión en los tejidos del hospedante. Para su realización es necesario que se lleve a cabo la infección de la planta (invasión), aunque en algunos casos también se requiere que el parásito comience a reproducirse.

I.1.1. Proceso patológico

Fase de contacto (unión a la superficie de la planta).

Los hongos patógenos emplean diferentes mecanismos para unirse a la superficie de la planta hospeda-

dora. En cualquier caso, la penetración del hongo en la planta precisa del contacto y la adherencia de las esporas y/o de la primera hifa que resulta de su germinación (tubo germinativo) a la superficie vegetal. Un posible mecanismo consiste en la excreción por parte del hongo de enzimas tales como cutinasas y esterases que alteran la superficie vegetal facilitando la adherencia, igualmente la producción de una matriz extracelular de polisacáridos o glicoproteínas favorece la adherencia de la espora a los tejidos de la planta. Los patógenos radiculares son atraídos a la superficie raíz por exudados radiculares que inducen la germinación de esporas (Schafer, 1994)

Germinación sobre dicha superficie y formación de estructuras de infección

Las secreciones de los tejidos superficiales de las plantas pueden estimular o inhibir la germinación

de los hongos. Las esporas de los parásitos especializados germinan solamente cuando están sobre los tejidos de las plantas susceptibles estimulados por la sustancias excretadas por la planta. Los hongos patógenos muestran una especificidad hacia el órgano al cual se unen, de forma que normalmente no atacan a todas las partes de la planta hospedadora; algunos colonizan partes aéreas mientras que otros infectan zonas situadas por debajo del suelo ISCAH, 1987; ITA, 2004).

En la mayoría de los hongos, la germinación de las esporas se produce de forma directa, emitiendo uno o varios tubos germinativos. No obstante los hongos zoospóricos germinan de forma indirecta mediante la formación y liberación de zoosporas, o tras la germinación directa de oosporas y zigosporas. El proceso de germinación de las esporas fúngicas se inicia, al igual que en las semillas de las plantas, con la hidratación y aumento de volumen de la espora, seguida de la hidrólisis de las reservas energéticas endógenas y la síntesis de proteínas, de los materiales estructurales de membrana y pared necesarios para la formación y elongación de los tubos germinativos. La germinación de las esporas se ve afectada por una serie de factores endógenos y exógenos Mayea, 1981).

En muchas ocasiones las esporas se encuentran en un estado de dormancia o de reposo metabólico, en el que la germinación se ve impedida por varios factores físicos o bioquímicos propios de la espora. La germinación de las esporas que no se encuentran sujetas a dormancia se ve influida por el agua, la temperatura, la luz, la actividad microbiana y los inhibidores y estimulantes de origen diverso. Las esporas se desplazan hacia la zona de penetración, siendo en muchos casos estos movimientos orientados quimiotácticamente; tal desplazamiento finaliza con el enquistamiento de la espora y su adherencia a la superficie vegetal. Un proceso similar sucede en la elongación del tubo germinativo de muchos hongos fitopatógenos, que manifiesta una orientación en respuesta a estímulos químicos (quimiotropismo) o de contacto superficial (tigmotropismo) ISCAH, 1987; Rivera & Codina, 1997).

Fase de infección o lesión:

La mayoría de los patógenos penetran en las plantas por las siguientes vías: A través de la cutícula y la epidermis, a través de vías naturales (estomas, lentículas) y a través de heridas. Cada organismo tiene su modo específico de penetración. Algunos patógenos no penetran del todo en los tejidos como los erisipales (hongos causantes de mideo polvoso), cuyo crecimiento sobre la superficie de las plantas es extramatricial y solo penetran los haustorios a la célula huésped (ISCAH, 1987, Rivera & Codina, 1997).

Las esporas que germinan sobre las hojas forman un tubo germinativo el cual después de un crecimiento paralelo a la superficie de las hojas, se inclina hacia la cutícula y forma un ensanchamiento fuertemente unido a esta el cual se denomina apresorio en la zona comprimida forma una hifa fina que atraviesa la cutícula y la capa de células que esta debajo de esta y se engrosa de nuevo en el interior de la célula Mayea, 1981)

Los nematodos penetran en los tejidos vegetales mediante la introducción del estilete y la expulsión de enzimas y otras sustancias a través de los mismos. Las enzimas ocasionan la disolución de las paredes celulares (pectinasas) y facilitan la entrada del nematodo en el interior de las plantas.

Las vías naturales son generalmente utilizadas por los organismos parásitos bien adaptados a su hospedantes. Los estomas constituyen la principal vía de penetración de muchos hongos, bacterias e incluso nematodos. Para la penetración de las bacterias por estas aberturas tienen gran importancia la humedad de la abertura estomatosa y la humedad de la cámara subestomatosa. Los hidatodos son otra vía de acceso para las bacterias, igualmente las lentículas pueden ser vías de entrada de algunas bacterias. Las bacterias de la pudrición blanda y negra de la papa penetran frecuentemente por esta vía. Las fisuras radiculares por la formación de los primordios de las raíces secundarias son otra vía frecuente de acceso para algunos agentes patógenos ITA, 2004).

Las heridas (causadas por equipos cortantes, insectos, nematodos) favorecen la penetración de los parásitos facultativos por ejemplo *Botrytis cinerea*, *Fusarium sp* y *Erwinia carotovora* entre otros.

Colonización de los tejidos del huésped.

La penetración de la cutícula es seguida por un crecimiento subcuticular o intramural, que puede en ocasiones verse interrumpido dando lugar a infecciones latentes. Para el crecimiento activo del hongo tras la invasión del tejido es necesario que se establezca una relación parasitaria continuada con el huésped (infección). A partir de la hifa que penetra en la planta se desarrollan las hifas primarias y varias hifas secundarias filamentosas, que son las encargadas de colonizar el tejido del vegetal por crecimiento intercelular y/o intracelular. La colonización del tejido huésped por crecimiento intercelular de las hifas ramificadas es propio de los hongos biotrofos (mildius, royas, etc.), mientras que el crecimiento intracelular, que a menudo ocasiona la muerte de las células del huésped mediante la secreción de enzimas pectolíticas y de toxinas, es característico de los hongos necrotrofos (ISCAH, 1987).

1.1.2. Producción de enfermedades en plantas

El desarrollo de la enfermedad se debe a la acción individual o combinada de cuatro mecanismos de patogénesis.

El primero de ellos es la **síntesis y liberación de enzimas degradativas de la pared celular, tales como poligalacturonasas, pectato-lisas, hemicelulasas y celulasas**, que en ocasiones son liberadas de forma secuencial.

Estas enzimas ocasionan la degradación de sustancias pécticas que unen las paredes celulares en los tejidos parenquimáticos y causan ensanchamiento y degradación de la pared celular y muerte de las células (Rivera y Codina, 1997; Carzola, 1996).

Un segundo mecanismo consiste en la **producción de toxinas** por parte del hongo, productos

no enzimáticos de bajo peso molecular que interfieren en el metabolismo de la planta o que afectan a la estructura normal del protoplasma. Las toxinas pueden pertenecer a dos categorías diferentes: toxinas huésped-específicas, que son aquéllas que muestran la misma especificidad que el patógeno que las produce, y toxinas huésped-no específicas, cuando la gama de plantas sobre las cuales pueden ocasionar fitotoxicidad no está relacionada con las plantas susceptibles al patógeno, causando síntomas inespecíficos, (Duran, 1997; Carzola, 1996, Arrebola, 1998.)

Las toxinas son capaces de matar los tejidos de las plantas y están consideradas como las principales determinantes de la virulencia. Se clasifican en: **vivotoxinas y patotoxinas ISCAH, 1987).**

Vivotóxicas: Son los compuestos que sintetiza el patógeno en el organismo afectado, no son específicas y son capaces de afectar un gran número de vegetales por ejemplo las toxinas de la bacteria *Pseudomonas tabaci* que parasita las plantas del género *Nicotiana* ISCAH, 1987).

Patotóxicas: Son sustancias producidas por el patógeno y son capaces de provocar todos los síntomas de la enfermedad. Su acción es especializada y se manifiesta solamente en las plantas que son afectadas por el patógeno (ISCAH, 1987; Carzola, 1996).

El tercer mecanismo de patogénesis consiste en la **producción y liberación de compuestos hormonales, antihormonales** y de otro tipo que producen una interferencia en el control normal del crecimiento y desarrollo. Así, se ha observado que en muchos de los síntomas que resultan de la patogénesis provocada por hongos (enanismo, elongación, proliferación celular, etc.) son similares a los que se asocian con desarreglos hormonales (Carzola, 1996).

El último de los mecanismos es la interferencia mecánica que provoca el crecimiento del hongo en los movimientos normales del agua, nutrientes y metabolitos.

Se observa un desequilibrio de las funciones fisiológicas normales de la planta hospedante, varían la fotosíntesis, los procesos respiratorios, la síntesis de las sustancias de crecimiento y el transporte de los alimentos nutritivos como resultado de los cambios patológicos en el metabolismo vegetal surgen los diferentes síntomas externos que caracterizan la enfermedad.

Al periodo de tiempo desde el momento de la penetración del parásito hasta la manifestación de los primeros síntomas externos se le llama periodo de incubación Carzola, 1996)

1.2. Conceptos generales de la inmunidad vegetal

Cada especie de planta es afectada por aproximadamente cien o más organismos patógenos entre los que se incluyen hongos, bacterias, virus, nematodos, plantas parásitas, así como insectos, arácnidos, gasterópodos entre otros. Sin embargo solo unos pocos pueden llegar a invadirlas y dentro de ellos existe una especificidad desde el punto de vista de la capacidad de producir infecciones que determina que un grupo específico ataque siempre a una especie de planta dada. Este comportamiento está dado por la constitución genética de la planta y del agente fitopatógeno (ISCAH, 1987).

La expresión de esta interrelación entre la planta y el agente patógeno puede traer como resultado una mayor o menor afectación en la producción agrícola.

El solo contacto entre el parásito y su hospedante no determina el parasitismo pues éste está regido por factores inherentes a la planta. Las plantas hospedantes tienen determinada sensibilidad genética y ambiental, así como defensas ante el ataque de los organismos patógenos.

Las modalidades a través de las cuales una planta puede resistir el ataque de un agente patógeno son diversas y en sentido general se consideran dos grandes grupos la inmunidad congénita y la inmunidad adquirida.

Inmunidad vegetal congénita se define como la expresión de una serie de propiedades morfológicas y bioquímicas de la planta, las cuales están determinadas por la estructura genética de esta. La resistencia de una planta ante el ataque de un patógeno específico forma parte de las características genéticas generales de aquella, esta se puede expresar de forma activa y pasiva.

La expresión activa de la inmunidad congénita en las plantas se puede manifestar a través de mecanismos morfológicos y bioquímicos.

1.3. Mecanismos de resistencia o tolerancia de las plantas a fitopatógenos

1.3.1. Mecanismos morfológicos de defensa en las plantas

Las plantas poseen una diversidad de estructuras diseñadas para la defensa contra sus agresores, tal es el caso de la presencia de presencia de tricomas, capas de corcho y cubiertas de cera.

Se definen como mecanismos morfológicos a los elementos constitucionales de las plantas que impiden el desarrollo de los agentes patógenos.

Presencia de tricomas, cubiertas de cera y cutícula: La cutícula es la primera barrera para la invasión de las plantas por patógenos, la cutícula está compuesta por polímeros insolubles llamados cutina, los cuales están embebidos en una mezcla compleja de lípidos solubles, difíciles de degradar por los parásitos (ITA, 2004).

Estructuras de las aberturas naturales: Algunas plantas tienen estomas con entradas muy estrechas rodeadas de bordes elevados que impide que el agua con los patógenos lleguen a la cámara subestomática. (ITA, 2004).

Formación de barreras de corcho: En muchos casos se forman estructuras que detienen al parásito como reacción de los tejidos del huésped a la invasión, estas estructuras pueden especificarse para un parásito

o inespecíficas. Son el resultado de la diferenciación de tejidos alrededor de los parásitos. También estas barreras impiden el paso de las toxinas y las enzimas del hongo a los tejidos sanos (ITA, 2004).

Formación de capas de abscisión: Estas capas se forman bajo el estímulo de la infección de hongos, bacterias y virus y no constituyen ninguna capa de células diferenciadas sino una capa circular de células que se separa, por lo cual la lesión se desprende y arrastra con ella al parásito y no puede seguir infectando.

Acumulación de gomas: La acumulación de gomas alrededor de los puntos de infección detiene también el parásito. En algunos casos las gomas se depositan en los espacios intercelulares y dentro de las células formando una barrera impenetrable para el parásito (ITA, 2004).

1.3.2. Mecanismos bioquímicos de defensa de las plantas

Las defensas bioquímicas de las plantas consisten en la presencia de sustancias químicas o grupo de sustancias que interfieren con el crecimiento y la multiplicación del parásito (Vivanco, et al. 2005).

La constitución química de una planta determina la resistencia ante el ataque de un agente patógeno, mientras que otros procesos fisiológicos que se llevan a cabo dentro de esta impiden el desarrollo de los procesos infecciosos.

Esta condición puede estar presente antes de que el organismo patógeno infecte la planta o aparecer después de la infección, es decir reacciones de defensa son inducidas por las actividades y las secreciones del parásito.

Hipersensibilidad: Se expresa como una elevada susceptibilidad de la planta ante el ataque del patógeno, esta reacción conocida también como reacción necrótica, tiene su expresión a nivel celular y determina en la práctica que las variedades que la posean se comporten como resistentes, ya

que los parásitos no pueden seguir su desarrollo. En este caso el parásito muere por desnutrición, el proceso bioquímico que se da es una rápida desintegración del protoplasto y del núcleo.

Fitoalexinas: Son sustancias que sintetiza la planta en respuesta a la infección de un agente patógeno. Las investigaciones han mostrado la amplia diversidad química de las fitoalexinas, un ejemplo de ello es Medicarina producida por *Canavalia ensiformis*, ipomeamarona producida por *Ipomoea batatas* que tiene efecto de antibiótico sobre *Ceratocystis fimbriata*, la cual interrumpe el metabolismo del fósforo en el hongo; el orquinol producido por los tubérculos de orquídea inoculados con *Rhizoctonia repens*, y la pisatina un iso-flavonoide aislado de *Pisum sativum* (Vivanco et, al 2005, ISCAH, 1987).

La ubicación de los compuestos antipatógeno difiere de los compuestos antiherbivoros o alelopáticos. Generalmente los compuestos antipatógenos se ubican principalmente en el exterior de los tejidos y órganos o en el interior de las vacuolas. La liberación de los compuestos se puede dar por volatilización desde las hojas, exudación de las raíces, descomposición de los residuos (Vivanco, et., al., 2005).

Las variedades de cebolla resistente a *Colletotrichum circinans* esta correlacionada con los pigmentos rojos o amarillos que son flavonas y antocianinas las cuales son solubles en agua y presentan alta toxicidad para el patógeno, inhiben la germinación y la penetración de este patógeno. Extractos de cebolla roja mostraron ser eficiente en el control de *Colletotrichum* mientras que extractos de cebolla blanca no mostraron efecto sobre el patógeno. Los constituyentes de la cutícula de algunas plantas inhiben la germinación de varios patógenos. En zanahoria se ha demostrado que posee compuestos fungitóxicos tales como derivados de los ácidos benzoicos y cinámicos (ISCAH, 1987).

Inhibidores exudados por la planta: Exudados como los glucocidos que se degradan produciendo HCN, el cual es tóxico para muchos organismos.

Inhibidores enzimáticos presentes en las células: Compuestos fenólicos inducen efectos inhibitorios sobre las enzimas del parásito. La infección de *Sclerotinia fructigena* es disminuida por la oxidación de fenoles que inactivan las enzimas pectinolíticas del hongo.

La presencia de fenoles en las variedades de arroz resistentes a *Pyricularia oryzae* contienen cantidades importantes de polifenoles: Ácido clorogénico y ácido ferúlico que degradan la toxina Piricularin (Pérez, 1993). En papa igualmente se ha observado la presencia de Ácido clorogénico en las lenticelas y los tubérculos, la cual es fuente de resistencia contra *Verticillium spp.*

Inactivación de las toxinas del parásito: Las variedades resistentes a los patógenos tienen la capacidad de degradar las toxinas producidas por el microorganismo es así como variedades de arroz resistentes a *Pyricularia oryzae* metabolizan el ácido picolinico y piricularin producidas por patógeno en solo tres días después de la inoculación.

Activación de la respiración: Aumento en la toma de oxígeno ha sido reportado para las acciones hipersensitivas de defensa, lo cual es acompañado por una acumulación y oxidación de los compuestos fenólicos por la activación de las fenoloxidasas.

Resistencia sistémica inducida (ISR) o Resistencia sistémica adquirida (SAR)

Los mecanismos de defensa inducibles requieren de sistemas de percepción de los microorganismos invasores los cuales se han denominado inductores, estos de forma específica activan los genes implicados en las reacciones de defensa de la planta. Estos inductores pueden ser polisacáridos, proteínas o peptidoglucanos localizados generalmente en la superficie del hospedante, son denominados PAMP (patrones moleculares asociados a patógenos). Los PAMP se unen a receptores de reconocimiento de patrones que operan en la transducción de la señal y en la activación de genes comprometidos con la actividad de defensa (Vivanco et. al. 2005).

La primera respuesta es local implica la síntesis de fitoalexinas y los efectos posteriores son sistémicos es decir se manifiestan a distancia, de tal forma que las células y los tejidos se preparan para defenderse del proceso infectivo. Se ha demostrado a través de bioensayos la elevación de los niveles de toxinas defensivas constitutivas, y reforzamiento estructural de las paredes celulares (Vivanco, et al. 2005).

Varios compuestos como el ácido salicílico, ácido jasmónico y el etileno constituyen elementos claves en la comunicación entre los órganos y las células para desencadenar este tipo de defensa de manera equilibrada y eficaz. El ácido jasmónico, cuya producción es estimulada por una herida, se revela cada vez más como un signo detonador de defensa contra microorganismos.

La emisión de etileno por tejidos vegetales dañados permite la activación sistemas de genes defensivos en los tejidos dañados distantes de la zona dañada o de plantas alejadas que podrían estar expuestas al mismo agente invasor (Heil, M. & Bostock, 2002; Van et.al. 1998).

La emisión del estermetilico del ácido salicílico (un precursor de la aspirina), sirve de señal para ciertos depredadores de herbívoros, es decir que la planta solicita ayuda externa y al mismo tiempo comunica a otras plantas la presencia del invasor (Heil, M. & Bostock, 2002; Van et.al. 1998).

El metiljasmonato (componente de aromas de algunas flores), la oxidación y degradación controlada de ácidos grasos insaturados para la producción de una serie de aldehídos volátiles están implicados en las interacciones tanto con microorganismos como con herbívoros (Van et., al., 1998).

Los insectos herbívoros son percibidos por las secreciones orales del artrópodo. Entre las defensas vegetales inducidas esta la producción de metabolitos secundarios tóxicos o repelentes y de moléculas volátiles. Entre ellas encontramos aldehídos, alcoholes, ésteres y terpenoides, estos compuestos tienden a ser específicos para cada

especie. Algunos son consumidos por el insecto (volicitina) sufre luego una modificación en el intestino y se emiten sustancias volátiles que atraen a parasitoides del insecto (Vivanco, et.al. 2005).

Inducción de proteínas y enzimas: Las interacciones entre los patógenos e insectos y la planta esta acompañada por la síntesis de nuevas proteínas y enzimas. Los inhibidores de proteasas fabricados por las plantas son pequeñas proteínas que contribuyen a la defensa contra insectos, al bloquear la síntesis de proteasas intestinales frenan el crecimiento y provocan la muerte por ayuno. Los inhibidores de proteasas bloquean las proteasas de serina y aspartato, así como a las metalocarboxipetidinas Wei, et al. 1996).

Sin embargo los insectos se han adaptado a las defensas de las plantas y generan una serie de respuestas a estas defensas entre las cuales sobresalen: síntesis de proteasas insensibles a la inhibición tal es el caso de algunos lepidópteros y coleópteros, detoxificación de metabolitos secundarios, secuestro de defensas químicas de las plantas, las cuales son incorporadas a su metabolismo y aplicadas luego contra sus propios depredadores (Vivanco, et. al. 2005).

La respuesta de las plantas al daño mecánico incluye procesos en los que están implicados señales eléctricas, hidráulicas y oligosacáridos de pared (OGAs), que inducen la activación de genes en las zonas próximas a la herida y la inducción de la síntesis de novo y percepción de ácido Jasmónico (JA) que dispara la inducción sistémica en el tejido no dañado de otro grupo de genes que, en *Arabidopsis thaliana*, coinciden en parte con los que se inducen localmente. Los OGAs son polímeros del ácido 1,4-D-galacturónico generados a partir de las pectinas de la pared celular vegetal por el daño mecánico de los tejidos o por las pectinasas y poligalacturonasas de los organismos patógenos.

Silenciamiento génico postranscripcional RNA de interferencia)

Se ha encontrado que en las células eucarióticas que son infectadas con algunos virus existe un mecanis-

mo de regulación génica que controla la presencia de las moléculas de RNAs virales potencialmente expresables. Dicho mecanismo se encontró en plantas y hongos y constituyó un descubrimiento sorprendente ya que significaba un nuevo mecanismo de inmunidad antiviral (Waterhouse et al.2001).

El RNA de interferencia (RNAi) es el mecanismo que posee las células de plantas o animales capaces de bloquear un gene específico destruyendo la copia del RNA antes que este pudiera codificar la proteína respectiva; pequeñas moléculas de RNA son capaces de anular genes. Lo hasta ahora demostrado es que la maquinaria del RNAi de la célula puede bloquear un gene específico, agregando pequeños trozos de RNAi o siRNA, que calzarían con parte de la secuencia de ese gene específico, con lo que éste se inactivaría (Delgadillo, 2003)

Este mecanismo es inducido por una molécula de RNAs de doble cadena, tal vez generada por los intermediarios replicativos de los virus infectantes.

Luego de la entrada de los virus, el organismo activa una respuesta inmune dirigida contra las proteínas virales. Pero, además, la duplicación del material genómico de los virus induce una señal de alarma en el interior de las células infectadas.

Se ha propuesto que la función natural del silenciamiento de RNA en estos organismos es un mecanismo de defensa innato contra infecciones virales. También se sabe que el control de la expresión génica a través del RNA de interferencia puede ocurrir a nivel de la transcripción o síntesis del RNA mensajero (RNAM), o bien a nivel postranscripcional (Delgadillo, 2003).

La característica principal del RNAi es su alta especificidad de secuencia, capaz de inhibir específicamente un determinado gen, propiedad del RNAi habría enormes expectativas para su uso en el tratamiento de diferentes enfermedades (Delgadillo, 2003)

Este interesante mecanismo de control génico se lleva a cabo en diferentes fases con la participación

de distintas moléculas. Uno de los componentes esenciales es una enzima denominada Dicer, que pertenece a una familia de nucleasas conocida como rna III. Los miembros proteicos de la familia rna III se caracterizan por reconocer y cortar específicamente cadenas dobles de RNA (Plasterk, R. 2002)

En su estructura molecular la enzima Dicer presenta una secuencia de aminoácidos que le confieren la función de desenrollar las cadenas dobles

de RNA. Esta actividad de helicasa requiere de la energía liberada por el rompimiento o hidrólisis de una molécula de trifosfato de adenosina o ATP. Por otra parte, la proteína Dicer corta uniformemente al RNA de doble cadena en fragmentos pequeños de 22 nucleótidos conocidos como RNAs guías o RNAs pequeños de interferencia (sirna, small interference RNA). Estos sirna son los que por su alta homología con la secuencia del RNA blanco bloquearán la expresión del gen (Delgadillo, 2003).



SECUENCIA 2

ALGUNAS ESTRATEGIAS DE MANEJO ECOLOGICO DE FITOPATÓGENOS EN LOS AGROECOSISTEMAS

CONTENIDO

Objetivo

Información

- 2.1. Uso y manejo de antagonistas.
- 2.2. Extractos de plantas y Uso de plantas antagónicas de fitopatógenos.
- 2.3. Caldos minerales.
- 2.4. Uso del compost para el control de enfermedades
- 2.5. Biofumigación y solarización

CONTENIDO

Al finalizar esta secuencia los participantes estarán familiarizados con los conceptos y estrategias de manejo de los fitopatógenos en las plantas cultivadas

INFORMACIÓN

Algunas estrategias planteadas para el manejo de fitopatógenos son las siguientes: Introducción de antagonistas, mejoramiento de las condiciones de los antagonistas nativos, generalmente se logra con la adición de materia orgánica, compost, lombricompost, rotación de cultivos, cultivos asociativos, incorporación de plantas antagónicas, uso de extractos vegetales como ajo, cebolla, Cola de caballo, Tomate, cebolla, ajo, lechuga, ruda, albahaca.

2.1. Uso y manejo de antagonistas

Según Cotes (2000), el control biológico de fitopatógenos mediante la acción de microorganismos antagonistas representa una alternativa para el control de enfermedades vegetales. Se define como antagonistas aquellos organismos que compiten con el patógeno. Para incrementar estos or-

ganismos benéficos se pueden usar adiciones de materia orgánica, mejoradores orgánicos, compost, lombricompost.

Varios géneros de hongos han sido reportados como potenciales para control de patógenos de plantas. *Trichoderma spp* es un organismo cosmopolita y se encuentra en todos los suelos especialmente en aquellos ricos en materia orgánica, su efecto se ha evaluado en *Rhizoctonia solani*, *Sclerotinia Sclerotiorun Sclerotium rolfsii*, *Pythium spp.* y *Fusarium spp.*

Especies de las bacterias de los géneros *Agrobacterium*, *Bacillus* y *Pseudomonas* han sido utilizadas para el manejo enfermedades en plantas. Se destacan *Agrobacterium radiobacter*, la cual es comercializada para el control de las agallas producidas por

Agrobacterium tumefaciens; *Bacillus subtilis* para el control de *Rhizoctonia solani* y *Pseudomonas fluorescens* para controlar enfermedades producidas por *Pythium* y *Rhizoctonia solani*; *P. putida* para el control de *Erwinia carotovora* en papa. Cotes 1997.

Arbelaez G. (1997), hace referencia al uso de diferentes especies de *Trichoderma*: *T. harzianum*, *T. hamatum*, *T. viride* y *Glucadium virens* para el control de *Rhizoctonia solani*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Sclerotium rolfsii*, *Pythium sp* y *Phytophthora sp* en cultivos de flores. Igualmente aislamientos de *Trichoderma spp*, *Glucadium spp* y *Streptomyces spp* para el control de *Fusarium oxysporum* en Clavel (Muñoz 1998). Ávila y Velandia (1994), trabajaron con cepas de *Trichoderma* y *Glucadium* para el control de *Rhizoctonia* y *Sclerotinia sclerotiorum* en papa y lechuga, obteniendo reducciones en el daño por estos patógenos en un 60%.

2.1.1. Mecanismos mediante los cuales los antagonistas ejercen su acción.

Se plantean varios mecanismos entre los cuales se encuentran: antibiosis, competencia por espacio o por nutrientes, interacciones directas con el patógeno (micoparasitismo, lisis enzimática), e inducción de resistencia (Cook and Baker 1983, Citado por Vero & Mondino, 1999).

Antibiosis: Se refiere a la producción por parte de un microorganismo de sustancias tóxicas para otros microorganismos, las cuales actúan en bajas concentraciones (menores a 10 ppm.). La antibiosis es el mecanismo de antagonismo entre microorganismos más estudiado (Vero & Mondino, 1999).

Parasitismo: Generalmente se ven implicadas enzimas extracelulares tales como quitinasas, celulasas, b-1-3-glucanasas y proteasas que lisan o digieren las paredes de los hongos. (Melgarejo 1989, Ulhoa 1996).

Se reconoce la acción de antibiosis de varios organismos como *Pseudomonas fluorescens*, *P. putida*, *Trichoderma spp*, y *Glucadium sp*, algunos de los cuales son aplicados en cultivos de flores, café y macadamia (Bustamante 1995).

Competencia: Otro de los posibles mecanismos de acción antagonista es la competencia. Se puede definir competencia como el desigual comportamiento de dos o más organismos ante un mismo requerimiento, siempre y cuando la utilización del mismo por uno de los organismos reduzca la cantidad disponible para los demás. Un factor esencial para que exista competencia es que haya “escasez” de un elemento, si hay exceso no hay competencia. La competencia más común es por nutrientes, oxígeno o espacio (Droby et al. 2006).

Botrytis cinerea y *Penicillium expansum* son dos hongos de postcosecha típicamente dependientes de los nutrientes. Son hongos necrotróficos y sus esporas requieren de nutrientes exógenos para poder germinar y comenzar el crecimiento de las hifas antes de penetrar al sustrato. Esos nutrientes los encuentran en las heridas de las frutas y es allí donde la competencia microbiana actúa inhibiendo el desarrollo de estos hongos. Droby et al. (2006), estudiaron el mecanismo de antagonismo de una cepa de *Pichia guilliermondii* cuando se aplica sobre heridas de pomelos para controlar el ataque por *Penicillium digitatum*, en dicho trabajo concluyen que la competencia por nutrientes es uno de los mecanismos mediante los cuales se logra un efectivo control del patógeno en las heridas.

La competencia por espacio también ha sido reportada. Wilson et al, 1996, citado por Vero & Mondino 1999 mencionan que las levaduras son efectivas colonizadoras de la superficie de plantas y destaca la producción de materiales extracelulares (en especial polisacáridos) que restringen el espacio para la colonización por otros microorganismos.

Parasitismo: El término parasitismo se refiere al hecho de que un microorganismo parasite a otro. Puede ser definido como una simbiosis antagonista entre organismos. El parasitismo consiste en la utilización del patógeno como alimento por su antagonista. Generalmente se ven implicadas enzimas extracelulares tales como quitinasas, celulasas, Beta-1-3-glucanasas y proteasas que lisan las paredes de las hifas, conidios o esclerotos (Melgarejo 1989, Ulhoa 1996).

Los ejemplos más conocidos de hongos hiperparásitos son *Trichoderma* spp y *Gliocladium* spp. Ambos ejercen su acción mediante varios mecanismos entre los que juega un rol importante en el parasitismo.

Hongos del género *Trichoderma* han sido muy estudiados como antagonistas de patógenos de suelos como *Rizoctonia solani*, *Sclerotium rolfsii* y *Sclerotium cepivorum* y existen varias formulaciones comerciales desarrolladas a partir de ellos (Fravel 1998).

Producción de sideroforos: Es uno de los mecanismos importantes que presentan las rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal (PGPR) para el control de poblaciones de fitopatógenos. Los sideroforos son estructuras o complejos orgánicos que atrapan hierro. Tienen alta afinidad por el hierro. El hierro, es un elemento abundante en la tierra, sin embargo solo es disponible a pH 7.4. La secreción de sideróforos por los microorganismos es más alta que la disponibilidad de hierro soluble en el medio y puede obtenerlo con concentraciones de 10^{-20} M. Por carencia de hierro se deprimen los fitopatógenos del medio circundante a la raíz y los receptores están a nivel de membrana celular (Bakker, et al. 2003).

Resistencia sistémica inducida (IRS): Es un mecanismo mediante el cual un organismo puede cambiar el metabolismo de otro. Se ha demostrado que algunos microorganismos pueden inducir resistencia a patógenos, igualmente este mecanismo ha sido estudiado con algunas plantas que tienen la propiedad de inducir mecanismos de resistencia (Pérez, 2005).

Se ha demostrado que levaduras utilizadas para el biocontrol de patógenos de postcosecha además de competir por espacio y nutrientes son capaces de inducir resistencia en la planta. Tal es el caso de *Pichia guilliermondii* (US-7), la cual se ha mostrado ser inductora de la producción de fitoalexinas en frutos cítricos (Wilson et al 1994).

2.2. Extractos de plantas y uso de plantas antagonicas de fitopatógenos.

Se ha demostrado que plantas tienen efectos fungicidas, viricidas, nematocidas y bactericidas. Algunas especies del género *Marchantia* (Hepaticae) y del género *Sphagnum* se han reportado como plantas con potencial bactericida (Atehortua, 1994).

Igualmente plantas como *Allium sativum* (Alliaceae), *Citrus medica* (Rutaceae), *Lycopersicon hirsutum* (Solanaceae), *Ricinus communis* (Euphorbiaceae), *Annona* sp (Annonaceae), *Capsicum* sp (Solanaceae), *Tagetes patula*, *Nicotiana tabacum* (Solanaceae), han sido reportadas controlando bacterias, hongos y nematodos (Rodríguez, 2000; Atehortúa, 1994 J. H. Bowers and J. C. Locke)

Trabajos de investigación han demostrado que el extracto de cebolla y de ajo detiene el desarrollo de *Phytophthora* en papa ISCAH, 1987.

Entre las plantas antagonicas más estudiadas en los sistemas de cultivo están especies de *Tagetes* y otras asteraceas, por ejemplo: *Helenium* spp., *Cosmos* spp., *Gaillardia* spp., *Caléndula officinalis*, *Zinnia elegans*, entre otras. Numerosos experimentos han mostrado que varias especies y cultivares de *Tagetes* pueden controlar eficientemente nemátodos en cultivos establecidos, ya sea cuando se usan como rotación, en cultivos de cobertura o como enmienda al suelo; además varios compuestos nematocidas han sido obtenidos de esta especie. La reducción en la densidad de población de los nemátodos frente a la presencia de *Tagetes* spp. se debe a sustancias presentes en las raíces de estas plantas, las que inducen la muerte de los individuos y que están ubicadas preferentemente en la endodermis. Uno de estos compuestos aislados es a-terthienyl, el cual también ha sido extraído desde las flores de esta especie, y que ha mostrado ser uno de los más potentes en esta acción (Aballay, 2005).

También se han estudiado algunas brassicaceas como *Brassica rapa*, *Ricinus comunis*, *Asparagus officinalis*, *Sesamun oriental*, y algunas fabaceas como

Crotalaria spp., *Stizolobium deernigianum*, *Cassia fasciculata*, las cuales poseen un efecto nematocida y no son buenos hospederos de nemátodos fitoparásitos, por lo cual pueden ser utilizadas en rotaciones, abonos verdes, cultivos intercalados o de cobertura, o como enmiendas (Aballay, 2005 (Hernández et al., 1994 citado por Pérez, Fernandez & Vázquez, 1995)

Okigbo & Ogbonnaya (2006), demostraron el efecto de extractos de hojas de *Ocimum gratissimum* y *Aframomum melegueta* sobre la germinación de esporas y la reducción del crecimiento micelial de varios hongos patógenos causantes de la pudrición blanda del ñame (*Dioscorea spp.*).

Angus et al. (1994), demostraron que las sustancias volátiles de las brasicas inhiben el crecimiento del hongo del trigo *Gaeumannomyces graminis*, ejerciendo un efecto biofumigante que se debe a los isotiocianatos.

Los metabolitos secundarios son sustancias producidas por los vegetales y los microorganismos que no intervienen en forma directa en las funciones metabólicas primarias.

Los metabolitos secundarios tienen una enorme variedad estructural, distribución específica en la planta, varía con la parte de la planta, con la edad de la planta, los factores climáticos y edáficos y con la exposición a los microorganismos y a los herbívoros (Cruz De Matos, O. 2000, citado por Alcalá et al. 2005).

Aminoácidos no proteicos presentan toxicidad especialmente los que tienen estructuras similares a los aminoácidos proteicos, las cuales son incorporadas a las proteínas del organismo originando pérdida o deterioro en la actividad enzimática de insectos y patógenos.

2.3. Caldos minerales

Se llaman caldos minerales a las suspensiones de algunos elementos en agua como el cobre, la cal,

el azufre, el zinc, las cuales se utilizan para el manejo de enfermedades y corrección de deficiencias nutricionales. Las sales de cobre han sido empleadas para controlar muchas enfermedades en las plantas cultivadas. Igualmente el azufre es reconocido como uno de los más antiguos productos utilizados para el tratamiento de muchos cultivos, es usado en polvo y en la forma de varios compuestos a base de calcio.

La nutrición de la planta es equilibrada cuando recibe todos los nutrientes necesarios en las cantidades necesarias para formar proteínas, enzimas y todas las sustancias para las cuales esta genéticamente programada (Primaveci, 1994). El equilibrio depende de la existencia de una proporción entre los elementos, se plantea las siguientes proporciones:

N/ Cu (nitrógeno /cobre)-
Cu/Mo/Co (cobre, molibdeno/ cobalto)
P/S (fósforo/ magnesio)
P/Zn (fósforo/zinc).

El zinc y cobre actúan como fertilizantes al suplir deficiencias de éstos elementos en las plantas. Además de su natural aporte de nutrientes, actúa como tóxico citoplasmático resultado de la acción conjunta del ácido cítrico y la acumulación de iones metales en hongos y bacterias, afectando así a sus proteínas citoplasmáticas y membranas celulares. Por otra parte, presenta un efecto inhibitorio sobre propágulos y esporas.

El sulfato de zinc en mezcla con azufre, es muy útil para corregir las deficiencias nutricionales de muchos cultivos con carencia de este nutriente, en especial en citricultura. La deficiencia de este elemento en los naranjales se manifiesta en la forma de manchas cloróticas llamadas foliocolosis. También, este signo puede estar asociado a la falta de calcio en el suelo. Se recomienda hacer corrección del calcio en el suelo aplicar al follaje el caldo a base de zinc.

Una adecuada nutrición de potasio ayuda a las plantas a tolerar el ataque de patógenos. En ensayos de campo se ha demostrado que en suelos con bajos

contenidos de potasio las aplicaciones de este elemento tiene un efecto positivo en la disminución de la incidencia de enfermedades en las plantas.

Cuando hay una nutrición deficiente en potasio, se acumulan compuestos solubles de bajo peso molecular, especialmente compuestos nitrogenados y azúcares debido a que se incrementa la actividad de descomposición de enzimas como las amilasas, sacarasas, glucosidasas y proteasas (Trollenier & Zehler 1976) y se reduce la fosforilación. Esta acumulación de sustancias solubles de bajo peso molecular va acompañada del incremento de poblaciones de parásitos, se plantea que dichos parásitos utilizan estos compuestos solubles como fuente de alimentación.

Una nutrición adecuada de potasio incrementa el contenido de fenoles y de ortodihidroxifenoles en las plantas lo cual incide en los mecanismos de resistencia de las plantas, igualmente se ha demostrado que cambia la morfología de los tejidos ya que se ha demostrado que se mejora la formación de tejidos esclerenquimatosos, estimula la lignificación y estimula la silicificación (Vaithiligan & Balasbrmanian, 1976). Es importante el balance nutricional entre nitrógeno y potasio

2.3.1 Uso del compost para el control de enfermedades

El uso del compost está planteado para el manejo de varias enfermedades tanto foliares, vasculares como radicales. El calor generado durante el proceso mata a los organismos patógenos pero también son afectados los agentes de control biológico con excepción de *Bacillus* spp, una estrategia es recolonizar el compost con microorganismos benéficos después del pico de calor (Hoitink et al. 1997).

Bacillus spp., *Flavobacterium balustinum*, *Pseudomonas* spp., y *Streptomyces* spp entre otros géneros bacterianos, han sido identificados como agentes de biocontrol específicos. Igualmente hongos de los géneros *Penicillium* spp., varios *Trichoderma*

spp., *Gliocladium virens* y otros hongos, han sido identificados como agentes de biocontrol en sustratos tratados con compost (Hoitink et al. 1997).

Trabajos realizados con aplicaciones de suspensiones de compost muestran reducción de los síntomas de las enfermedades foliares (Vallad et al 2003)

Se han observado disminución de las poblaciones del nematodo *M. incognita*, utilizando compost de champiñón (5 kg m²) Arias et al. (1999), igualmente. Quiroga-Madrigal et al. 1999; Rubiano-Rodríguez y Vargas-Ayala 1999, citados por Bello et al (2000) han estudiado el efecto de canavalia, crotalaria y *Mucuna deeringiana* sobre la actividad enzimática del suelo y su utilización para el control de *Meloidogyne*, *Pratylenchus* y *Radopholus*.

2.3.2 Biofumigación y solarización

Se define como biofumigación a la utilización de materia orgánica en el suelo, que ejerce acción biocida durante su descomposición.

La descomposición de la materia orgánica produce gran cantidad de productos químicos que pueden actuar en el control de los patógenos del suelo. El amonio, nitratos, sulfídrico y un gran número de sustancias volátiles y ácidos orgánicos pueden producir una acción nematicida directa o afectar a la eclosión de los huevos o la movilidad de los juveniles de nematodos; los fenoles y los taninos son también nematicidas a ciertas concentraciones (Mian et al. 1982; Mian y Rodríguez-Kábana 1982, citados por Bello et al. 2000)

Kirkegaard et al. (1993a,b), Angus et al. (1994) y Kirkegaard et al. (1994) demuestran que las sustancias volátiles de las brasicas inhiben el crecimiento del hongo del trigo *Gaeumannomyces graminis*, demostrando que el efecto biofumigante se debe a los isotiocianatos. Oliveira et al. (1996) encuentran que fracciones proteicas obtenidas de *Cannavalia ensiformis* inhiben el crecimiento de los hongos *Macrophomina phaseolina*, *Colletotrichum gloeosporioides* y *Sclerotium rolfsii*. Vulsteke et

al. (1996) señalan el interés del abono verde en el control de *Pythium violae* en zanahoria.

La descomposición de la materia orgánica produce ácidos orgánicos como el ácido propiónico, ácido butírico, ácido sulfídrico, ácidos hidroxámicos, ácido fumárico, ácido málico, ácido succínico, ácidos fenólicos, ácido cítrico, amonio, nitratos, etanol, metano, isotiocianatos (en Brassicaceas), los cuales son tóxicos para muchos microorganismos Bello, et al 2000.

La solarización del suelo es un método de desinfección, el cual controla patógenos del suelo. Se basa en el uso de la energía solar como fuente de calor para elevar la temperatura del suelo y la humedad para potenciar su efecto (Aballay, 2005).

El cubrimiento del suelo con polietileno (generalmente transparente), aumenta el efecto térmico

y evita las pérdidas de calor y humedad, logrando elevar la temperatura hasta niveles letales para muchos organismos que habitan el suelo. Además, se producen cambios biológicos, químicos y físicos en el suelo, que se traducen en beneficios para el desarrollo y crecimiento de las plantas cultivadas posterior a la solarización (DeVay, 1991, citado por Montealegre, 2005).

La solarización causa cambios físicos, químicos y biológicos en el suelo y también mejora la nutrición de las plantas, aumentando la disponibilidad de nitrógeno y otros nutrientes esenciales. Produce cambios en la producción de compuestos volátiles como el amoníaco y la acumulación de CO₂, los cuales pueden tener una función importante en el proceso de desinfección de suelos durante la solarización ((Pullman et al, 1989; Devay, 1991, Stapleton, 1991, citados por Aballay, 2005).

BIBLIOGRAFÍA

Aballay, 2005. Uso de la solarización para el control de nemátodos fitoparásitos en cultivos. http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/lb/ciencias_agronomicas/montealegre_j/17.html

Angus, J.F; P.A. Gardner; J. A. Kirkegaard; J. M. Desmarchelier. 1994. Biofumigation: Isothiocyanates released from *Brassica* roots inhibit growth of the take-all fungus. *Plant and Soil* 162, 107-112.

Arias, M.; J.A. López-Pérez; R. Sanz; M. Escuer. 1999. Alternativa a metilbromuro para el control de nemátodos en un cultivo de pepino-berza en invernadero. Abstract of XXXI Annual Meeting ONTA. 21-25 June, 1999, San Juan, Puerto Rico. *Nematropica* 29, 115.

Hoitin V. H. ; Stone A. & Han D. 1997. Supresión de enfermedades de plantas mediante compost. *Agronomía Costarricense* 21(1): 25-33. 1997

Alcala, D.; Vargas, N. & Pire, A. 2005. Efecto de extractos vegetales y fungicidas sintéticos sobre el crecimiento micelial in vitro de *Sclerotium rolfsii* y *Thielaviopsis basicola*. *Rev. Fac. Agron.* v.22 n.4 Caracas oct. 2005

López J. Díaz, I. Biofumigación y solarización como alternativas al bromuro de metilo. <http://www.geoscopio.com/empresas/aecientificos/intereshtml/biofumigacion/solarizacion.htm>

Vallada, G.; Cooperbandb, I. & Goodman, M. 2003. Plant foliar disease suppression mediated by composted forms of paper mill residuals exhibits molecular features of induced resistance. *Physiological and Molecular Plant Pathology* 63: 65-77.

Dorman H. & Deans, S. 2000. Antimicrobial agents from plants: antibacterial activity of plant volatile oils. *Journal of Applied Microbiology* 88 : 308-316

Oliveira, A., Gomes, V. Sales, M.; Fernandes, K., Carlini, C. & Xavier-F. 1999. The toxicity of jack bean [*canavalia ensiformis* (L.) dc.] canatoxin to plant pathogenic fungi. *Rev. Brasil. Biol.*, 59(1): 59-62

Antifungal effects of two tropical plant leaf extracts (*Ocimum gratissimum* and *Aframomum melegueta*) on postharvest yam (*Dioscorea* spp.) rot. Okigbo R. N.* and Ogonnaya, U. O. *African Journal of Biotechnology* Vol. 5 (9), pp. 727-731, 2 May 2006

Aballay, E. 2005. USO DE PLANTAS ANTAGÓNICAS PARA EL CONTROL DE NEMÁTODOS FITOPARÁSITOS EN VIDES http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/lb/ciencias_agronomicas/montealegre_j/19.html

Arbeláez, G. 1997. Control biológico de patógenos radicales en cultivos de flores de exportación. En: Seminario Internacional Control biológico de Fitopatógenos. Corpoica Centro de Investigaciones Tibaitata. Bogota. P 32-39.

Arrebola, E. 1998. Toxinas bacterianas causantes de necrosis en plantas. Encuentros en biología. No.50.1998. <http://www.encuentros.uma.es/encuentros50/toxinas.html>

Bakker, P.; Ran, L. Pieterse, C. & Van L. 2003. Understanding the involvement of rhizobacteria-mediated induction of systemic resistance in biocontrol of plant diseases. *Canj. Plant Pathol.* 25:5-9.

Benavides, N. 1984. Fitobacteriología. En: Microbiología agrícola

Bustamante 1995. Control biológico de patógenos de plantas. En: Memorias Curso Internacional Manejo Integrado de plagas. San Juan de Pasto Nariño. Colombia pp 19-21.

Carzola, F. 1996. Factores de virulencia en bacterias patógenas. Encuentros de biología. No.34. [Http:// www.encuentros.uma.es/encuentros34/virul34.html](http://www.encuentros.uma.es/encuentros34/virul34.html).

Cotes, A. 2000. Utilización Combinada de Técnicas de pregerminación controlada de Semilla y del Agente de Control Biológico *Trichoderma sp* para el control de Patógenos radicales. En : Memorias I Curso- Taller Internacional de Control biológico. Componente fundamental del manejo integrado de plagas en una agricultura sostenible. Santafé de Bogota. Pp137-141.

Cotes. A. 1997. Control biológico de fitopatógenos radicales en cultivos de hortalizas y leguminosas. En : Seminario Internacional Control biológico de Fitopatógenos. Corpoica Centro de Investigaciones Tibaitata. Bogota. P 13-17.

Creces, 2003. <http://www.difusioncultural.uam.mx/revista/mar2005/index.html>

Delgadillo, D. 2003. RNA de interferencia bloqueando la libertad de expresión <http://www.difusioncultural.uam.mx/revista/mar2005/index.html>

Durán, V. 1997. Mecanismos de acción de fitotoxinas bacterianas. Encuentros en Biología. No.43 <http://www.ciencias.uma.es/publicaciones/encuentros/ENCUENTROS43/fitotoxinas.htm>.

Heil, M. & Bostock, 2002. Induced Systemic Resistance (ISR) Against Pathogens in the Context of Induced Plant Defences. R. Annals of Botany 89: 503-512

Herrera, C. 1987. El proceso patológico. En: Manual complementario de inmunología Ve-

getal. Ministerio de educación superior. Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias. La Habana. Cuba.26-40 pp.

IITA. 2004. Protección Vegetal. <http://html.rincondelvago.com/proteccion-vegetal.html>

ISCAH, 1987. Categorías y factores de la inmunología vegetal. En: Manual complementario de inmunología vegetal. Ministerio de educación superior. La Habana. Cuba. 13-25 pp

ISCAH, 1987. Las propiedades defensivas de las plantas contra los organismos patógenos.. En: Manual complementario de inmunología vegetal. Ministerio de educación superior. La Habana. Cuba. 41-85 pp.

ISCAH, 1987. Proceso patológico. En: Manual complementario de inmunología vegetal. Ministerio de educación superior. La Habana. Cuba. 26-40 pp.

Mayea, S. 1981. Hongos. Distribución e importancia. En: Microbiología agrícola. Editorial Pueblo y Educación. La Habana. 49-67pp.

Montealegre, J. 2005. Uso de la solarización y bioantagonistas para el control de patógenos radicales y malezas en el cultivo del tomate y de la frutilla en Chile.. http://mazingersisib.uchile.cl/repositorio/lb/ciencias_agronomicas/montealegre_j/15.html

Perez, L. 1993. Enfermedades causadas por Ascomycetos. En: Enfermedades de las plantas. Editorial Lealon . Medellín. 17-92 pp

Pérez, N; Fernández, E. & L. Vázquez. 1995. Concepción del Control de Plagas y Enfermedades. En: La Agricultura Orgánica. Conferencias y Mesas Redondas II Encuentro Nacional de Agricultura Orgánica, I.C.A. La Habana. Cuba: 48-55.

Pérez, L. 2005. Bases moleculares del control biológico de fitopatógenos. Experiencia Chilena http://mazingersisib.uchile.cl/repositorio/lb/ciencias_agronomicas/montealegre_j/2.html

Plasterk, R. 2002. RNA silencing: The genome's immune system. *Science* Vol.296:

Rivera, M. & Codina, J. 1997. Mecanismos de infección de los hongos fitopatógenos. *Encuentros de Biología*. No.6. <http://www.ciencias.uma.es/publicaciones/encuentros/ENCUENTROS36/fitopatogenos.html>.

Schäfer W (1994). Molecular mechanisms of fungal pathogenicity to plants. *Ann Rev Phytopathol* 32:461-477.

Schoonbeek H, Del Sorbo G, & De Waard MA (2001). *Ann Rev Phytopathol* 32:461-477.

Trolldenier, G. & Séller, E. 1976. Relation between plant nutrition and rice disease. Fertilizer use and plant health. *Proc. 12 th coll. Internat. Potash inst. Bern* 85-93

Vaithilingam, C. & Balasubramaniam, M. 1976. Effect of potash nutrition on the incidence and severity of different insect pest of rice crop (*Oriza sativa* L. *Sth International Potash Institute competition for Young Research Workers, Bern*.

Van, L.; Bakker P. & Pieterse C. 1998. Systemic resistance induced by rhizosphere bacteria. *Annu. Rev. Phytopathol* 36:453-83

Vero, S & Mondino, P. 1999. Control biológico postcosecha en Uruguay. *Horticultura internacional*. Año No. 26-1-10.

Vivanco, J.; Cosio, E. Loyola, V. & Flores, H. 2005. Mecanismos químicos de defensa en las plantas. *Investigación y Ciencia* 341: 68-75 .

Waterhouse, P.; Wang, M. & Lough T. Gene silencing as an adaptive defence against viruses. *Nature* Vol.411: 834-842.

Wei, G. Kloepper, J. & Tuzun S. 1996. Induced systemic resistance to cucumber diseases and increased plant growth-promoting rhizobacteria under field conditions. *Phytopathology*: Vol.66 No.2: 221-224.

Fravel, D. 1998. Commercial biocontrol products for use against soilborne crop diseases. [Http://: barc.usda.gov/psi/bpdl/bpdlprod/bioproduct.html](http://barc.usda.gov/psi/bpdl/bpdlprod/bioproduct.html)

Droby, S. 2006. Biological control of postharvest diseases of fruits and vegetables: difficulties and challenges, *Phytopathol. Pol.* 39: 105-117