

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

“Estudio Comparativo de dos Biofertilizantes Líquidos en
Condiciones *in vitro* e Invernadero en Plantas de Banano y su
Efecto en el Desarrollo de la Sigatoka Negra (*Mycosphaerella
fijiensis* Morelet)”

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO AGROPECUARIO

Presentada por:

Diego Fernando Quito Ávila

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2007

AGRADECIMIENTO

A todas las personas que de una u otra forma colaboraron con la realización de este trabajo, de manera muy especial a la Dra. Helga Rodríguez, Directora del CIBE y a la Ing. María Isabel Jiménez, Directora de Tesis, por su incondicional e invaluable ayuda.

DEDICATORIA

A TODA MI FAMILIA,
A LA ING. MARIA
ISABEL JIMÉNEZ Y
A MI PAIS.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Ing. Eduardo Rivadeneira P.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE

MSc. María Isabel Jiménez F.
DIRECTORA DE TESIS

MSc. Edwin Jiménez R.
VOCAL

MSc. Miguel Quilambaqui J.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

Diego Fernando Quito Ávila

RESUMEN

El presente estudio se enmarca dentro del ámbito de la Producción Sostenible de Banano en Ecuador. Con la realización de este trabajo, se logró contribuir en la investigación sobre el efecto directo de los biofertilizantes líquidos en la formación de colonias y el crecimiento del micelio de *Mycosphaerella fijiensis*, bajo condiciones de laboratorio.

Mediante la siembra de conidias y colonias de *M. fijiensis* sobre medios de cultivo “envenenados” con biofertilizantes líquidos, obtenidos en dos haciendas orgánicas de la provincia de El Guayas, se logró validar la hipótesis que propone que los biofertilizantes líquidos, además de poseer propiedades nutricionales para las plantas, detienen el desarrollo conidial y micelial de *M. fijiensis*.

Un total de cuatro biofertilizantes fueron estudiados y probados durante el experimento, dos de ellos provenientes de una Hda. orgánica situada en el cantón Taura, y los otros dos provenientes de una Hda. orgánica situada en el cantón Balao. Cada uno de estos productos fue evaluado en medios sólidos y líquidos, con procesos de esterilización al frío y al calor. Además fueron evaluados en estado sólido, para lo cual los productos fueron sometidos a un proceso de liofilización.

Una segunda fase del experimento, ensayo *in vivo*, fue conducida en plantas de banano en fase 1 (variedad Williams, grupo Cavendish AAA) sobre las cuales se realizaron aplicaciones foliares de biofertilizantes líquidos más fertilizantes convencionales, en diferentes concentraciones (tratamientos), por un período de ocho semanas. Luego de este período, las plantas fueron inoculadas con una solución conidial de *M. fijiensis* y posteriormente evaluadas semanalmente para registrar el desarrollo sintomático de Sigatoka Negra sobre las plantas.

El estudio reveló que los biofertilizantes presentes en concentraciones al 30% y 70% en medios de cultivo, tanto sólidos como líquidos, inhibían totalmente el desarrollo de conidias y micelio de *M. fijiensis*, mientras que los biofertilizantes presentes en concentraciones al 10% inhibían parcialmente el desarrollo del hongo.

Por otro lado, los biofertilizantes esterilizados al calor y al frío se comportaron de la misma forma, lo que descartó la posibilidad de que los biofertilizantes pierdan alguna propiedad inhibitoria en el proceso de esterilización al calor. El ensayo con los biofertilizantes liofilizados mostró una leve reducción en el efecto inhibitorio al ser evaluados en medio sólido.

En el ensayo *in vivo*, la evaluación sobre parámetros agronómicos reveló toxicidad en las plantas por parte de los biofertilizantes, dentro de los cuales el de Taura registró la mayor toxicidad en concentraciones del 70% biofertilizante + 30% agua. El desarrollo de la enfermedad fue menor en plantas tratadas con los biofertilizantes que en las plantas tratadas con los controles absolutos (no aplicaciones) y convencionales (fertilizante convencional).

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	I
ÍNDICE GENERAL.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	X
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1	
1. EL CULTIVO DE BANANO.....	3
1.1 Distribución geográfica.....	3
1.2 Importancia económica.....	5
1.3 Taxonomía.....	6
1.4 Variedades.....	9
1.5 Manejo agronómico del cultivo.....	14
1.6 Plagas y enfermedades.....	19
1.7 Comercialización y mercadeo.....	37

CAPÍTULO 2

2. LA SIGATOKA NEGRA.....	44
2.1 Origen y distribución.....	44
2.2 Importancia económica.....	45
2.3 Etiología.....	48
2.4 Mecanismos de resistencia de la enfermedad.....	51
2.5 Manejo de la enfermedad.....	54

CAPÍTULO 3

3. LOS BIOFERTILIZANTES LÍQUIDOS.....	60
3.1 Origen.....	60
3.2 Importancia económica.....	62
3.3 Propiedades y características de los materiales utilizados en su elaboración.....	63
3.4 Elaboración de los biofertilizantes líquidos.....	65
3.5 Calidad de los biofertilizantes líquidos.....	70
3.6 Los biofertilizantes líquidos en el control de Sigatoka Negra.....	80

CAPÍTULO 4

4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	82
------------------------------	----

CAPÍTULO 5

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....96

CAPÍTULO 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....111

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

PDA	Papa Dextrosa Agar
Pa	Pascal

SIMBOLOGÍA

cm	Centímetro
gr	Gramo
Kg	Kilogramos
Km	Kilómetro
L	Litro
ml	Mililitro
mg	Miligramo
mm	Milímetro
rpm	Revoluciones por minuto
μm	Micrómetro
V	Volumen

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1	Rangos de niveles mínimos de microorganismos deseados en el té de compost.....	77
TABLA 2	Comparación de las características de tés capaces y no capaces de suprimir enfermedades.....	78
TABLA 3	Composición bioquímica del biol.....	79
TABLA 4	Comparación de la composición físico-química del biol proveniente de estiércol vacuno (be) y de estiércol más alfalfa picada (bea).....	79
TABLA 5	Diferencias en los síntomas de Sigatoka Negra en plántulas de banano bajo condiciones de invernadero (n=30).....	108
TABLA 6	Composición nutricional de los biofertilizantes procedentes de Taura.....	110
TABLA 7	Composición nutricional de los biofertilizantes procedentes de Balao.....	110

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1.1.	Esquema de la cadena de comercialización internacional del banano.....	40
GRÁFICO 1.2.	Distribución de las exportaciones mundiales de banano, período 2000 – 2004.....	41
GRÁFICO 1.3.	Distribución de las importaciones mundiales de banano, período 2000-2004.....	42
GRÁFICO 1.4.	Evolución de los términos del negocio en el banano, período 1961-2004.....	43
GRÁFICO 5.1.	Diámetro de colonias a los 7 y 15 días con el biofertilizante Taura del mes de julio.....	97
GRÁFICO 5.2.	Diámetro de colonias a los 7 y 15 días con el biofertilizante Balao.....	98
GRÁFICO 5.3.	Peso micelial neto del hongo en medio líquido en ensayos con los biofertilizantes Taura y Balao de julio.....	99
GRÁFICO 5.4.	Diámetro de colonias a los 7 y 15 días con el biofertilizante Taura recolectado en el mes de septiembre.....	100
GRÁFICO 5.5.	Diámetro de colonias a los 7 y 15 días con el biofertilizante Balao de septiembre.....	101
GRÁFICO 5.6.	Peso micelial neto del hongo en medio líquido en ensayos con los biofertilizantes Taura y Balao de septiembre.....	102
GRÁFICO 5.7.	Diámetro de colonias en ensayos con biofertilizantes liofilizados, elaborados en julio.....	103

GRÁFICO 5.8.	Diámetro de colonias a los 15 días de los ensayos semanales con los biofertilizantes Balao y Taura de julio en medio sólido.....	104
GRÁFICO 5.9.1.	Altura de plantas tratadas con los dos biofertilizantes.....	106
GRÁFICO 5.9.2.	Número de hojas totales evaluadas durante 9 semanas... ..	107

INTRODUCCIÓN

El banano, el cultivo más importante en la economía del país, enfrenta desde hace dos décadas un problema fitosanitario foliar de difícil manejo conocido como Sigatoka Negra el cual es producido por el hongo *Mycosphaerella fijiensis*.

La Sigatoka Negra, representa un rubro importante en los costos de producción del banano y un impacto ambiental negativo por las aplicaciones de fungicidas, las mismas que se realizan con una frecuencia promedio de 24 ciclos al año (85).

Este impacto ambiental negativo, amenaza la sostenibilidad del cultivo ya que *M. fijiensis* desarrolla insensibilidad al ser expuesto a continuas aplicaciones de fungicidas de alto riesgo, lo que en términos económicos significa una dependencia cada vez mayor a estos productos.

Para disminuir el impacto ambiental negativo de las aplicaciones de fertilizantes químicos y fungicidas utilizados en el manejo de la Sigatoka Negra se están desarrollando nuevas alternativas de manejo. Una de estas alternativas es la utilización de biofertilizantes líquidos tanto a nivel radicular como foliar.

Los biofertilizantes contribuyen a la nutrición y balance de macro y micronutrientes en las plantas y también contribuyen en la inhibición del desarrollo del *M. fijiensis*, según experiencias en fincas bananeras orgánicas.

Los biofertilizantes líquidos, que se preparan en fincas bananeras ecuatorianas, son productos que resultan de la fermentación anaeróbica de la materia orgánica de origen animal y vegetal. Una de las características principales, según los análisis químicos realizados a esta clase de productos, es que éstos poseen cantidades suficientes de macro y micronutrientes en los cuales se basa su efecto nutricional.

Un primer estudio (en vías de publicación) a nivel de campo en una Hda. de El Guayas, reveló que los biofertilizantes líquidos actúan sobre el desarrollo de *M. fijiensis* deteniendo el avance de la enfermedad. En el presente estudio se analiza el efecto directo de los biofertilizantes líquidos en la formación de colonias y el crecimiento de micelio de *M. fijiensis*, bajo condiciones de laboratorio.

Esperamos con este estudio contribuir al adelanto de las investigaciones que se desarrollan en el área de la Agricultura Alternativa y Sostenible, no solo de este país sino de todo el mundo.

CAPÍTULO 1

1. EL CULTIVO DE BANANO.

1.1. Distribución Geográfica.

El banano se origina en el Sudeste de Asia, en las junglas de Malasia, Indonesia y Filipinas, y está distribuido desde África Occidental hasta el Pacífico (87).

Los primeros europeos que conocieron este cultivo fueron los guerreros de Alejandro El Grande mientras hacían campaña en India en el año 327 AC. Los árabes luego lo introdujeron a África de donde los portugueses lo llevaron a las Islas Canarias.

Durante todos estos viajes el banano fue cambiando y diversificándose gradualmente hasta perder sus semillas y convertirse en la fruta carnososa que hoy en día conocemos (12).

Cuando los exploradores españoles y portugueses fueron al Nuevo Mundo, el banano viajó con ellos y en 1516 Tomás de Berlanga lo introdujo a Santo Domingo y desde entonces se dispersó al Caribe y América Latina.

El banano empezó a ser negociado internacionalmente al final del siglo XIX, cuando se crearon sistemas de transporte adecuados para la fruta.

El primer bote diseñado especialmente para el transporte del banano fue construido en 1888, y el primer compartimiento refrigerado en un barco bananero fue instalado en 1901.

Hasta 1960 el banano se exportaba en racimos, ese año, la Standard Fruit Company comenzó a embalar las manos de bananos, separadas en cajas de cartón con un peso de 20 a 22 Kg., procedimiento que luego fue imitado por las otras compañías exportadoras del producto (87).

1.2. Importancia Económica.

El banano es el cuarto cultivo de mayor importancia a nivel mundial luego del trigo, arroz y maíz. Es la fruta de mayor exportación en términos de volumen y la segunda, luego de los cítricos, en términos de valor. La quinta parte de la producción mundial de este cultivo es comercializada internacionalmente (20).

La industria del banano representa una muy importante fuente de ingresos y empleo para los principales países exportadores de Latinoamérica, el Caribe, Asia y África.

En el 2003, la producción mundial de banano fue liderada por India con aproximadamente 23% del total, mayor parte de la cual fué destinada al mercado doméstico. En el 2004, 15.9 millones de toneladas de banano fueron exportadas a nivel mundial.

Los cuatro países que lideran las exportaciones son Ecuador, Costa Rica, Filipinas, y Colombia. Mientras que los mayores productores son India, Brasil, China, Ecuador, Filipinas, Indonesia, Costa Rica, México, Tailandia y Colombia (20).

En Ecuador, primer exportador y cuarto productor del mundo, las divisas generadas por este cultivo representan el 32% del comercio mundial del banano y contribuyen con un 3.84 % del producto interno bruto total, 50% del PIB Agrícola y 20% de las exportaciones privadas del país.

Las inversiones en la actividad y en las Industrias colaterales generan trabajo para más de 500.000 familias, esto es más de 2,5 millones de personas localizadas en 9 provincias que dependen de la Industria Bananera ecuatoriana (1).

1.3. Taxonomía

La clasificación taxonómica del banano ha sido objeto de mucho estudio debido a su complejidad.

Los cultivares de banano y plátano son derivados de las especies silvestres *Musa acuminata* Colla y *Musa balbisiana* Colla. Los híbridos provenientes de estas dos especies son muchas veces nombrados como *Musa X paradisiaca* L., *Musa X sapientum* L., o incluso, *M. acuminata X M. balbisiana* Colla, (66).

A partir de 1753, basado en escasos ejemplares disponibles en Europa, Linneo clasificó a dos especies de banano como *Musa*

paradisiaca y *Musa sapientum*. Dicha clasificación se utilizó durante casi dos siglos debido a que las variedades introducidas en América y África se relacionaban estrechamente (87).

En 1948 el botánico Cheesman descubrió que las especies descritas y publicadas en los dos siglos anteriores fueron numerosas, es entonces cuando, luego de algunos estudios, Cheesman identificó a los tipos linneanos como híbridos producidos por el cruzamiento de dos especies descritas por Luigi Colla, *M. acuminata* y *M. balbiana*. A partir de ellos, clasificó a las múltiples variedades cultivares en tres grupos según su dotación genética; uno de ellos descendería principalmente de cada una de las especies progenitoras, mientras que un tercero estaría formado por híbridos de rasgos mixtos (12).

A mediados de los años 50's Simmonds y Shepherd, que también trabajaron con Cheesman, propusieron un sistema único para la denominación de aquellas especies.

Este sistema consistía en la sustitución de los nombres linneanos por un código *ad hoc* para expresar el genotipo de la variedad. Cada híbrido se identificaría por una clave de entre dos y cuatro letras, de acuerdo a su ploidía. Cada letra respondería al origen de la variedad,

siendo A para designar una rama genética procedente de *M. acuminata* o B para una procedente de *M. balbisiana*. De ese modo, un híbrido triploide con dos juegos de cromosomas procedentes de *M. acuminata* y uno de *M. balbisiana* se identificaría como AAB, y un diploide puro de *M. balbisiana* como BB, (87).

Las investigaciones han revelado que las variedades de origen A son más numerosas que las de origen B; la mayoría de los cultivares son AAA o AAB, varios plátanos son ABB, y AB. Los tetraploides del tipo AABB o AB BB son más raros (87).

Aunque la expresión botánicamente más correcta para designar a las especies de banano sería *M. acuminata x balbisiana* de acuerdo a las reglas del Código Internacional de Nomenclatura Botánica, el nombre linneano cuenta con prioridad y sigue siendo usado para designar genéricamente a las variedades tanto en su forma original como en la modificada *Musa x paradisiaca* (100).

Clasificación Científica del Banano

Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Liliopsida
Orden:	Zingiberales
Familia:	Musaceae
Genero:	Musa
Especie:	<i>paradisiaca</i>

Nombre binomial: *Musa x paradisiaca*, (45).

1.4. Variedades

Como se explicó en el apartado anterior, el banano puede ser clasificado en diferentes grupos de acuerdo a su ploidia y a la rama genética del cual proceden.

La mayoría de los cultivares procede exclusivamente de *M. acuminata*, presentando una constitución diploide o triploide (109). Simmonds y Shepherd distinguieron varios grupos fenotípicos, a los que investigadores posteriores han ido añadiendo variedades de reciente obtención o no identificadas previamente.

Grupos diploides procedentes de *M. acuminata*, ('AA')

Jari guaya.- muy popular en Vietnam e Indonesia pero casi desconocido en Occidente.

Kapas.- este es un plátano consumido cocido en Indonesia y Malasia.

Lakatan.- un banano de crecimiento muy rápido, fructifica en menos de 10 meses. Esta variedad es de origen filipino, popular en los trópicos.

Sucrier.- cultivar importante en Nueva Guinea pero también extendido en el sudeste de Asia y Brasil. Los frutos son de piel delgada y sumamente dulces. En este grupo se encuentra la variedad 'Dedo de Dama' o 'Guineo Blanco', la más pequeña de las bananas cultivadas comercialmente.

Grupos triplodes provenientes de *M acuminata* ('AAA')

Cavendish Enano.- desarrollado en China y que ahora es la variedad más importante en las islas Canarias y África oriental. La planta es de tamaño grande, con las hojas anchas, tolerante al viento y la sequía; produce frutos medianos, de buena calidad pero propensos al daño en transporte.

Cavendish Gigante o Grand Naine.- de apariencia similar al 'Gros Michel' y origen incierto. Planta de tamaño mediano con el pseudo tallo moteado de pardo. Los frutos son de mayor tamaño que el 'Cavendish Enano', de cáscara más gruesa y sabor menos intenso. Es la principal variedad en Colombia, Ecuador y Taiwán.

Robusta.- similar a 'Lakatan', es un banano pequeño y resistente al viento que se cultiva en Brasil y la Polinesia.

Valery.- una variante de 'Robusta' más resistente a la sigatoka pero de fruto más firme y ligeramente cerúleo de textura.

Golden Beauty.- desarrolladas en Trinidad por su resistencia a la enfermedad de Panamá y la Sigatoka; son bananos pequeños con racimos cortos, pero resistentes al transporte y de muy buen sabor. Se cultivan en Honduras y Fiji.

Gros Michel.- fué durante mucho tiempo el banano más cultivado de Occidente, hoy casi desaparecidos por su sensibilidad a la enfermedad del Mal de Panamá. Procedente de Burma y Sri Lanka fue introducido a Martinica por los franceses, y desde allí a Jamaica, Centroamérica, Hawai y Australia. Son bananos de gran porte, con grandes racimos de frutos largos y de color amarillo intenso.

Morado.- popular en el Caribe aunque originario de la India. Tiene una mayor tolerancia a las enfermedades pero tarda más de 18 meses en fructificar. Es una planta de gran porte, con hojas y tallos de color morado intenso, y el fruto se torna anaranjado a medida que madura. Los racimos son compactos de unos 100 frutos de sabor intenso y tamaño mediano.

Grupo de origen exclusivamente de *M. balbisiana* ('BBB')

Maricongo.- es el principal cultivo comercial de plátano del mundo, de forma alta, fruta muy angulosa y de buen tamaño.

Saba.- de menor calidad culinaria pero inmune a la Sigatoka Negra.

Cardaba y *Lep Chang Kut*.- son de menor importancia.

Grupos híbridos diploides, triploides y tetraploides

Burro u Orinoco 'AAB'.- una planta alta, resistente, de frutos escasos pero largos y muy gruesos con la pulpa ligeramente rosácea y comestible en crudo.

Laknau 'AAB'.- un plátano triploide similar a 'Cuerno' y excepcional en que produce flores fértiles, lo que ha permitido su uso como material de base para cruzamientos experimentales.

Macho 'AAB'.- son plátanos muy resistentes que producen poca fruta, comestible en crudo pero de sabor mucho más agradable tras la cocción.

Manzana 'AAB'.- aunque no existen plantaciones a nivel comercial es el banano más extendido en el trópico. Es un banano muy grande, con sólo una docena de manos por racimo y 16 a 18 frutas por mano, muy resistente a la sigatoka pero susceptible a la enfermedad de Panamá. El fruto es muy sabroso y posee un distintivo aroma a manzana.

Mysore 'AAB'.- es el banano más cultivado en la India, donde casi tres cuartos de la superficie plantada lo emplea. Es vigoroso, resistente a la sequía, inmune a la enfermedad de Panamá y poco susceptible a la Sigatoka. Produce racimos compactos de bananas de piel delgada y color amarillo brillante.

Frances 'AAB'.- un plátano grande y vigoroso, cultivado sobre todo en la India y África oriental.

Cenizo 'ABB'.- un plátano extremadamente alto, con un tallo floral elongado y pocas manos por racimo. Produce frutos angulosos, muy grandes, de piel cenicienta y pulpa muy blanca.

Chato o Bluggoe 'ABB'.- un plátano muy resistente a las enfermedades, produce racimos de frutos de gran tamaño, distintivos por su estructura abierta. Muy importante como cultivo de subsistencia en África y Asia.

Pelipita 'ABB'.- uno de los principales cultivares comerciales de plátano en el mundo, resistente a la Sigatoka Negra pero de sabor menos intenso que otras variedades.

Tiparot 'ABBB'.- un tetraploide desarrollado por su resistencia a las enfermedades, pero poco productivo.

Otros grupos importantes son *Rajah 'AAB'*, *Seribu 'AAB'* y *Awak 'ABB'*, (12, 93, 100).

1.5. Manejo Agronómico del Cultivo

Las prácticas agronómicas de mayor importancia en el cultivo de banano son:

Riego.- el sistema de riego puede ser por gravedad, aspersión o inundación, dependiendo de la disponibilidad económica, tipo, topografía y fertilidad del suelo y cantidad de agua disponible.

Control de malezas.- se realiza en forma manual, con la utilización de machetes, y en forma química mediante la aplicación de herbicidas.

En el segundo caso, se debe tener conocimiento de las especies de maleza existentes para escoger el herbicida más adecuado.

Fertilización.- debe realizarse de acuerdo a los análisis químicos de suelos de la zona en la que se desarrolla el cultivo.

En los cultivos de banano del Ecuador se ha llegado a determinar que los elementos minerales indispensables y que deben ser aplicados al suelo son el Nitrógeno y el Potasio.

El fertilizante debe ser aplicado en la zona de máxima de absorción de la planta, un semicírculo de 1m de radio a partir de la base de la planta, así como del hijo seleccionado para la producción. Para lograr un programa de fertilización eficiente, las aplicaciones deben realizarse en relación a la disposición del riego, el número de labores de cultivo y la etapa del mismo.

Deshije.- es una práctica cultural que tiene por objeto mantener la densidad adecuada por unidad de superficie, un espaciamiento

uniforme entre plantas, regular el número de hijos por unidad de producción, seleccionar los mejores hijos y eliminar los deficientes.

La selección de hijos es una practica muy importante ya que la unidad de producción cíclica esta constituida por la planta madre, el hijo y el nieto.

En una planta de banano hay tres clases de hijos: hijo de espada, hijo de agua e hijo de rebrote.

Los hijos de espada.- conocidos también como puyones, son los que nacen profundos, crecen fuertes y se encuentran alejados de la base de la planta madre. El follaje termina en punta, de ahí su nombre.

Los hijos de agua.- desarrollan hojas anchas a muy temprana edad debido a deficiencias nutricionales. Siempre deben ser eliminados y se utilizan cuando hay un solo hijo de espada.

Los rebrotes.- son los hijos que vuelven a brotar luego de haber sido cortados, también desarrollan hojas anchas prematuramente y la cicatriz donde se hizo el corte es fácilmente visible. La rapidez de crecimiento de estos rebrotes decide la frecuencia de los deshijos.

Cuando se realiza el deshoje los cortes con machetes deben hacerse lo más profundo posible tratando de eliminar la yema de crecimiento del hijo evitando el rebrote. El corte se dirige de adentro hacia afuera para no herir a la madre, luego se procede a cubrir la parte cortada.

Deshoje.- consiste en eliminar las hojas que ya cumplieron su ciclo y las que están interfiriendo en el desarrollo del racimo.

El corte debe de ser lo más cerca posible a la base de la hoja. Si una parte de una hoja joven y sana interfiere con un racimo, puede eliminarse esta parte rasgándola o cortándola, dejando el resto para que cumpla su función.

Esta labor debe ser constante según la frecuencia de la pérdida de hojas por parte de la planta.

Apuntalado.- es necesario realizar esta labor en toda planta con racimo para evitar la caída y pérdida de la fruta. La caña de bambú, caña brava, alambre, piola de yute, piola de plástico o nylon, entre otros, pueden ser utilizados en esta práctica.

Enfunde.- es otra práctica que produce grandes beneficios al productor y consiste en proteger el racimo con una funda de polietileno perforada de dimensiones convenientes.

Se ha comprobado que la fruta enfundada tiene un 10% más de peso y es de mejor calidad porque esta libre de daños causados por insectos.

La época más oportuna para el enfunde es al caer la tercera bráctea la inflorescencia, que deja al descubierto la correspondiente mano. Se usan cintas de plástico de colores y cada color representa un estado diferente de madurez del racimo hasta la fecha de la cosecha.

Desmane.- consiste en la eliminación ocasional de la última mano y una o las dos siguientes que se estima no llegarán a adquirir el tamaño mínimo requerido, favoreciendo el desarrollo de las manos restantes.

El desmane se realiza cuando los frutos están colocados en dirección “hacia abajo”, sin usar herramienta alguna, solamente con la mano (9).

1.6. Plagas y Enfermedades

Las enfermedades del banano representan un factor determinante en términos de producción. Las variedades comerciales más comunes a nivel mundial podrían, en los próximos años,

desaparecer debido a la amenaza que diferentes tipos de microorganismos representan para el cultivo (24).

Enfermedades causadas por hongos

Sigatoka Negra

Debido a la importancia de esta enfermedad mas adelante se le dedicara un capitulo entero en el que se discutirá su origen, etiología, control e importancia económica.

Sigatoka Amarilla

Es una enfermedad producida por el hongo *Mycosphaerella musícola* Leach que ataca a las hojas de banano. Las esporas de este hongo (ascosporas y conidias) germinan en la superficie del limbo y el micelio penetra por una abertura estomática.

Luego de 20 días de iniciada la infección, el primer síntoma aparece sobre el limbo en forma de puntos descoloridos.

Los puntos luego se transforma en rayas delgadas, aun descoloridas, paralelas a las nervaduras secundarias, las que después toman forma ovalada de color gris en el centro y amarillo oscuro hacia el exterior (70, 98).

El rendimiento de un cultivo de banano decae como consecuencia de la disminución de la superficie foliar, que se hace más grave después que ha cesado la emisión foliar. El control de la Sigatoka consiste en interrumpir el ciclo descrito y reducir la producción de las esporas (70).

El aceite agrícola ha sido una de las medidas de control más eficientes utilizadas en países productores durante los últimos 30 años. La acción del aceite agrícola es mucho más eficaz en las manchas jóvenes en proceso de evolución.

De acuerdo a esta cualidad se programan los ciclos de aplicación cuando hay presencia de síntomas de Sigatoka Amarilla detectados mediante inspecciones constantes, lo que permite realizar aplicaciones únicamente cuando son necesarias (71).

Mal de Panamá

El Mal de Panamá es la enfermedad más devastadora que afecto la producción comercial de bananos en América Central y el Caribe. Es provocado por el hongo *Fusarium oxysporum* f. cubense. Los síntomas externos se caracterizan por un amarillamiento de las

hojas más viejas y un agobiamiento en la unión del pecíolo con el pseudo tallo.

Todas las hojas eventualmente se agobian y mueren, pero el pseudotallo permanece erecto por uno o dos meses hasta que se pudre y se seca. El pseudotallo adquiere una consistencia dura y seca (2).

Los síntomas internos consisten en una decoloración vascular solamente en las vainas externas, aunque en estados muy avanzados esta decoloración puede alcanzar las vainas internas, el tallo verdadero y finalmente el pedúnculo de la fruta.

El Mal de Panamá solamente puede ser controlado por cuarentena y exclusión, no hay ningún método económico que reduzca la población del patógeno (2). En consecuencia, la variedad Gros Michel (susceptible) fue sustituida por la variedad Cavendish en las plantaciones comerciales.

Mancha Cordana

Esta enfermedad es causada por *Cordana musae*. La enfermedad se desarrolla en plantaciones a bajas altitudes y alta humedad

relativa. Es relativamente poco importante ya que el ataque del patógeno generalmente se encuentra en hojas bajas.

Cuando se presenta en plantaciones de 7-9 meses de edad no alcanza a causar daños severos, lo que no justifica el control químico.

Los síntomas se manifiestan en las hojas como manchas ovaladas, pequeñas, de color castaño o amarillo-anaranjado, con zonas concéntricas y borde color marrón, los cuales con el tiempo, aumentan de tamaño hasta coalescer y ocasionar el secamiento del limbo (43).

Enfermedades causadas por Bacterias

Moko

El Moko es una enfermedad vascular provocada por la bacteria *Pseudomonas solanacearum*. Los síntomas son amarillamiento de las hojas más jóvenes, las que luego se necrotizan y se desprenden del pecíolo. En plantas jóvenes de rápido crecimiento, la hoja cigarro o candela siempre se manifiesta marchita o "dormida" y algunas veces necrosada en la base.

El Moko afecta la producción al no permitir que los frutos se desarrollen. Algunos de los frutos pueden madurar prematuramente y a lo interno del tejido se presenta una decoloración que al principio es de color amarillo pero que con el tiempo se torna café o negro.

El síntoma que más llama la atención y alerta al campesino es el color negro del interior de los frutos. Los métodos culturales de control del Moko son:

No sembrar banano en áreas en donde hubo presencia de la enfermedad anteriormente. La bacteria puede sobrevivir en residuos de raíces.

Eliminar plantas enfermas y vecinas con herbicida sistémico para eliminar el foco de contaminación.

Asegurarse de que la semilla provenga de una planta sana.

La eliminación de la flor masculina del racimo es una práctica válida ya que de esta manera se evita la transmisión de la enfermedad mediante insectos.

Desinfección de herramientas especialmente machetes para evitar contaminación mecánica (47).

Erwinia o Cogollo Negro

En las pudriciones por *Erwinia* raras veces ocurre decoloración vascular. El tallo, en las partes afectadas, tiene una consistencia suave y esponjosa que despiden un fuerte olor, similar a pescado podrido, ocasionado por una fermentación butírica.

Nemátodos

Los nematodos son gusanos microscópicos que afectan directamente a las raíces, llevando eventualmente a la caída de la planta por falta de anclaje.

La presencia de abultamientos o de lesiones pardo rojizo es un indicador de presencia de nematodos. Lo más indicado para constatar su presencia es, sin embargo, la toma de muestra de suelo y de raíces para su posterior análisis.

Los cinco nematodos más importantes en el cultivo del banano son: *Radophulus similis* (Cobb), *Helicotylenchus multicinctus* (Cobb), *Meloidogyne incognita* (Kofoid y White), *Pratylenchus coffeae* (Zimmermann) y *Rotylenchulus reniformis* (Linford y Oliveira) (81, 86, 104, 112).

Radophulus similis

Es considerado como uno de los principales patógenos de las raíces del cultivo y está presente prácticamente en todas las zonas productoras de banano del mundo con excepción de Israel, España y Chipre (30, 80).

El parásito afecta la zona cortical de la raíz dejando el tejido vascular expuesto a la invasión de organismos secundarios que ocasionan la muerte de la misma y la eventual caída de la planta. Román (1986), señala que *R. similis* juega un papel determinante negativo en el desarrollo de la enfermedad del Mal de Panamá causada por *Fusarium oxysporum cubensis*.

El patógeno puede migrar de la raíz al rizoma causando lesiones hasta 6 cm. de profundidad (48, 69).

Helicotylenchus multicinctus

Al igual que *R. similis*, está presente en casi todos los países donde se cultiva banano (80, 81). Según Blake, citado por Román (1978) a pesar de considerarse ectoparásito, se comporta en el cultivo como endoparásito migratorio, capaz de penetrar el rizoma, lesionarlo y diseminarse a través de él (79).

En elevadas poblaciones es capaz de producir graves lesiones y severas pudriciones en las raíces (18, 86). La necesidad de su control ha sido comprobada en varios países productores de banano (16).

Meloidogyne incognita

M. incognita y otras especies de *Meloidogyne* han sido señaladas en asociación con el cultivo en muchos países (19, 49, 84, 94, 107).

Los ataques de *M. incognita* producen daños en las raíces, hojas angostas y cloróticas, pecíolos débiles y poco crecimiento de la planta (13). Según Wehunt y Edward, citados por Román (1978), si el nemátodo penetra por el ápice de la raíz, el crecimiento de la misma se detiene y se forma una agalla. Si la invasión ocurre en un área no meristemática no se forma agalla pero, en los tejidos, se desarrollan hembras adultas capaces de producir huevos (79).

Pratylenchus coffeae

Pratylenchus al igual que *Meloidogyne* es un género de nematodo señalado en asociación con el cultivo en muchos países (19, 84, 86). Según Blake, citado por Román (1978), este nemátodo penetra por

la zona cortical de la raíz produciendo una lesión rojiza, que se torna necrótica a medida que el parásito se alimenta (79).

Rotylenchulus reniformis

R. reniformis ha sido encontrado en el cultivo de banano en varios países (62, 81, 84, 86).

Penetra la corteza en forma perpendicular al cilindro central y establece su lugar de alimentación en la endodermis (104). La acción del nemátodo provoca un debilitamiento en el estado nutricional de las plantas y aumenta la incidencia de enfermedades producidas por hongos y bacterias (23).

Insectos

Picudo negro o *Cosmopolites sordidus*

El adulto es un gorgojo de color negro de unos 13 mm. y cabeza con la prolongación del rostro característico de la especie. En este estado no es dañino. La hembra pone entre 10 y 50 huevos aislados en orificios, que escarban en los rizomas (58).

El daño es causado por la larva. La larva emerge alrededor de los ocho días, devora los tejidos y abre una galería hacia el interior del

bulbo. Cuando alcanza los 12 a 16 mm es de color blanco amarillento con la cabeza parda. En este estado dura entre dos y seis meses, luego se transforma en ninfa y después de 5 ó 7 días, en adulto.

Los síntomas provocados por picudo son galerías negras en el cormo. A veces se puede observar los adultos en los plantíos afectados y, mediante trampas, se determinan umbrales económicos. Cuando la cantidad de larvas es abundante se nota un debilitamiento general de la planta que puede terminar en la caída de la misma (73).

Las diferentes trampas usadas son: las cilíndricas, sándwich, la cuña en el cormo de una planta cosechada. Como medida de manejo se aconseja eliminar malezas y cortar en pequeños pedazos los restos de las plantas cosechadas para que no sirvan de refugio (27).

Colaspis submetallica

Es un escarabajo de color verde metálico claro de 7 mm. de largo que al emerger del suelo vuela directamente hacia los frutos o hacia la hoja bandera.

Para alimentarse mordisquea la fruta, ocasionando cicatrices profundas rodeadas de halos acuosos que desmejoran su presentación, o produciendo perforaciones en las hojas. La hembra deposita los huevos en el suelo a una profundidad menos de una pulgada (103).

Larvas defoliatrices

Las tres especies más comunes son Caterpillar o Costurera (*Ceramidia viridis*), Monturita (*Sibini apicalis*) y Vaquita (*Caligo teucer* y *Opsipbanes tamarindi*).

Estos insectos se alimentan de las hojas del banano y producen perforaciones paralelas a las venas foliares disminuyendo la superficie foliar. Estas larvas son muy susceptibles al control biológico por parte de algunos predadores y parásitos (7).

Trips de la mancha roja, *Palleucothrips musae*

Es un insecto pequeño, el adulto mide aproximadamente 1 mm. de largo, es de color blanco cremoso y tiene alas plumosas.

Produce manchas de color rojizo en la corteza de los frutos desmejorando notoriamente su aspecto. La hembra deposita sus huevos en el racimo y luego de pocos días las larvas se alimentan

de la fruta produciendo incisiones con su pico. Parece que el látex que se derrama por estas lesiones se oxida y produce la mancha (68).

Trips de la flor, *Frankliniella parvula*

Produce daños menos graves que el anterior. Los resultados son pequeños puntos en relieve sobre la corteza de la fruta. La hembra deposita sus huevecillos uno por uno en la cáscara de los frutos tiernos recién descubiertos provocando de esta manera la formación de pequeños puntos con relieve o pústulas (74).

Enfermedades Virales

Banana Bunchy Top Virus (BBTV)

Banana Bunchy Top es considerada la enfermedad viral mas seria que ataca al banano. Esta enfermedad fue reconocida por primera vez en Fiji en 1889, época en la cual una seria epidemia amenazaba a la industria bananera de la isla.

Subsecuentes reportes de esta enfermedad datan de 1890 en Taiwán, 1901 en Egipto y en 1913 en Australia, en donde el trabajo de C.J.P. Magee estableció la naturaleza viral de la enfermedad y mostró que es transmitida por el áfido *Pentalonia nigronervosa*

Coquerel, aunque su diseminación internacional se produce a través de material vegetal (105).

La enfermedad fue introducida a Sri Lanka desde Fiji, en 1913, y luego transmitida al sur de India alrededor de 1940. Una vez dentro del subcontinente indio, el virus se diseminó a las principales regiones productoras de banano del país y luego llegó hasta Bangladesh.

La presencia de BBTV ha sido recientemente reportada en Malasia. En las islas del Pacífico, BBTV está presente en Hawái, Guam, Samoa, Tonga, Tuvalu y Kiribati. También ha sido reportada en China, aunque los efectos más devastadores de esta enfermedad se han dado en Pakistán, donde el virus ha terminado la industria bananera del país. BBTV no ha sido encontrada en Latinoamérica o el Caribe (42).

La enfermedad puede ser controlada efectivamente mediante la erradicación de plantas infectadas ya que, hasta ahora, ningún cultivar ha sido identificado como resistente al virus (76).

Los síntomas de la enfermedad aparecen alrededor de un mes después de la infección. Cuando la enfermedad está avanzada las plantas presentan una apariencia de roseta con hojas angostas, erectas y progresivamente más cortas, lo cual da origen al nombre de "bunchy top" (cogollo racimoso).

Las plantas infectadas en etapas iniciales del desarrollo, raramente producirán racimo mientras que en infecciones tardías podrían formar un racimo distorsionado (51).

Banana Mosaic Virus (CMV)

El mosaico del banano es causado por "Cucumber Mosaic Virus" CMV, el cual tiene un amplio rango de hospederos (31).

CMV en banano tiene una distribución global y ha sido llamada por varios nombres como clorosis infecciosa, pudrición del corazón, virus del mosaico del pepino y pudrición de la vaina. Esta enfermedad fue descrita por primera vez por M.J.P. Magee en Australia en 1930, pero ha sido documentada en muchos países alrededor del mundo (32).

La incidencia de esta enfermedad varía y a menudo no presenta síntomas y cuando los presenta tienden a desaparecer y aparecer periódicamente (91).

El mosaico del banano es considerado por los productores como una molestia, más bien que un serio problema. En Australia, esta enfermedad es considerada endémica y de poca importancia (40).

BMV es caracterizada por una clorosis, fácilmente notable, en las nervaduras de las hojas. En casos severos esta clorosis se acompaña por la pudrición del cilindro central de la planta. Sin embargo, las infecciones en las plantaciones son altamente localizadas y muy rara vez resultan en brotes serios. Plantas atacadas levemente por este virus pueden ser recuperadas completamente.

CMV en banano es fácilmente transmitido por muchas especies de áfidos. Los dos más comunes y con el mayor rango de hospederos son el áfido del algodón *Aphis gossypii* y el áfido del maíz, *Rhopalosiphum maidis*. Otros áfidos transmisores de esta enfermedad son *Myzus persicae*, *Macrosiphum pisi* y *Rhopalosiphum prunifoliae*.

Estudios sobre mosaico de banano en Australia y Taiwán han demostrado que los brotes de CMV en plantaciones de banano se dan únicamente cuando existe la presencia de otros cultivos como pepino o tomate en los alrededores (31).

Banana Streak Virus (BSV)

Banana streak fue reportada por primera vez en Marruecos, en donde ha sido considerada una enfermedad seria para plantaciones de Dwarf Cavendish. Desde entonces la enfermedad ha sido identificada en otros países de África y del Medio Este.

Hoy en día, BSV se ha distribuido por América Latina, Australia, Oeste de Samoa, Indonesia, Malasia, Tailandia, Filipinas, India y China. En algunas áreas esta enfermedad causa daños significativos mientras que en otros no es un problema de consideración.

En la Costa de Marfil, en donde la enfermedad es considerada seria en plantaciones comerciales de Cavendish, las pérdidas en la producción varían desde 7% hasta 90% en plantas severamente afectadas (41).

Los síntomas foliares se asemejan a los causados por CMV, especialmente en las etapas tempranas, sin embargo, mas tarde ocurre un desarrollo de manchas necróticas las cuales no aparecen en CMV.

Otra característica distintiva de BSV es la periodicidad de la expresión de la infección.

Las plantas infectadas pueden no mostrar las manchas en todas las hojas ya que las hojas emergentes pueden ser asintomáticas o solamente mostrar ligeros síntomas. Esta enfermedad puede reducir el crecimiento y vigor de la planta, el peso del racimo y la producción (51).

Banana Bract Mosaic Virus (BBMV)

Banana Bract Mosaic Virus fue reconocida por primera vez en Filipinas en 1979 por Magnaye y luego reportada en India por Jones (1992).

Una encuesta reciente reveló que BBMV esta diseminada por todo Filipinas en donde afecta a muchos cultivares locales especialmente a clones de Musa BBB y esta causando una marcada disminución en la producción. BBMV también ataca a variedades Cavendish (52).

El síntoma de esta enfermedad es la descolocación y manchas necróticas en el brote masculino. A medida que la enfermedad avanza descoloraciones similares se hacen muy marcadas en la bráctea de la inflorescencia y en el racimo de la fruta e incluso sobre la misma fruta.

La transmisión de la enfermedad es a través de áfidos vectores como *Rhopalosiphum maidis*, *Aphis gossypii* y *Pentalonia nigronervosa* (52).

1.7. Comercialización y Mercadeo

a) Modelo del Negocio

La comercialización del banano es un proceso complejo y delicado que hace que la estructura del comercio internacional de la fruta sea fragmentada y bastante rígida.

Esta fragmentación del Mercado se debe a los costos de transporte y tiempo en la distribución del banano, así como a los diferentes

regímenes de importación en países consumidores que hace que el negocio mundial de la fruta tenga un claro carácter regional.

La precisión en que las operaciones de cosecha, preservación y envío tienen que ser realizadas, hace en cambio, que el modelo del negocio sea también un proceso integrado debido a la importancia que cada uno de ellos representa (11).

A los factores antes mencionados se suma una característica principal en el modelo de negocio, la naturaleza oligopolista del mercado, ya que pocas corporaciones transnacionales dominan el mercado internacional lo que les permite tomar ejercicio del poder en cualquiera de las etapas de la cadena de comercialización.

Otros factores importantes en la comercialización del banano son la reglamentación internacional, competencia entre los productores, agudas disputas comerciales y políticas entre miembros de la Unión Europea y de otros países, y la regularización de precios a nivel de países productores (11).

b) Cadena de Mercado

La estructura de la cadena de mercado de banano es muy heterogénea ya que depende de la presencia de muchos factores económicos que varían entre países exportadores e importadores.

Tras nueve meses del ciclo del cultivo, aun estando verde, la fruta es cosechada y acondicionada en cajas de cartón, y luego en contenedores, que son embarcados para los centros de consumo en barcos politérmicos.

Cuando el producto llega al país de destino, los mayoristas o importadores son los que se encargan de ponerlo al mercado. Para esto, la fruta debe ser madurada en depósitos especiales dotados de dispositivos de control de maduración como temperatura, gas y películas de cera retardantes.

La perecibilidad del banano hace que el periodo en el cual la fruta debe ser cortada corresponda aproximadamente a la duración del transporte hasta el país consumidor. Una vez cortado, el banano no puede permanecer en un hangar de embalaje más de tres días y solamente cuatro semanas deben transcurrir entre la cosecha y el consumo.

Lo descrito en el párrafo anterior, hace que el banano se convierta en un sector verticalmente integrado, donde las grandes transnacionales tienden a controlar la cadena de mercado desde la producción hasta la venta final; dado que además son dueñas de las flotas de embarcación en donde el banano es transportado.

Esta característica del sector bananero es la razón por la que, a pesar de que la producción de banano se da en países en vías de desarrollo, los países desarrollados son los que mas se benefician de este negocio a través de sus grandes transnacionales (101).

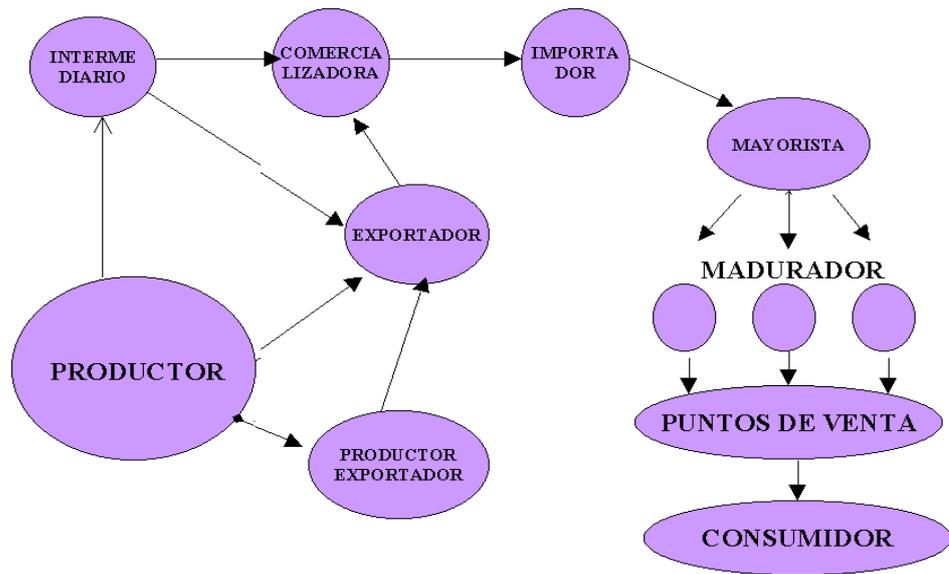


GRÁFICO 1.1. ESQUEMA DE LA CADENA DE COMERCIALIZACIÓN INTERNACIONAL DEL BANANO

Fuente: SICA, 2001

c) Exportaciones

El banano es exportado mayormente para ser consumido como fruta fresca, aunque hay otras formas de utilización como en la fabricación de almidón y harina, como pulpa de banano, como jugo de banano clarificado o como bananos deshidratados. Asimismo se han hecho esfuerzos para utilizar partes de la planta y del fruto como materia prima para la fabricación de papel y de alcohol (11).

Según la FAO, en el 2004 solo América Latina y El Caribe suministraron alrededor del 70% del volumen total exportado. En el mismo año, los cuatro países líderes en exportaciones fueron

Ecuador, Costa Rica, Filipinas y Colombia, los cuales aportaron el 63% del volumen total exportado.

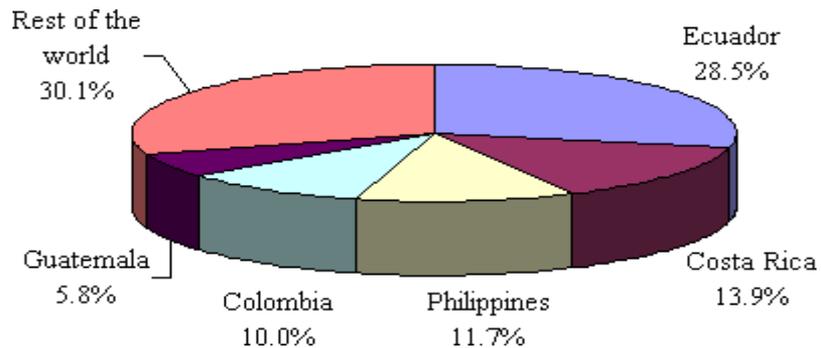


GRÁFICO 1.2. DISTRIBUCIÓN DE LAS EXPORTACIONES MUNDIALES DE BANANO, PERÍODO 2000 – 2004

Fuente: FAO, 2005

d) Importaciones

Los principales importadores de banano son los países de la Unión Europea, Estados Unidos y Japón, los cuales representan el 67% de las importaciones totales de banano en el 2004. El siguiente gráfico ilustra la tendencia a la diversificación de mercados para banano, donde se nota una importancia creciente de mercados emergentes como la Federación Rusa, China y países del este de Europa.

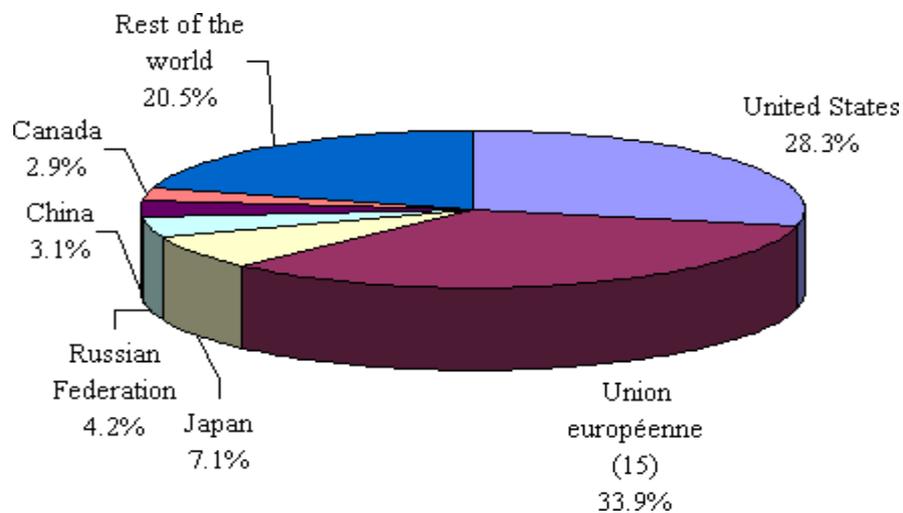


GRÁFICO 1.3. DISTRIBUCIÓN DE LAS IMPORTACIONES MUNDIALES DE BANANO, PERÍODO 2000-2004

Fuente: FAO, 2005

El banano importado por la Unión Europea se origina de las Islas Canarias, Francia, Portugal y Grecia, como proveedores domésticos; en segundo lugar están los países de África, Caribe y Pacífico, los cuales han sido otorgados accesos preferenciales, y luego por América Central y Sur América.

En cuanto a las importaciones hechas por Japón, las Filipinas se destaca como principal proveedor, aunque Ecuador ha incrementado las exportaciones hacia este Mercado como alternativa a la incertidumbre del Mercado Europeo (20).

e) Política de Precios

Debido a que el mercado mundial del banano es geográficamente fragmentado es imposible establecer un precio común a nivel mundial, sin embargo, tomando en cuenta que el mercado de banano en USA es libre de tarifas y restricciones, se puede considerar la evolución en el precio del banano en USA como una aproximación útil para obtener tendencias históricas. El análisis de datos para banano en América Central y Ecuador, F.O.B. (US\$ centavos por lb.) representados en la siguiente tabla, muestran que los términos del negocio del banano han experimentado una deterioración a largo plazo, ya que a lo largo de 40 años el precio nominal (precio de cotización calculado para futuros u opciones por un período durante el cual no ocurren negociaciones) y el real (actual price) pocas veces han coincidido.

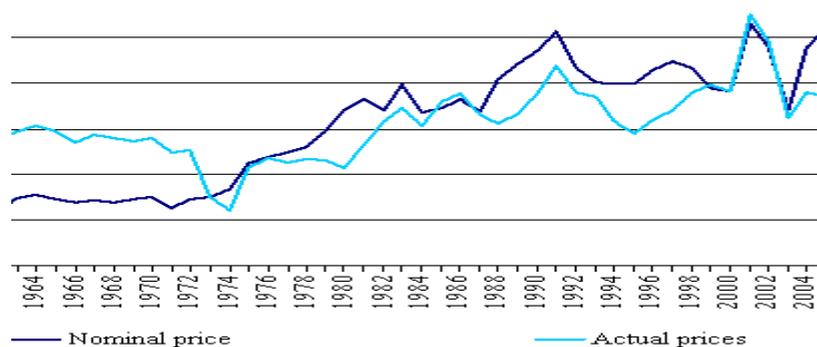


GRÁFICO 1.4. EVOLUCIÓN DE LOS TÉRMINOS DEL NEGOCIO EN EL BANANO, 1961-2004

Fuente: FAO, 2005

CAPÍTULO 2

2. LA SIGATOKA NEGRA.

2.1. Origen y Distribución.

La Sigatoka Negra, es una enfermedad causada por el hongo ascomiceto, *Mycosphaerella fijiensis*, Morelet que fue reportado por primera vez al suroeste asiático en Viti Levu, a 60 Km del valle de Sigatoka, en la isla Fiji (77).

La primera aparición de esta enfermedad fuera del continente asiático fue en Honduras en el año de 1972 mezclada con Sigatoka Amarilla en la colección de germoplasma de la United Fruit Company

en La Lima (92). A partir de entonces, la enfermedad se ha diseminado a través de América Latina y El Caribe.

Fue encontrada en BÉlice en 1975; en Guatemala, Costa Rica, El Salvador y Nicaragua en 1977; en Panamá se detectó en 1980; Colombia en 1981; Ecuador en 1986 (25); en Venezuela y Cuba en 1991 (102); Jamaica y Perú en 1994; República Dominicana en 1996; Bolivia en 1997 y Brasil en 1998. En 1999 se detectó en condiciones de invernadero en Florida, Estados Unidos (75) y en Haití en el 2000 (78).

Durante los últimos años la enfermedad ha sido confirmada en los siguientes países: Australia en 2001, Trinidad y Tobago en 2003; Puerto Rico en 2004, y Grenada en 2006 (39, 34). A la fecha, no se ha reportado la presencia de la enfermedad en las islas caribeñas de Guadalupe, San Vicente y Santa Lucía.

2.2. Importancia Económica.

La Sigatoka Negra es la enfermedad que más seriamente amenaza a la industria bananera. Esta enfermedad es mucho más virulenta que la Sigatoka Amarilla y, debido a la forma en que se desarrolla, su control es considerablemente más difícil y costoso (34).

Las pérdidas ocasionadas por dicha enfermedad pueden ser devastadoras, la necrosis de las hojas puede reducir los rendimientos de 35-50% o incluso causar la pérdida total de la producción, de no ser controlada adecuadamente (55).

Los fungicidas empleados para el control de Sigatoka Negra pueden ser los mismos que se usan para el control de la Sigatoka Amarilla, pero los ciclos de aspersión deben ser incrementados en 2.5 a 3.5 ciclos por año y las dosis de éstos hasta 1.5 a 2 veces más elevados (34).

Los programas de control de Sigatoka Negra basados en la aplicación de fungicidas deben repetirse indefinidamente todos los años a costos cada vez mayores. La medida más sostenible de control es el manejo integrado (91, 55).

En Centroamérica, la Sigatoka Negra puede llegar a representar hasta un 27% adicional al costo total de producción, mientras que las otras enfermedades y plagas incrementan del 3-5% de la totalidad del costo de producción (28).

En Ecuador, el banano es la principal industria privada generadora de divisas después del petróleo (20). Esta industria se ve cada vez mas afectada debido a los elevados costos de producción que representa el control de Sigatoka Negra.

Las plantaciones a gran escala pueden asimilar el costo de la fumigación pero la mayoría de los pequeños productores no pueden asumir el costo de controles químicos, siendo más propensos a sufrir pérdidas. Este hecho genera un problema no solamente económico sino también social ya que las consecuencias de los altos costos se traducen en una reducción en la superficie sembrada, aumento en la tasa de desempleo y la sustitución del rubro (54).

En Honduras (1976) se reportó una reducción de 85% en el número de cajas exportadas de plátano a causa de la Sigatoka Negra.

En Cuba, a finales de los años 80's, el costo por hectárea, para el control de Sigatoka Amarilla estaba en un promedio de US \$187. A inicios de los 90's, luego del primer brote de la Sigatoka Negra, los costos ascendieron a US\$ 720 por hectárea. Este país es un claro ejemplo de las consecuencias que ha dejado la aparición de la Sigatoka Negra. En el 2001, luego de 10 años de que la enfermedad

llegó a la isla, el área bananera (variedad Cavendish) y platanera del país fue reducida en un 85% y 82% respectivamente (72).

En Costa Rica, los productos comúnmente utilizados en el control químico de la enfermedad y que tienen la aprobación de la Agencia de Protección Ambiental, del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (EPA-USDA) son los Ditiocarbamatos. En 1995 el costo promedio para controlar la Sigatoka Negra fue de US\$1500/ha/año.

2.3. Etiología

La Sigatoka Negra tiene la característica de reproducirse sexual y asexualmente durante su ciclo de vida. Este hecho hace que posea un alto poder reproductivo que, a la vez, le permite adaptarse a diversas condiciones ambientales en casi todas las áreas productoras de banano y plátano en el mundo (54,92).

La fase asexual corresponde al género *Paracercospora*; esta se presenta en el desarrollo de las primeras lesiones de la enfermedad las cuales son observadas como pizcas o estrías. En esta fase se observa la presencia de conidióforos emergiendo de los estomas de la superficie de las hojas (55).

Los conidióforos pueden ser rectos ó curvos, a menudo con divisiones y algunas veces presentan una hinchazón en la base que puede llegar a medir más de 8 μm de diámetro. Las conidias se forman a partir de los conidióforos ya sea individualmente o en grupos de 4 a 8 conidias. Las conidias son de forma cilíndrica y pueden estar formados por 1 a 10 segmentos, aparentemente aplanados o curvos con forma obtusa en el ápice y redondeados en la base, su dimensión puede estar entre 30 a 132 μm (59).

La fase sexual se inicia cuando la fase de producción de conidióforos ha terminado. Esta fase se caracteriza por la producción de una gran cantidad de ascosporas en estructuras llamadas peritecios, los cuales se forman sobre la superficie del estado mas avanzado (60).

El primer paso del ciclo de la enfermedad es la producción del inóculo (espora), que inicia la infección, al ser transportado por el viento, el agua e insectos, si la espora encuentra el hospedero y las condiciones ambientales son óptimas, puede penetrar en la planta generalmente vía apertura estomática. Por lo contrario, si las condiciones no son las adecuadas, la estructura del hongo entra en

un periodo de latencia que dura hasta que las condiciones sean las favorables (93).

Entre las variables agrometeorológicas que influyen en el desarrollo de la Sigatoka Negra se encuentra la temperatura (24 - 28 °C), la humedad relativa (95%), el viento y la precipitación. Estos factores definen la dinámica del inóculo y el impacto de la enfermedad en los rendimientos (55).

Los síntomas de la enfermedad, pueden desarrollarse por completo desde los 50 días a los 115 días, el periodo más largo se presenta en la época más seca del año; mientras que, en la temporada lluviosa ocurre un desarrollo acelerado. Es posible encontrar todos sus estadios en cualquier época del año, principalmente en las hojas jóvenes (54).

La característica de *M. fijiensis*, de reproducirse repetitivamente durante el curso de la epifitía, hace que la Sigatoka Negra sea considerada una enfermedad policíclica, es decir, con una secuencia sin fin de inoculación, infección, colonización, esporulación, dispersión y nuevas infecciones (28).

Fouré (1985), describe los estadios de la enfermedad como aparecen a continuación:

Estadio 1: pequeñas manchas de color blancuzco o amarillo visibles en el envés de la hoja.

Estadio 2: se observa una pequeña raya, generalmente de color café y visible en el envés de la hoja; en el haz se visualiza como una raya que cambia progresivamente de color café a negro.

Estadio 3: la raya se hace más alargada y bajo condiciones climáticas favorables, alcanza una longitud de 2 a 3 cm.

Estadio 4: mancha negra en el haz de la hoja, claramente apreciada a simple vista.

Estadio 5: la mancha elíptica se vuelve totalmente negra y se ha extendido en el haz de la hoja. Esta mancha tiene un halo amarillo que la rodea y su centro comienza a deprimirse.

Estadio 6: el centro de la mancha se seca, adquiere un color gris claro y lo rodea un anillo bien definido de color negro, rodeado a su vez por un halo de color amarillo brillante.

2.4. Mecanismos de resistencia de la enfermedad

Las plantas están continuamente expuestas al ataque de microorganismos patógenos. Dependiendo de la constitución

genética tanto del hospedero como del patógeno, las plantas desarrollan ciertos mecanismos de defensa que se expresan en presencia de determinada enfermedad (21).

Los mecanismos de defensa en las plantas se pueden presentar tanto a nivel de barreras físicas como procesos bioquímicos. A nivel físico, se manifiesta a través de la acumulación en la pared celular de materiales como lignina, callosa, suberina, gomas, cutina o glicósidos fenólicos; mientras que a nivel bioquímico se expresa mediante la producción de fitoalexinas, especies activas de oxígeno, activación del programa de muerte celular, radicales libres, iones calcio, siliconas y silicatos, polifenoxidasas, peroxidasas, fenilalanina amonía liasa, polímeros de pared unidos a formas fenólicas, glicoproteínas, hidroxiprolina, lipooxigenasas, fosfolipasas, proteínas ricas en leucina, proteínas antimicrobiales, ribonucleasas, proteasas, péptidos y otras proteínas relacionadas con la patogenicidad tales como quitinasas y β -1,3-glucanasas (113).

Otro importante mecanismo de defensa de las plantas es la que se produce a través de la falta de factores esenciales para el desarrollo de la enfermedad.

La falta de reconocimiento entre la planta y el patógeno.- es uno de los factores que impide que el proceso de infección por parte de un patógeno se desarrolle. Moléculas o estructuras específicas presentes en las células superficiales de las plantas son esenciales para algunos patógenos, de manera que si éste no las reconoce ciertas sustancias infecciosas no serán producidas.

La falta de receptores y sitios sensitivos para toxinas.- es otro factor esencial sin el cual la enfermedad no se produce. En interacciones tipo planta – patógeno, en los cuales el patógeno produce sustancias tóxicas para la planta, ciertos receptores o sitios sensitivos en la célula son necesarios para que dichas toxinas reaccionen y causen la enfermedad. Las plantas que carecen de éstos receptores específicos para cierto patógeno permanecerán resistentes y no presentarán síntomas.

Falta de sustancias esenciales para el patógeno.- las especies de plantas que por alguna razón no producen una de las sustancias esenciales para la sobrevivencia de un parásito obligado o para el desarrollo de la infección de cualquier parásito serán resistentes al patógenos que las necesitan (3).

En banano, durante las últimas dos décadas, se han realizado estudios sobre productos naturales de origen vegetal con énfasis en los metabolitos secundarios, los cuales están implicados en la activación de procesos de barreras físicas y bioquímicos de defensa en la planta (44). Algunos logros en este ámbito de la investigación se detallarán en la siguiente sección.

2.5. Manejo de la enfermedad

Desde la aparición de esta enfermedad, el control químico ha sido el más utilizado como medida de manejo para Sigatoka Negra, aunque efectivo, éste no resulta costeable al pequeño agricultor. En la actualidad, se continúa controlando la enfermedad mediante aspersiones aéreas de aceite más Benzimidazoles, Triazoles, Morfolinas y Dithiocarbamatos, en un ciclo permanente de infección y control, por lo menos de 14 veces al año (14).

Para racionalizar el empleo de productos químicos y reducir la contaminación ambiental se recomienda efectuar las aspersiones en función de la evolución de la enfermedad (pre-aviso biológico), del clima (época lluviosa) y del estado de desarrollo de la plantas (dos meses antes del belloteo).

Las aspersiones se complementan con deshojes fitosanitarios durante el resto del año, mecanismos naturales de defensa de la planta, equilibrada y completa nutrición, prácticas culturales adecuadas, buen drenaje y movimiento continuo de agua, oxígeno, nutrientes y CO₂, (14, 15).

En los cultivos a escala industrial destinados a la exportación, la utilización de productos químicos se realiza en forma rutinaria con no menos de 35 a 40 ciclos de aplicación por cosecha, aumentando así los costos en un 30 a 40%, sin tomar en cuenta los daños ecológicos y humanos ocasionados (34).

Como parte de un control biológico, el uso de variedades resistentes parece ser, de momento, la opción más prometedora. Los híbridos de musáceas con mayor resistencia a la enfermedad en los diferentes programas de fitomejoramiento, en especial de la Fundación Hondureña de Investigaciones Agrícolas (FHIA), son el FHIA-01, FHIA-02, FHIA-18, FHIA-21 y FHIA-23, entre otros, los cuales difieren un poco en el sabor y en las características de las plantas con relación a los cultivares Cavendish o a los plátanos tipo Curaré, (57).

En la última década, se ha investigado el uso de extractos botánicos, sustratos, antagonistas y enmiendas orgánicas que puedan proporcionar protección más duradera, menos tóxicos y económicos (78, 26). En la actualidad, se está trabajando e investigando también métodos de inducción de resistencia, utilización de bacterias epífitas aisladas tipo quitinolíticas y glucanolíticas, y la utilización de diferentes lixiviados, tanto de compostaje como de lombricompost (4, 67).

Los extractos botánicos poseen compuestos polifenoles, cumarinas, flavonoides, quinonas, esteroides, triterpenos, saponinas, los cuales son reportados en la literatura con actividad antifúngica o como inductores de resistencia (67).

El aceite esencial obtenido a partir de hojas de zacate de limón (*Cymbopogon citratus*), que es rico en citral, myrceno, dipenteno, methylheptenona, ciertos alcoholes y ácidos volátiles, presentó actividad antifúngica contra *Mycosphaerella fijiensis* en bio-ensayos *in vitro* (65).

Así mismo, estudios empleando extractos botánicos de *Syzigium aromaticum*, *Commelina difusa*, *Momordica charantia*, *Pavonia sp.*,

Plenax sp., *Piper hispidum*, *P. Peltatum* y *Sida rhombifolia* contra *M. fijiensis*, revelaron un poder inhibitorio hasta del 30% contra ese patógeno (4, 5). En Venezuela y Colombia se han reportado estudios con extractos etanolicos de *Heliotropium indicum*, *Lippia organoides*, *Phyllanthus niruri*, *Momordica charantia*, *Awinglea glutinosa*, *Salvia officinalis*, *Carica papaya*, *Azadirachta indica* y *Jatropha* spp. para el control de la Sigatoka Negra, en donde los autores encontraron que hubo respuesta de sensibilidad del hongo a los tratamientos (35,53).

Otro sistema de manejo, es la utilización de prácticas culturales con programa de deshija fitosanitaria frecuente, enfocados a eliminar progresivamente tejido necrosado por la enfermedad, lo que ayuda a eliminar el inóculo y a acelerar el proceso de descomposición del tejido esporulado.

Un aspecto importante, aunque ha sido poco estudiado, es la producción en sistemas de cultivos mixtos, ya sea de diferentes especies o bien del mismo banano pero con genotipos con diferente grado de resistencia a la Sigatoka Negra. Este sistema podría reducir la cantidad de inóculo, al incrementar la

biodiversidad de organismos como bacterias promotoras del crecimiento, antagonistas y competidores (8).

Para disminuir la intensidad de la enfermedad, la reducción al máximo de la formación y duración de películas de agua sobre las hojas es esencial sobre el proceso de infección, liberación y dispersión del agente causal. Este objetivo se logra mediante la construcción de drenajes, evitando la irrigación por aspersión y estableciendo, donde sea posible, un sistema de sombra permanente para reducir la formación del rocío (25).

Suquilanda (2001) cita a Chaboussou y su teoría de la trofobiosis, que sugiere que las defensas orgánicas de los vegetales están determinadas por la nutrición equilibrada. Este equilibrio nutritivo impide la acumulación de azúcares y aminoácidos libres en la savia las mismas que sirven de alimento para plagas (96, 97).

El mantenimiento de la ecología del suelo junto con un buen contenido de nutrimentos constituye la mejor estrategia de nutrición para las plantas a fin de que éstas puedan defenderse de manera natural del ataque tanto de patógenos como de insectos plaga.

El manejo ecológico del suelo requiere de delicadas prácticas destinadas a mantener sus condiciones físicas, químicas y biológicas, los abonos orgánicos aplicados al follaje o a la raíz cumplen satisfactoriamente con esta función (78).

CAPÍTULO 3

3. LOS BIOFERTILIZANTES LÍQUIDOS

3.1. Origen

La Agricultura Orgánica es un sistema productivo alternativo al uso irracional y a la dependencia excesiva de insumos externos sintéticos en los agroecosistemas. Este tipo de agricultura propone reemplazar las sustancias químicas sintéticas y combustibles, con productos o desechos del mismo ecosistema, la utilización del control biológico de plagas y la utilización del nitrógeno fijado biológicamente y otros nutrientes que son liberados a partir de la elaboración de abonos orgánicos. En este grupo de abonos, se

encuentran los fertilizantes líquidos, los mismos que son elaborados a base de materiales de desecho como estiércol de animales, gallinaza, cascarilla de arroz, melaza de caña y residuos orgánicos de cosechas, entre otros (6).

Desde hace años, los agricultores han desarrollado diferentes procesos para la elaboración de estos bioproductos líquidos, los cuales son llamados de acuerdo a: la manera en que se elaboran, el origen de los materiales e incluso el lugar en donde se usan. Dentro de los biofertilizantes líquidos más comunes están los bioles, purinas, té de estiércol, té de plantas, lixiviados de desechos descompuestos, entre otros (37).

Los abonos orgánicos líquidos son ricos en nitrógeno amoniacal, hormonas, vitaminas, aminoácidos y una gran cantidad de microorganismos benéficos que permiten regular el metabolismo vegetal y además pueden ser un buen complemento a la fertilización integral aplicada al suelo (6).

Existen observaciones y testimonios que indican que los tés orgánicos, como se los conoce en algunos países, tienen algunas clases de beneficios para la producción de plantas. Estas

observaciones están apoyadas por investigaciones científicas, las cuales muestran que las suspensiones orgánicas no solamente disuelven importantes nutrientes, sino que también pueden extraer ácidos húmicos, nutrientes orgánicos, enzimas vitales y microbios benéficos (61).

3.2. Importancia Económica

La necesidad de disminuir la dependencia de productos químicos en los distintos cultivos, los cuales representan altos costos económicos y ambientales, está obligando a la búsqueda de alternativas sostenibles. Los biofertilizantes líquidos representan una herramienta clave en la contribución para el desarrollo de una agricultura ambientalmente amigable.

Recientes investigaciones, han permitido comprobar que tratamientos realizados con productos orgánicos líquidos, aplicados foliarmente a los cultivos, mejoran considerablemente los rendimientos al estimular el crecimiento, mejorar la calidad de los productos e incluso tener cierto efecto repelente contra las plagas (6).

Los beneficios que se logran mediante la incorporación de las prácticas orgánicas a la industria agrícola van más allá de los ambientales, durante la última década los productos orgánicos han adquirido una creciente importancia en el sector económico a nivel mundial.

En países como Austria y Suiza la agricultura orgánica ha llegado a representar el 10% y 7.8 %, respectivamente, del sistema alimentario. En Estados Unidos, Francia, Japón y Singapur se han registrado tasas de incremento anuales superiores al 20%.

Si bien la producción de banano orgánico actualmente representa un pequeño porcentaje en las divisas de los principales países productores, la importancia económica de estos productos se proyectan en grandes niveles (56).

3.3. Propiedades y características de los materiales utilizados en la elaboración de biofertilizantes.

Estiércoles.- los estiércoles pueden ser considerados como abonos universales, la cantidad de diferentes sustancias varía según el tipo de animal que produce las excretas, de su dieta y del manejo utilizado.

En general, son abonos ricos en nitrógeno con la propiedad de estimular y mejorar la actividad microbiana del suelo. Algunos estiércoles contienen mayor cantidad de nitrógeno que otros, lo cual permite clasificarlos. El estiércol vacuno ocupa el primer lugar, seguido por el de cabra, caballo y conejo. Estos pueden ser aplicados a los cultivos en forma directa, por aspersión al follaje o granular en el suelo. Se conoce su actividad como biofertilizantes y en algunos casos contienen reguladores de crecimiento y posiblemente algunas sustancias con potencial antifúngico (17).

Broza de café.- la pulpa y el mucílago constituyen los subproductos más abundantes del proceso de beneficiado húmedo del café y representa alrededor del 60% del peso del fruto fresco. La pulpa de café, que frecuentemente se desperdicia en las fincas y se convierte en un contaminante del agua de los ríos y quebradas, es un excelente recurso para elaborar abonos orgánicos (36).

Banano y plátano.- la cantidad de desechos (raquis, hojas, pseudotallos, cormos) que se genera en cada cosecha es alta. Estos materiales son un recurso ideal para ser reciclado, ya que la cantidad de nutrientes y minerales que liberan son variados y elevados, en especial los niveles de potasio. Otro aspecto

importante es la cantidad de agua presente en estos residuos, lo cual facilita su rápida descomposición y transformación en materia orgánica (36, 96).

Melaza.- la adición de melaza, ácidos húmicos y otro tipo de azúcares al medio en descomposición tiene un efecto directo sobre la proliferación de microorganismos anaeróbicos. Al existir bajos niveles de oxígeno en la solución se inhibe el crecimiento de dichos microorganismos (37).

3.4. Elaboración de los biofertilizantes líquidos

Existen varios tipos de biofertilizantes líquidos de acuerdo al método de elaboración y los materiales utilizados.

Diferentes investigadores coinciden en que el éxito de estos productos radica principalmente en la forma de preparación, calidad de los materiales, clases de microorganismos presentes durante la fermentación, forma como se almacenen los biopreparados y finalmente el método de aplicación.

Tés o extractos.- se preparan a partir del bocashi, compost, lombricompost o excrementos frescos de los animales. La forma más sencilla de elaborarlos, es agregando dentro de un saco dos o tres

kilos de cualquier material de éstos y colocándolo en un tanque con agua. Se deja fermentar durante cierto tiempo, que depende de otros factores, y el caldo que se produce se diluye y se aplica con una bomba de aspersión (17).

Los extractos o té de compost.- es una técnica moderna, donde se coloca material maduro de compost en agua y se recoge un extracto fermentado, alimentado con una fuente energética, que permite un crecimiento de microorganismos benéficos (17).

La aireación durante la etapa de descomposición de los materiales, es un punto vital, los microorganismos anaeróbicos facultativos han demostrado ser los responsables de la habilidad de suprimir enfermedades en el té de compost, y por definición, estas bacterias pueden sobrevivir en ambos medios, anaeróbico y aeróbico (37).

En cuanto a la composición microbiana presente en los extractos, se determinó que bacterias, hongos y protozoarios son componentes del compost que junto con sustancias químicas, como fenoles y aminoácidos inhiben las enfermedades a través de varios mecanismos, tales como aumento en la resistencia de la planta a la

infección, antagonismo y competencia con el patógeno, entre otros (108).

Lixiviados.- los lixiviados de desechos en descomposición han sido considerados, tradicionalmente, como un fertilizante líquido orgánico. Recientemente, estos materiales están siendo utilizados para el control de plagas y enfermedades, por lo que se han realizado estudios para conocer los componentes responsables de su capacidad de combatir patógenos.

Los lixiviados, tienen una gran abundancia y diversidad de microorganismos benéficos, por lo que no son considerados pesticidas *per se*, cuyo objetivo, es el de competir con otros microorganismos por espacio, alimentación y su sitio de infección en caso de patógenos (36).

Otros, contienen químicos antimicrobianos que producen la inhibición del crecimiento de hongos. Dada la gran variedad de lixiviados, es muy difícil determinar el número de microorganismos benéficos presentes. Una vez aplicado el lixiviado a la superficie de la hoja, los microorganismos benéficos ocupan los nichos esenciales

y consumen los exudados que los microorganismos patogénicos deberían consumir, interfiriendo directamente en su desarrollo (17).

Los lixiviados de compost.- son producidos directamente de las pilas, son ricos en sustancias nutritivas y contienen microorganismos cuando son extraídos al principio del compostaje. Se caracterizan por una coloración negruzca.

Investigaciones recientes realizadas en los Estados Unidos, Alemania Japón) y Costa Rica (10, 26) utilizando diferentes lixiviados de compost, han demostrado su potencial en la protección de cultivos a un amplio rango de enfermedades, como es el tizón de la papa o tomate, el Mildiu Polvoso, el Fusarium en manzano y Sigatoka Negra en banano.

Bioles.- consisten en soluciones de agua con bovinaza fresca y elementos nutritivos, reforzados algunas veces con melaza y otras con levadura, bajo un proceso anaeróbico por varios días para su posterior uso (29).

Existen diferentes formas en que este biofertilizante es elaborado, el tipo y las cantidades de materias primas utilizadas así como el

tiempo, pH, humedad, entre otros factores, varían. Por lo general, el proceso de elaboración consta de las siguientes partes: recolección del estiércol, adición de agua, melaza y microorganismos eficientes, seguido por la mezcla homogénea de todos los ingredientes. Luego se procede a tapar herméticamente el envase durante el tiempo en que la fermentación va a tener lugar.

Suquilanda (1998), señala que el biol es una fuente orgánica de fitorreguladores, a diferencia de los nutrientes en pequeñas cantidades, es capaz de promover actividades fisiológicas y estimular el desarrollo de las plantas, sirviendo para actividades agronómicas como enraizamiento, desarrollo de la base foliar, mejora de la floración y activación del vigor y el poder germinativo de las semillas.

Purines.- son soluciones muy parecidas a los bioles, la diferencia es que además del estiércol, éste contiene un macerado de algún vegetal especial, como ortiga, cola de caballo o leguminosas (29). Otro tipo de purín es el que está constituido por orina fermentada de animales domésticos, mezclada con partículas de excrementos, jugos que fluyen del estiércol y agua de lluvia (97).

3.5. Calidad de los biofertilizantes líquidos

La calidad, en los biofertilizantes líquidos, se refiere a factores tales como madurez, minerales presentes y contenido de microorganismos, los cuales pueden variar de lote en lote debido a la diversidad de materia prima utilizada, como también al tipo de elaboración. La naturaleza de los materiales, la relación C:N y las condiciones físico químicas tales como temperatura, humedad, pH y presencia de oxígeno, son factores clave para la obtención del tipo de producto deseado y su calidad (37).

La efectividad de los biofertilizantes líquidos tanto sobre la supresión de enfermedades como en su capacidad nutricional, ha sido cuestionada por algunos investigadores debido a la falta de consistencia de los resultados obtenidos en estudios realizados hasta ahora (33).

La calidad de los biofertilizantes puede ser analizada desde dos ópticas diferentes, explicadas a continuación:

a) Calidad de los biofertilizantes en términos de los factores involucrados en su producción.

Ingham (2005), asegura que la variabilidad de los biofertilizantes líquidos puede ser eliminada mediante el control y

estandarización de los principales factores involucrados en la elaboración de los mismos. Estos factores son:

Materia prima.- tipo de estiércol y calidad del compost, este último para el caso de los lixiviados y téis de compost. La utilización de estiércol fresco o sólido debe ser regulado así como las técnicas de elaboración de compost del que se extraerán téis y lixiviados.

Temperatura.- este parámetro es muy importante en la presencia de minerales y también en el crecimiento de microorganismos presentes en la solución. Altas temperaturas volatilizan los nutrientes mientras que las bajas temperaturas impiden el desarrollo de microorganismos.

La temperatura es un indicador importante del tipo de microorganismos que han proliferado durante el proceso de elaboración de los biofertilizantes. Otro factor que puede ser determinado mediante el control de temperatura es el oxígeno. El incremento de temperatura en el proceso de compostaje se debe al crecimiento de bacterias y hongos, lo que a su vez significa una reducción del nivel de oxígeno presente en el medio por ende el inicio de un proceso anaeróbico.

Aditivos.- como melaza, microorganismos eficientes, entre otros deben estar presentes en cantidades necesarias y suficientes. Es decir, el éxito en la obtención de un biofertilizante consistente, efectivo y de alta calidad depende del balance de los ingredientes presentes en la elaboración del mismo.

Los microorganismos eficientes (EM) son una combinación de microorganismos benéficos de origen natural. Los principales organismos que forman parte de este complejo son bacterias fototróficas, levaduras, bacterias productoras de ácido láctico y hongos de fermentación. Estos microorganismos al entrar en contacto con la materia orgánica secretan sustancias benéficas como vitaminas, ácidos orgánicos, minerales quelatados y sustancias antioxidantes (37).

La efectividad de los biofertilizantes estará, entonces, determinada por la presencia y calidad de microorganismos eficientes en la solución en proceso.

Oxígeno.- la presencia o ausencia de oxígeno es determinante en cada proceso de elaboración de biofertilizantes líquidos. En el caso de los bioles, el proceso se da en forma anaeróbica, mientras que los lixiviados y téis de compost se producen en presencia de oxígeno. Bajos niveles de oxígeno en la elaboración

de tés pueden causar la proliferación de microorganismos anaeróbicos los cuales producirían materiales potencialmente tóxicos para las plantas (10).

Por otra parte, niveles excesivos de oxígeno en la elaboración de tés pueden resultar negativos para microorganismos benéficos. Regularmente esto no sucede a menos que el fabricante adicione peróxido de hidrógeno u ozono al agua (37).

Tiempo.- este parámetro está relacionado en forma indirecta con la temperatura, a mayor temperatura menor el tiempo necesario para la obtención de los biofertilizantes y viceversa. Algunas haciendas permiten que la fermentación del biol se de durante 21 días, otras 30 días (en el caso de la Costa) y de más de 50 días para el caso de la Sierra (96).

Agua.- altas cantidades de sales, metales pesados, nitratos, cloro, carbonatos y sulfatos, así como aguas contaminadas con microorganismos patógenos de humanos, animales o plantas, no deben ser utilizados en la elaboración de biofertilizantes. Un completo análisis de calidad de agua es necesario para la estandarización en la elaboración de biofertilizantes líquidos.

pH.- el pH del agua con el que se inicia el proceso debe estar entre 6.5 y 7.5 para favorecer al desarrollo de los microorganismos.

b) Calidad de los biofertilizantes en términos de organismos patógenos.

Un aspecto crítico en la calidad de biofertilizantes es la presencia de microorganismos patógenos de alta peligrosidad para el hombre. Como parte de un programa de regulación y control del peligro de contaminación de alimentos con patógenos humanos presentes en los biofertilizantes, el Programa Nacional Orgánico (NOP) estableció estándares de compostaje para desechos de animales y plantas, y especificó un intervalo mínimo entre la última aplicación de bioproductos elaborados con aditivos y la cosecha de 90 a 120 días.

El NOP define a los aditivos de productos orgánicos como cualquier material, además de agua y compost, que sea utilizado para incrementar la actividad microbiana de la solución o medio en descomposición.

La prevención de la posibilidad de contaminación patogénica de cultivos mediante el uso de téis de compost, puede lograrse

implementando medidas que reduzcan la entrada de los patógenos al sistema de producción de los biofertilizantes y desarrollando pruebas de calidad.

Algunas de las variables en la producción y aplicación de biopreparados, que podrían afectar la probabilidad de contaminación de cultivos con patógenos humanos, son los estiércoles, la estabilidad del compost, las propiedades de las plantas y las condiciones del ambiente.

Los estiércoles, como materia prima de los biofertilizantes, son fuentes de microorganismos patógenos, los cuales pueden ser eliminados o reducidos hasta niveles aceptables mediante tratamientos térmicos durante períodos de tiempo determinados (50).

La estabilidad del compost se refiere a la reactividad de la materia prima, comúnmente medida como el índice de consumo de oxígeno y/o dióxido de carbono. La estabilidad del compost es importante ya que afecta el crecimiento de *Salmonella* en el proceso de compostaje (88, 89, 90, 110, 111).

Estándares en la elaboración de biofertilizantes

El establecimiento de estándares para la producción de biofertilizantes es muy necesario para la eliminación de la variabilidad de los efectos de los diferentes biofertilizantes. Para obtener un producto consistente, las condiciones deben ser las mismas desde el inicio hasta el final de los procesos de fermentación.

Las principales condiciones que se deben estandarizar en el proceso de elaboración de biofertilizantes son la temperatura, el agua, el oxígeno, la materia prima y sustancias aditivas empleadas (37).

Ingham (2005) sugiere ciertos rangos en las cantidades de microorganismos presentes en téis de compost que han sido estudiados y sugiere que la aplicación de un biofertilizante con este tipo de microorganismos, en las cantidades expuestas en la tabla 1 evita la colonización de organismos patógenos debido a la acción protectante que realiza la biomasa bacteriana (65%) y fúngica (5%) en las hojas. Del mismo modo, realizó varios estudios con téis de compost que tenían propiedades supresoras y no supresoras de enfermedades. Las características de cada uno de estos téis se muestran en la tabla 2.

Suquilanda (1998), estudió las características de biofermentados anaeróbicos líquidos (bioles) elaborados con diferentes tipos de materia prima. La tabla 3 muestra la composición bioquímica de un biol a base de estiércol vacuno y la tabla 4 la comparación físico-química entre dos tipos de bioles, uno elaborado con estiércol vacuno y agua en una relación 1:1, y otro elaborado con estiércol, alfalfa y agua (37, 97).

**TABLA 1.
RANGOS DE NIVELES MÍNIMOS DE MICROORGANISMOS
DESEADOS EN EL TÉ DE COMPOST**

	Bact. Activas µg	Bact. totales µg	Hongos Activos µg	Hongos Totales µg	Protoz. Flag.	Protoz. Ameb. #	Protoz. Ciliados	Nemát. Benéf.
1 ml de Té de compost	10-150	150-300	2-10	2-20	1000	1000	20-50	210

TABLA 2.
COMPARACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE TÉS
CAPACES Y NO CAPACES DE SUPRIMIR ENFERMEDADES.

	Té no supresor	Té supresor
Métodos de Plato		
Bacterias Aeróbicas	1.6 (0.5) x 10 ⁸	1.6(0.7) x 10 ⁸
Pseudomonas	5.0 (1.4) x 10 ³	1.2 (0.2) x 10 ³
Productores de celulosa	35 (12)	210 (43)
Bacillus	7.9 (0.4) x 10 ²	0.3 (0.1) x 10 ²
Microscopía directa		
Bacterias activas	8.0 (2.6)	12.7 (5)
Bacterias totales	25.1 (1.0)	245 (34)
Hongos activos	0.00	3.76
Hongos Totales	0.35 (0.12)	11.1 (2.33)
Cubierta de hojas %		
Cubierta bacteriana	27 (4.7)	86.9 (9.7)
Cubierta fúngica	0.00	5.1 (0.6)
Enfermedad (5 plantas de tomate)	Todas las plantas murieron.	Todas las plantas produjeron fruto.

**TABLA 3.
COMPOSICIÓN BIOQUÍMICA DEL BIOL**

Componente	Biol (ng/gr)	Método
Acido indolacetico	9	Colorimetrico
Giberelina	8.4	Radio ensayo
Tiamina (b1)	190	Fluorometrico
Piridoxina (b6)	18.2	Fotometrico
Riboflavina (b2)	64	Fluorometrico
Acido folico	10.4	Radioensayo
Triptofano	4.8	Electroforesis
Cianocobalina	5.8	Radioensayo

**TABLA 4.
COMPARACIÓN DE LA COMPOSICIÓN FÍSICO-QUÍMICA
DEL BIOL PROVENIENTE DE ESTIÉRCOL VACUNO (BE) Y
DE ESTIÉRCOL MÁS ALFALFA PICADA (BEA).**

Componente	unidad	BE	BEA
Sólidos totales	%	5,6	9,9
Materia Org.	%	38	41,1
Fibra	%	20	26,2
Nitrógeno	%	1,6	2,7
Fósforo	%	0,2	0,3
Potasio	%	1,5	2,1
Calcio	%	0,2	0,4
Azufre	%	0,2	0,2
Ac.Indol Acét.	ng/g	12	67,1
Giberelinas	ng/g	9,7	20,5
Purinas	ng/g	9,3	24,4
Tiamina (B1)	ng/g	187,5	302,6
Riboflavina(B2)	ng/g	83,3	210,1
Piridoxina (B6)	ng/g	33,1	110,7
Ac.nicotínico	ng/g	10,8	35,8
Ac. fólico	ng/g	14,2	45,6
Cisteína	ng/g	9,2	27,4
Triptofano	ng/g	56,6	127,1

3.6. Los biofertilizantes líquidos en el control de Sigatoka Negra

Durante los últimos años, tanto agricultores como científicos han reportado los efectos positivos de biofertilizantes líquidos, obtenidos en forma aeróbica como anaeróbica, sobre el desarrollo de ciertas enfermedades en las plantas (83,106).

Aunque se ha experimentado una inconsistencia en el efecto que estos biofertilizantes tienen sobre el desarrollo de enfermedades, el cual es atribuido a la variabilidad en la materia prima, así como al proceso de elaboración, tipo de aplicación y condiciones del medioambiente, las investigaciones continúan cada vez con resultados más prometedores (83, 106).

Debido a la importancia que la enfermedad de la Sigatoka Negra representa para el cultivo de banano, se realizaron diversos estudios acerca del efecto de estos biofertilizantes líquidos sobre el desarrollo de *Mycosphaerella fijiensis*, agente causal de la enfermedad mencionada.

García y Apezteguia (2001) realizaron estudios con lixiviados de compost obtenidos a partir de desechos de banano, sobre plantas de banano y encontraron que las plantas tratadas con el lixiviado

presentaron un 45% menos de infección de Sigatoka Negra comparado al testigo.

El efecto de este producto sobre el desarrollo de la enfermedad fue atribuido a la presencia de ácidos orgánicos en especial el ácido butanoico, cuyo contenido fue del 64.2% del total de compuestos presentes en el lixiviado, el cual podría tener un efecto protectante al ser un compuesto graso que impediría la entrada del hongo a través de la superficie foliar (26).

Larco (2004), tras un estudio con lixiviados de diferentes tipos de compost sobre el desarrollo de Sigatoka Negra, concluyó que los lixiviados de compost de estiércol y de lombricompost de broza de café, presentaron las mejores características para ser considerados como protectantes que se pueden combinar o sustituir a productos químicos como el Clorotalonil, debido posiblemente a los microorganismos que existen o metabolitos que se puedan liberar durante el proceso y que afectan al patógeno (46).

CAPÍTULO 4

4. MATERIALES Y MÉTODOS.

Esta investigación fue orientada a la validación de las siguientes hipótesis:

1. “Los biofertilizantes líquidos tienen un efecto directo sobre *Mycosphaerella fijiensis*, estudiado sobre la formación y crecimiento de colonias y el crecimiento de micelio del agente causal; y un efecto indirecto sobre la Sigatoka Negra, al ser aplicados en plantas, determinado por inoculaciones dirigidas en invernadero”.
2. “Los biofertilizantes líquidos son fuentes nutritivas que al ser aplicados directamente al follaje mejoran las características

agronómicas de las plantas e inhiben el desarrollo de Sigatoka Negra”.

Planteadas las hipótesis, el objetivo general de este trabajo fue:

Analizar y comparar el efecto directo de biofertilizantes líquidos, preparados y recolectados en dos fincas bananeras orgánicas de la provincia de El Guayas, sobre el agente causal de la Sigatoka Negra y su hospedero.

Para cumplir con este requerimiento, se plantearon los siguientes objetivos específicos:

1. Monitorear *in vitro* el efecto de tres concentraciones de medios envenenados con biofertilizantes líquidos sobre la formación de colonias y el crecimiento de micelio de *Mycosphaerella fijiensis*.
2. Estudiar la relación de la calidad nutricional de los biofertilizantes líquidos versus sus efectos directos sobre *Mycosphaerella fijiensis*.

3. Analizar el efecto nutricional de los productos valorados sobre parámetros de desarrollo vegetal de vitro-plántulas en condiciones semicontroladas.

El desarrollo de esta investigación se realizó en el laboratorio de Fitopatología del Centro de Investigaciones Biotecnológicas del Ecuador (CIBE), edificio PROTAL de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, Campus "Gustavo Galindo" ubicado en el Km 30,5 de la vía Perimetral en la ciudad de Guayaquil.

Material biológico.

a. Colonias

De campo, se seleccionaron hojas infectadas con *M. fijiensis* y se separaron las partes con presencia de síntomas esporulantes. Luego de limpiar dichas partes de hojas, se realizaron cortes de 2 x 3 cm los cuales fueron grapados a papel filtro y colocados en cámara húmeda durante 48 horas en temperatura ambiente.

Luego, los papeles fueron impregnados a las tapas de cajas petri con medio PDA para permitir la descarga durante 1 hora, luego de la descarga, las cajas petri fueron incubadas 48 horas a 26°C en total

oscuridad. Las ascosporas germinadas fueron transferidas a otro medio PDA para obtener colonias.

b. Conidias

Las colonias obtenidas mediante el procedimiento explicado en el párrafo anterior fueron subcultivadas sobre un medio PDA por 7 días, luego el micelio fue colocado en medio Mycophil durante 20 días en condiciones de oscuridad y 20°C. Luego de este período, el micelio es dividido, disuelto en agua TweenTM 20 (0.005%) y trasladado a un medio modificado V8 sólido (pH 6) en el cual se mantuvo por 7 días bajo condiciones de luz y 26°C.

Transcurrido el tiempo definido se obtuvieron nuevas colonias, que pueden utilizarse para los ensayos en medio líquido, estas colonias fueron disueltas en agua TweenTM 20 (0.005%) y mediante un agitador se obtuvieron soluciones conidiales que se usaron en medios sólidos.

c. Plántulas de banano

Las plantas de banano, variedad Williams (grupo Cavendish, AAA), se obtuvieron a partir de micropropagación en el laboratorio de cultivo de tejidos del CIBE.

d. Biofertilizantes

Los biofertilizantes evaluados se recolectaron en dos haciendas ubicadas en los cantones Taura y Balao pertenecientes a la provincia de El Guayas.

Dos biofertilizantes de cada hacienda fueron usados en este experimento, los primeros fueron elaborados en el mes de julio y los segundos en septiembre, de esta forma podríamos comparar la variabilidad de los productos elaborados en una misma hacienda.

Los biofertilizantes empleados en este estudio fueron elaborados mediante fermentación anaeróbica de 20Kg de estiércol vacuno fresco, 4L de melaza de caña, 4L de microorganismos benéficos (EM^R) y 150L de agua en un tanque de plástico de 200L de capacidad. La solución fue dejada fermentar por 2 meses y, antes de ser llevadas al laboratorio, las muestras fueron filtradas y se midió el pH.

Metodología

Para cumplir los objetivos planteados en el estudio, los ensayos fueron ejecutados en dos condiciones experimentales: (1) *in vitro* (laboratorio) e (2) *in vivo* (invernadero).

Los ensayos *in vitro* fueron evaluados utilizando biofertilizantes esterilizados de dos formas: al frío (utilizando filtros Millipore) y al calor (esterilización en autoclave) con el fin de descartar la posibilidad de que existan elementos termolábiles en los biofertilizantes y además descartar la constitución microbiológica de los productos.

La metodología empleada para la esterilización se detalla a continuación.

Esterilización al frío

Los biofertilizantes fueron centrifugados a 14000rpm durante 20 minutos para separar los sólidos presentes en el líquido. Luego de la centrifugación, se procedió al filtrado a través de membranas hidrofílicas millipore Millex[®] de 0.45 μm y Durapore[®] de 0.22 μm , en ese orden, conectado a una bomba al vacío.

Esterilización al calor

Los biofertilizantes fueron centrifugados a 4000rpm durante 20 minutos para separar la mayor cantidad de sólidos posibles, luego se esterilizaron en una autoclave a 121°C, 10⁵ Pa por un espacio de 25 minutos.

Bio-ensayos in vitro (Laboratorio)

Estos ensayos consistieron en la evaluación del crecimiento conidial y micelial de *Mycosphaerella fijiensis* en medio sólido y líquido,

respectivamente. Los ensayos fueron analizados por separado de acuerdo al tipo de esterilización y medio de cultivo empleado. A continuación se describen los tratamientos empleados para cada uno de los bio-ensayos como también la metodología empleada para cada uno de los bioensayos:

Tratamiento 1 (T1): 10% v/v de biofertilizante diluido

Tratamiento 2 (T2): con 30% v/v de biofertilizante diluido

Tratamiento 3 (T3): 70% v/v de biofertilizante diluido

Control: 0% v/v de biofertilizante.

a) Evaluación en medio nutritivo sólido

El medio nutritivo usado fue el medio Papa Dextrosa Agar (PDA) ® Merck 39gr/litro, esta dosis fue empleada para el control mientras que a los medios envenenados con biofertilizante se adicionó una cantidad extra de agar para asegurar la solidificación del medio.

Por cada 10ml de medio se añadió 0.1875gr para el medio envenenado al 10%, 0.25gr para el medio al 30% y 0.3125gr para el medio envenenado al 70%.

El biofertilizante estéril obtenido mediante esterilización al frío o al calor, de acuerdo al ensayo en ejecución, fue adicionado bajo

condiciones asépticas al medio agar estéril en cantidades según cada tratamiento. Después de la regulación del pH (6 – 6.3), con hidróxido de sodio 1M, se dispensaron 10 ml de medio + biofertilizante en un total de 8 réplicas.

En el medio ya solidificado se procedió con la siembra de las conidias obtenidas *in vitro* en una concentración de 3000 conidias por ml. La incubación se realizó a 26°C en condiciones de oscuridad, para luego de 7 y 15 días de la inoculación proceder a la evaluación.

b) Evaluación en medio nutritivo líquido

El medio nutritivo líquido fue preparado con 200gr de papa fresca, 20gr de dextrosa, 16ml de jugo comercial V8, previamente filtrado, y 1000ml de agua.

Bajo condiciones asépticas, el biofertilizante estéril fue añadido de acuerdo al tratamiento. Una vez ajustado el pH entre 6 – 6.3, se procedió a sembrar una colonia de *M. fijiensis* en cada frasco.

Todos los frascos fueron colocados aleatoriamente en un equipo de agitación rotatoria en la que permanecieron durante 15 días, hasta su evaluación.

c) Evaluación de biofertilizantes liofilizados

Los biofertilizantes líquidos fueron liofilizados y el producto de consistencia polvoso, obtenido de la liofilización fue hidratado con agua destilada. Se empleó el mismo volumen de agua perdida durante el proceso.

Los productos liofilizados hidratados fueron evaluados en medio sólido con esterilización al calor, siguiendo la metodología descrita en el literal a).

d) Evaluación semanal de los biofertilizantes

Con el fin de monitorear el comportamiento de los biofertilizantes en función del tiempo, se realizaron 4 evaluaciones semanales sobre la germinación de conidias en medio envenenado sólido, utilizando los mismos tratamientos.

La esterilización empleada para este ensayo fue al calor y el número de observaciones por tratamiento fue de cincuenta colonias.

Bio-ensayo in vivo (Invernadero)

Una vez obtenidas, las plántulas de 3cm de altura fueron plantadas en bandejas de plástico de 30 celdas llenas de substrato compuesto de arena, cascarilla de arroz y desechos de café (1:1:2). Después de 42 días,

las plantas aproximadamente de 15cm de alto fueron transplantadas a cajas plásticas individuales de 0.9 L. de capacidad llenas del mismo sustrato.

Cada tratamiento fue conformado por 10 plantas, las cuales recibieron 250ml de la dilución agua-biofertilizante.

Para los controles convencionales se utilizó nitrato de potasio 1.5gr/L y sulfato de amonio 1.5gr/L, mientras que los controles absolutos solamente recibieron riego. Las aplicaciones se efectuaron durante 8 semanas, tiempo después del cual se procedió a la inoculación dirigida de *M. fijiensis*. Las hojas número 2, 3 y 4, contadas desde arriba hacia abajo, fueron asperjadas con una solución conidial de 3×10^3 conidias/ml usando un aerógrafo Badger® 100.

Los tratamientos utilizados en condiciones *in vitro*, fueron los mismos utilizados a nivel de invernadero con los productos proveniente de cada hacienda. A continuación se detallan los mismos:

Tratamiento 1 (T1): diluciones de biofertilizantes 10% v/v.

Tratamiento 2 (T2): diluciones de biofertilizantes 30% v/v

Tratamiento 3 (T3): diluciones de biofertilizantes 70% v/v

Control convencional: aplicaciones de N y K.

Control absoluto: no aplicaciones.

Estos tratamientos fueron aplicados una vez a la semana y tres veces a la semana por cada uno de los productos evaluados.

Diseño experimental y análisis estadísticos.

Se empleó estadística descriptiva univariada para la estimación de parámetros de tendencia central y dispersión. Estadística inferencial y teorema de límite central, también fue empleada para analizar variables cuantitativas como desarrollo de síntomas de la enfermedad, área bajo la curva para el progreso de la enfermedad, parámetros agronómicos, etc.

El grado de infección de la enfermedad en plantas de invernadero fue analizado por pruebas no paramétricas de Kruskal-Wallis y Mann-Whitney. Todos los datos fueron analizados mediante la versión 11 SPSS para Windows.

En los bio-ensayos *in vitro* cada experimento consistió de 4 tratamientos, dispuestos en un diseño completamente al azar.

La unidad experimental estuvo compuesta por la lectura de cada parámetro en 80 órganos de disseminación para los experimentos en medio sólido. Mientras que, para los experimentos en medio líquido se

valoró un total de 8 Erlenmeyers conteniendo micelio del microorganismo en estudio.

En los bio-ensayos *in vivo* cada experimento constó de 5 tratamientos dispuestos en un diseño experimental completamente al azar. Los tratamientos estuvieron conformados por dos factores, la concentración de los biofertilizantes y la frecuencia de las aplicaciones.

Parámetros de evaluación

a. Bio-ensayos *in vitro* (Laboratorio)

De acuerdo al ensayo en ejecución, los parámetros evaluados fueron los siguientes:

1. *Diámetro de colonias.*- A los siete y quince días de siembra de las conidias, se seleccionó un número de 10 colonias por caja completando 80 observaciones por cada tratamiento. La medición se realizó con microscopio invertido en la primera fecha y con una regla milimétrica en la segunda fecha.

2. *Peso de micelio.*- 15 días después de la siembra, se filtró el micelio de cada Erlenmeyer en papel filtro estéril previamente pesado, luego se

registró su peso a las 24 horas (peso húmedo) y a los 5 días (peso seco).

b. Bio-ensayo *in vivo* (Invernadero)

Las evaluaciones en estos ensayos se realizaron durante 8 semanas, los parámetros monitoreados semanalmente fueron:

1. *Altura de planta.*- este parámetro fue evaluado semanalmente, para lo cual se midió la longitud de la planta comprendida desde la base hasta la inserción de la hoja bandera.

2. *Número de hojas totales.*- Semanalmente se realizó un conteo del total de hojas emitidas por planta desde el inicio de las aplicaciones.

3. *El desarrollo de la enfermedad.*- fue monitoreado cada 15 días de acuerdo a Alvarado *et al.*2003, la cual es una modificación de la escala presentada por Fullerton y Olsen, 1995.

La forma de evaluación de la incidencia de la enfermedad fue la siguiente:

0 = para hojas con ausencia de síntomas,

1 = para hojas con manchas rojizas solamente sobre la parte inferior (envés) de la hoja,

2 = para manchas circulares regulares o irregulares solamente sobre la superficie de la parte baja de la hoja,

3 = para manchas circulares regulares o difusas de color café claro sobre la superficie de la parte alta de la hoja,

4 = manchas circulares negras o cafés, a veces con un halo amarillo o clorosis de tejidos adyacentes sobre la parte alta de la superficie de la hoja,

5 = para manchas negras con centro seco de color gris y la hoja completamente necrótica.

Análisis químico de los biofertilizantes

A cada biofertilizante utilizado en los diferentes ensayos de este estudio, se le realizó un análisis químico de micro y macronutrientes para conocer el contenido nutricional de los productos.

CAPÍTULO 5

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Bio-ensayos bajo condiciones *in vitro* (Laboratorio)

- **Efecto del biofertilizante Taura, elaborado en el mes de julio, sobre el crecimiento conidial de *M. fijiensis* en medio sólido.**

El gráfico 5.1. muestra las diferencias entre los tratamientos expresadas en la media y el error estándar. Las conidias de *M. fijiensis* crecieron en los medios correspondientes al control y al del medio envenenado al 10%, mientras que los tratamientos al 30% y 70% no mostraron crecimiento alguno.

Los resultados fueron consistentes durante las dos evaluaciones, a los 7 días y 15 días tanto en los ensayos con esterilización al calor como al frío.

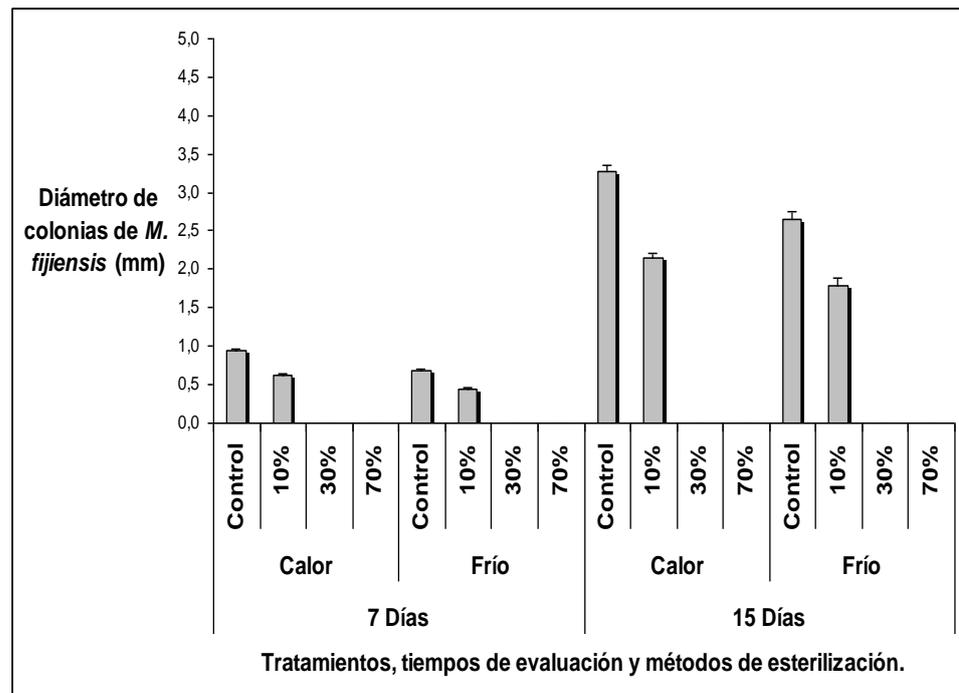


GRÁFICO 5.1. DIÁMETRO DE COLONIAS A LOS 7 Y 15 DÍAS CON EL BIOFERTILIZANTE TAURA DEL MES DE JULIO.

- **Efecto del biofertilizante Balao, elaborado en el mes de julio, sobre el crecimiento conidial de *M. fijiensis* en medio sólido.**

El biofertilizante de Balao mostró un mejor efecto que el de Taura en esta fecha. La inhibición del crecimiento de las conidias fue completa en todas las concentraciones (gráfico 5.2.). Los resultados mostraron similar patron en las dos evaluaciones.

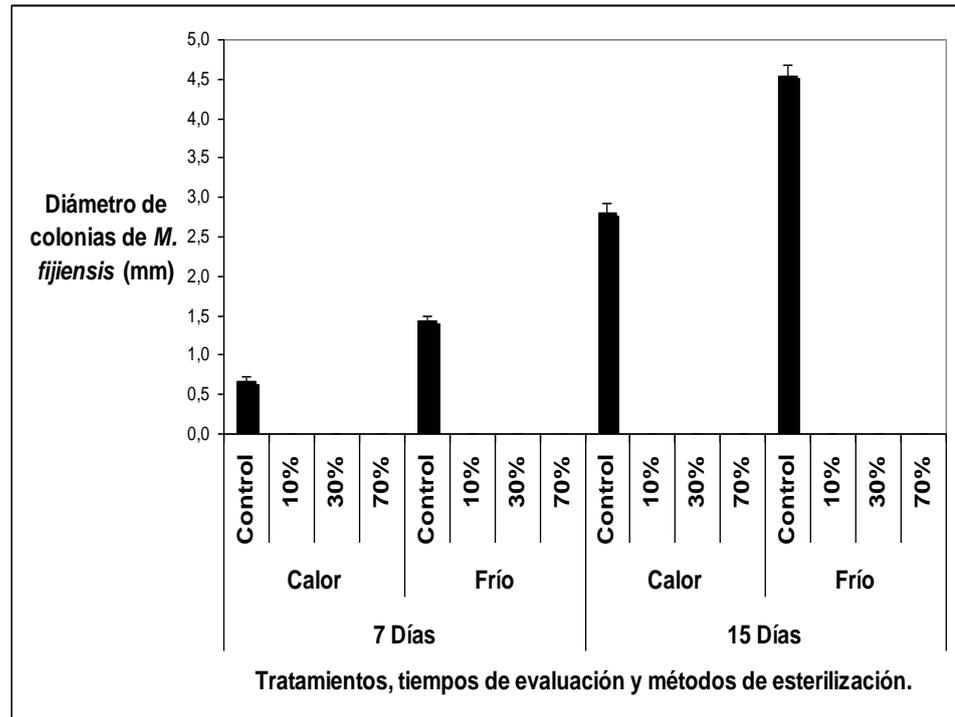


GRÁFICO 5.2. DIÁMETRO DE COLONIAS A LOS 7 Y 15 DÍAS CON EL BIOFERTILIZANTE BALAO.

- **Efecto de los biofertilizantes Taura y Balao, elaborados en el mes de julio, sobre el crecimiento micelial de *M. fijiensis* en medio líquido.**

Similares resultados que los obtenidos en medios solidos sobre colonias, mostró el biofertilizante de Taura cuando se evaluó en medio líquido. Solo el tratamiento de control produjo micelio, lo que no sucedió con el biofertilizante de Balao en donde se registraron crecimientos miceliales para los tratamientos al 10% tanto en esterilización al frío como al calor.

El gráfico 5.3 muestra el desarrollo micelial (representado en peso) producido en los ensayos con los dos biofertilizantes y de acuerdo a los dos tipos de esterilización ensayada.

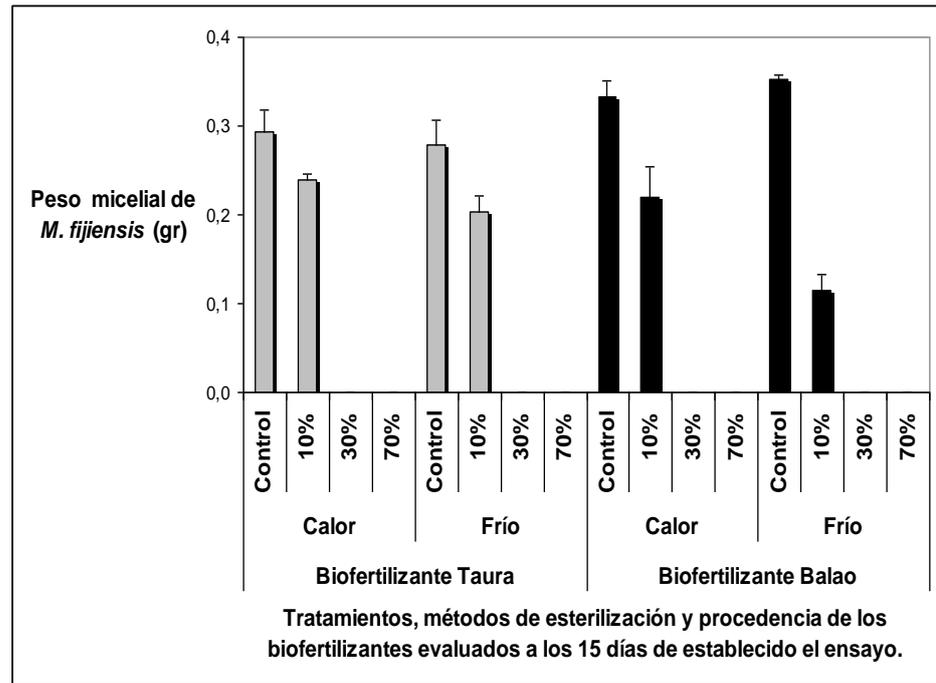


GRÁFICO 5.3. PESO MICELIAL NETO DEL HONGO EN MEDIO LÍQUIDO EN ENSAYOS CON LOS BIOFERTILIZANTES TAURA Y BALAO DE JULIO.

- **Efecto del biofertilizante Taura, elaborado en el mes de septiembre, sobre el crecimiento conidial de *M. fijiensis* en medio sólido.**

A diferencia del biofertilizante del mes de julio, proveniente de la misma hacienda, en este producto se evidenció una completa inhibición de las colonias, (Gráfico 5.4.).

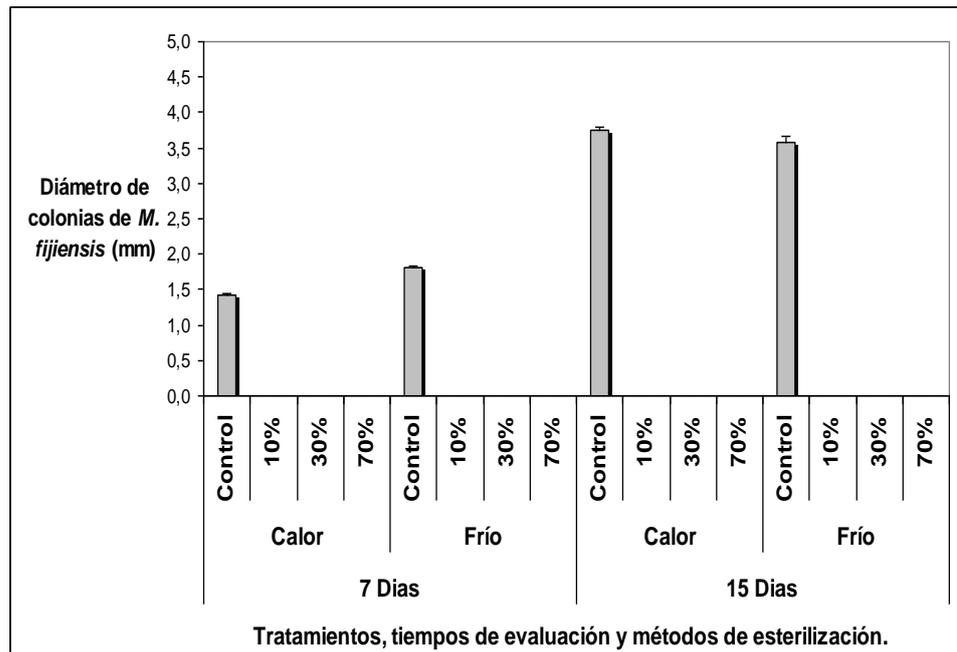


GRÁFICO 5.4. DIÁMETRO DE COLONIAS A LOS 7 Y 15 DÍAS CON EL BIOFERTILIZANTE TAURA RECOLECTADO EN EL MES DE SEPTIEMBRE.

- **Efecto del biofertilizante Balao, elaborado en el mes de septiembre, sobre el crecimiento conidial de *M. fijjensis* en medio sólido.**

El biofertilizante de la hacienda de Balao elaborado en el mes de septiembre tuvo el mismo comportamiento que su correspondiente del mes de julio, los controles fueron los únicos en los que se produjo crecimiento de colonias (Gráfico 5.5.).

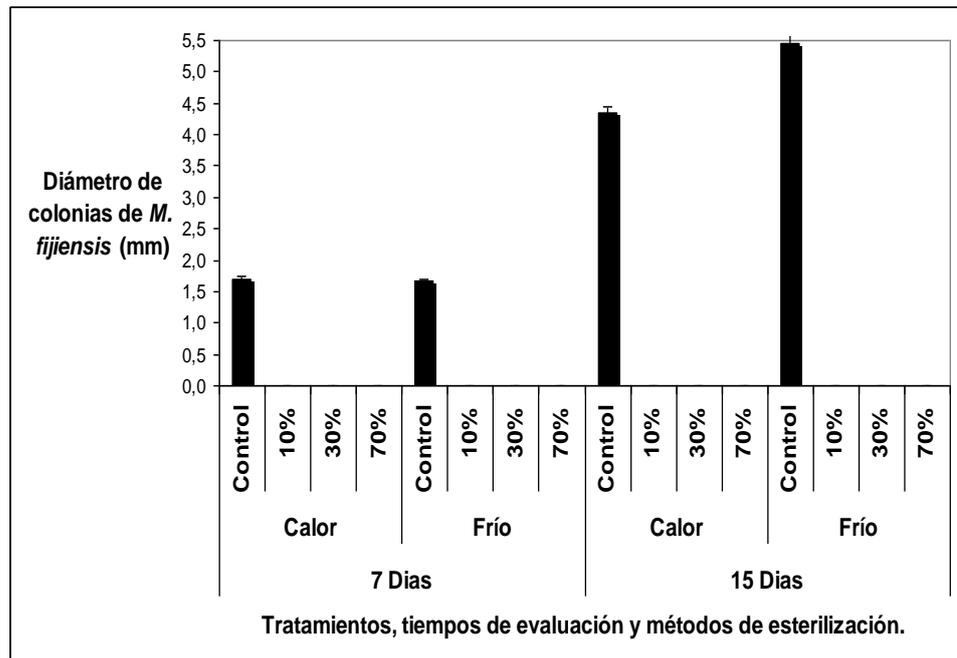


GRÁFICO 5.5. DIÁMETRO DE COLONIAS A LOS 7 Y 15 DÍAS CON EL BIOFERTILIZANTE BALAO DE SEPTIEMBRE.

- **Efecto de los biofertilizantes Taura y Balao, elaborados en el mes de septiembre, sobre el crecimiento micelial de *M. fijiensis* en medio líquido.**

A diferencia de los biofertilizantes elaborados en el mes de julio, en donde se registraron crecimientos miceliales en los tratamientos al 10% de ambas procedencias (Gráfico 5.3.), los biofertilizantes de septiembre inhibieron el crecimiento de biomasa fúngica en todas las concentraciones de medios envenenados tanto en esterilización al frío como al calor (Gráfico 5.6.).

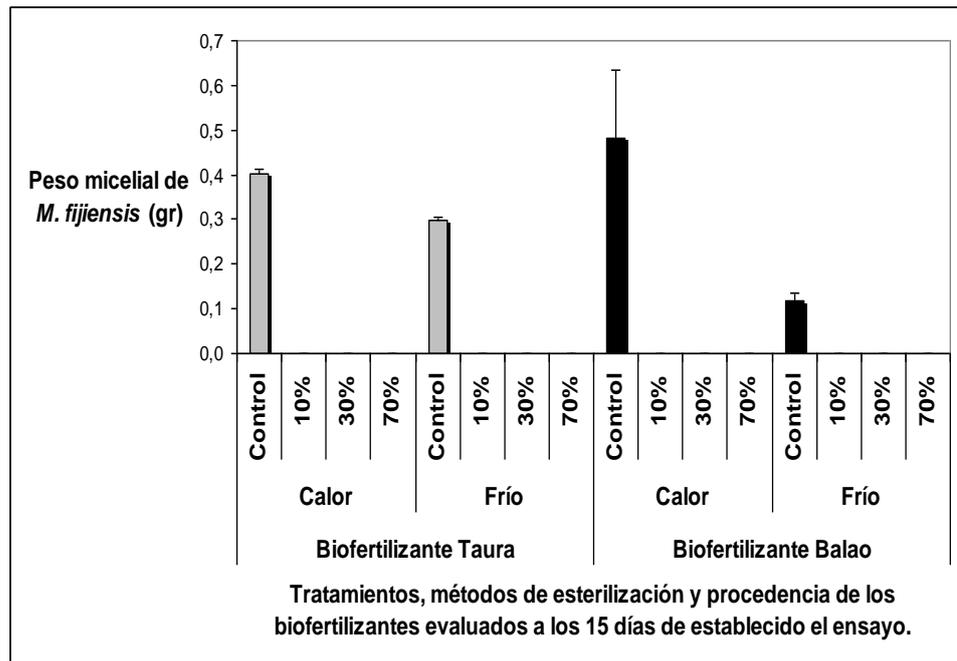


GRÁFICO 5.6. PESO MICELIAL NETO DEL HONGO EN MEDIO LÍQUIDO EN ENSAYOS CON LOS BIOFERTILIZANTES TAURA Y BALAO DE SEPTIEMBRE.

➤ **Efecto de los biofertilizantes liofilizados sobre el crecimiento conidial de *M. fijjensis* en medio sólido.**

El ensayo establecido con los biofertilizantes liofilizados y nuevamente hidratados mostró resultados diferentes y a la vez consistentes. El gráfico 5.7. muestra el crecimiento conidial en los medios envenenados al 10% y 30% con el biofertilizante Taura, y en el medio envenenado al 10% con el biofertilizante Balao, lo cual indica que en el proceso de liofilización se pierden ciertos compuestos solubles en agua responsables de la respuesta inhibitoria del crecimiento de *M. fijjensis*.

Los resultados obtenidos en este ensayo son consistentes con los resultados anteriores ya que, a pesar de la pérdida en la capacidad inhibitoria mediante la liofilización, el biofertilizante Balao siguió siendo más efectivo que el de Taura.

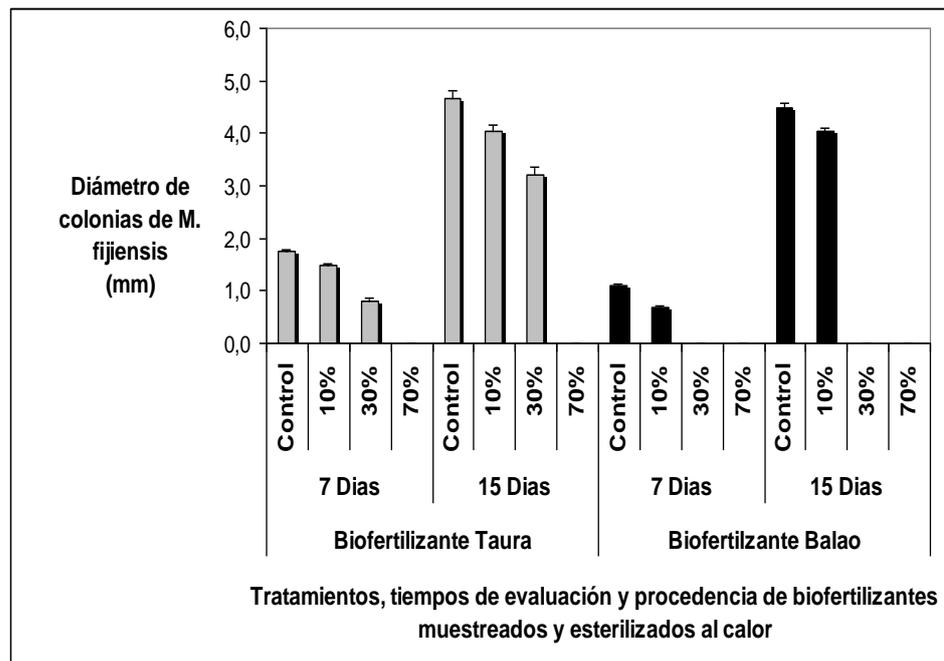


GRÁFICO 5.7 DIÁMETRO DE COLONIAS EN ENSAYOS CON BIOFERTILIZANTES LIOFILIZADOS, ELABORADOS EN JULIO.

- **Pruebas semanales de los biofertilizantes elaborados en el mes de julio sobre el crecimiento conidial de *M. fijjensis* en medio sólido, con esterilización al calor.**

En todos los ensayos, realizados durante 4 semanas, con el biofertilizante Taura se registraron crecimientos conidiales en los controles y medios envenenados al 10%, mientras que con el biofertilizante Balao los resultados no variaron a través del tiempo.

El gráfico 5.8. muestra una leve reducción en la media del diámetro de las colonias en los tratamientos al 10% para la segunda, tercera y cuarta semana.

En el caso del biofertilizante Balao, no se evidenció crecimiento de micelio, en ninguno de los ensayos semanales, para ninguno de los tratamientos, a excepción de los controles.

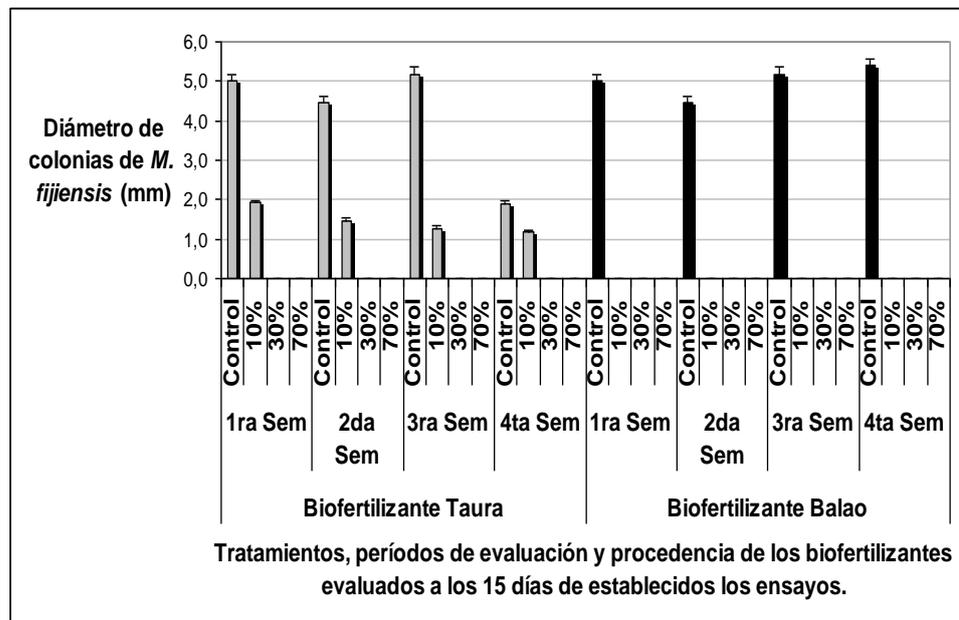


GRÁFICO 5.8. DIÁMETRO DE COLONIAS A LOS 15 DÍAS DE LOS ENSAYOS SEMANALES CON LOS BIOFERTILIZANTES BALAO Y TAURA DE JULIO EN MEDIO SÓLIDO.

B. Bio-ensayos *in vivo* (condiciones de invernadero).

➤ **Efecto de los biofertilizantes sobre la altura y número de hojas en plantas de banano a nivel de invernadero.**

En el ensayo con los biofertilizantes Taura, el tratamiento que mejor resultado presentó en altura de plantas fue el correspondiente al tratamiento 1 (conv.+ 10% biofertilizante, 3 aplicaciones por semana), seguido por el tratamiento 2 (conv. + 30% biofertilizante, 3 aplicaciones por semana). Mientras que, los tratamientos que registraron las menores alturas de plantas fueron los correspondientes a los conv. + 70% biofertilizante, 1 y 3 aplicaciones por semana, (gráfico 5.9.).

En cuanto al ensayo con los biofertilizantes Balao, los tratamientos que mostraron mejores resultados en altura de plantas fueron los correspondientes al control convencional, seguido de la solución conv. + 10% biofertilizante 1 aplicación por semana. De la misma forma que con el biofertilizante Taura, el de Balao al 70% aplicado una vez por semana mostró el menor promedio de altura (gráfico 5.9.).

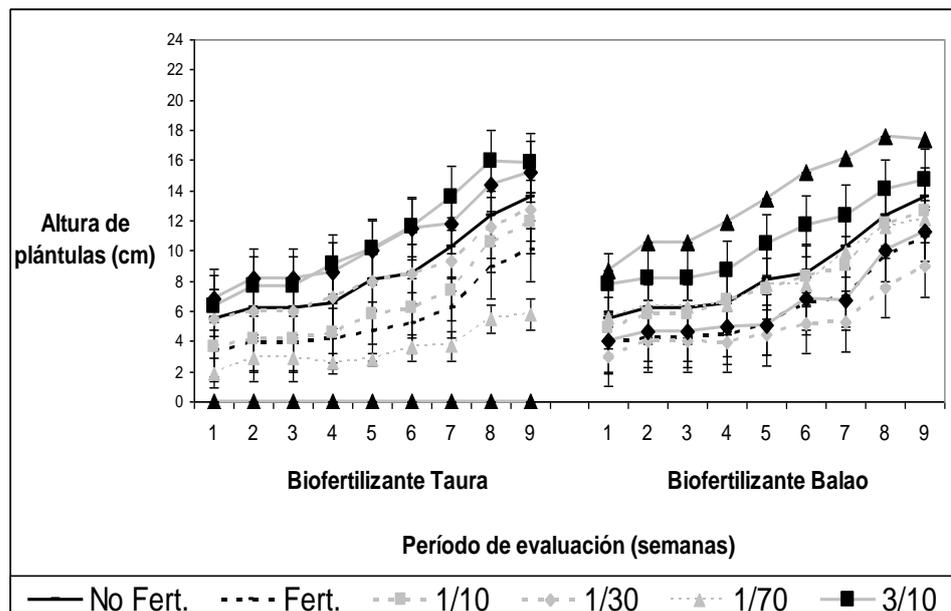


GRÁFICO 5.9. ALTURA DE PLANTAS TRATADAS CON LOS DOS BIOFERTILIZANTES.

En el ensayo con el biofertilizante Taura, las plantas correspondientes a los tratamientos conv. + 70% biofertilizante, 1 y 3 aplicaciones por semana, registraron el menor incremento en el índice foliar, mientras que los tratamientos conv. + 30% biofertilizante mostraron el mayor número de hojas al final del período de evaluación. Por su parte, los tratamientos conv. + 10% biofertilizantes y convencionales se comportaron de forma similar (gráfico 5.10.).

En cuanto al biofertilizante Balao, los tratamientos conv. + 10% biofertilizante, aplicados 1 y 3 veces por semana, registraron el mayor número de hojas, mientras que el tratamiento conv. + 70%

biofertilizante 3 aplicaciones por semana mostró el menor número de hojas, (gráfico 5.10.).

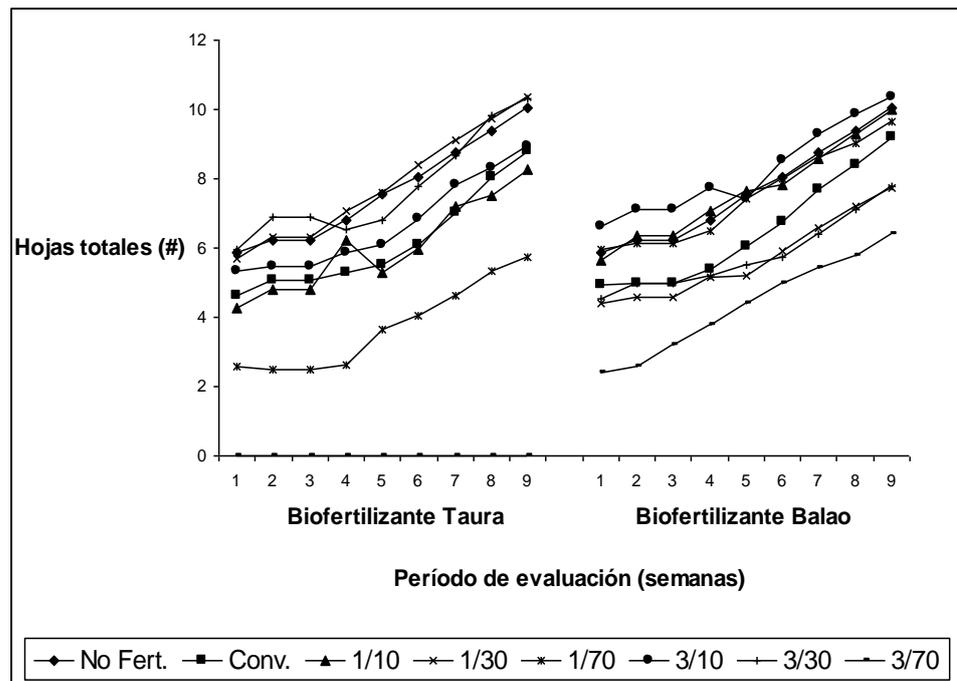


GRÁFICO 5.10. NÚMERO DE HOJAS TOTALES EVALUADAS DURANTE 9 SEMANAS.

➤ **Efecto de los biofertilizantes sobre el desarrollo de *M. fijiensis* en plantas de banano a nivel de invernadero.**

Los síntomas de la Sigatoka Negra fueron evaluados a los 15, 30, 45 y 60 días después de inoculación. En este caso los datos fueron analizados con respecto a los controles y de acuerdo a los ciclos de aplicación. La tabla 5 muestra las diferencias estadísticas con la aplicación del biofertilizante procedente de Balao, cuando estos son aplicados una vez por semana. Cuando las aplicaciones se

realizan tres veces por semana existe diferencia con los dos biofertilizantes.

TABLA 5.
DIFERENCIAS EN LOS SÍNTOMAS DE SIGATOKA NEGRA,
A INTERVALOS DE 15 DÍAS EN DOS HOJAS DE PLÁNTULAS
DE BANANO BAJO CONDICIONES DE
INVERNADERO (n=30).

Localidad				
Días de inoculación	Taura		Balao	
	Número de hoja			
	3	4	3	4
Una aplicación semanal				
Biofertilizante vs. Fertilizante convencional				
30	0,44	0,57	0,68	0,59
45	0,52	0,78	0,00*	0,00*
60	0,7	1	0,02	0,00*
Biofertilizante vs. Control absoluto (no aplic.)				
30	0,33	0,59	0,00*	0,00*
45	0,71	0,06	0,00*	0,00*
60	0,05	0,4	0,15	0,04
Tres aplicaciones semanales				
Biofertilizante vs. Fertilizante convencional				
30	0,00*	0,00*	0,49	0,81
45	0,12	0,85	0,00*	0,00*
60	0,32	0,64	0,00*	0,00*
Biofertilizante vs. Control absoluto (no aplic.)				
30	0,00*	0,00*	0,00*	0,01
45	0,02	0,05	0,00*	0,01
60	0,32	0,21	0,04	0,04

* Diferencias significativas con $\alpha = 0,01$

➤ **Caracterización nutricional de los biofertilizantes**

Cada biofertilizante fue mandado a analizar para conocer la composición química con respecto a los macro y micronutrientes presentes en los productos.

La tabla 6 muestra una marcada diferencia entre los dos biofertilizantes, estudiados, elaborados en la hacienda Taura. Entre estas diferencias se pueden mencionar el porcentaje de nitrógeno, potasio y magnesio, como macronutrientes, los cuales están en mayor cantidad en el producto recolectado en el mes de septiembre. Dentro de los micronutrientes, el manganeso y el zinc se encontraron en mayor cantidad en el producto recolectado en el mes de julio, mientras que el azufre se encontró en menor cantidad en el producto recolectado en el mes de septiembre.

Estudios posteriores determinarán si la presencia y cantidad de dichos elementos fueron la causa de la inhibición del crecimiento de *M. fijiensis* en los diferentes ensayos de este experimento.

En cuanto a los productos de la hacienda de Balao, en la tabla 7 se puede notar mayor uniformidad en los porcentajes de macronutrientes presentes en las soluciones del mes de julio y de septiembre.

Dentro de los micronutrientes, el zinc y el manganeso se encontraron en mayor cantidad en el biofertilizante recolectado en el mes de julio.

**TABLA 6.
COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DE LOS BIOFERTILIZANTES
PROCEDENTES DE TAURA.**

Elemento	Julio	Septiembre	Media	% CV
MACRONUTRIENTES (%)				
N	0,17	0,36	0,265	50,7
P	0,04	0,07	0,055	38,57
K	0,36	1,05	0,705	69,21
Ca	0,09	0,07	0,08	17,68
Mg	0,08	0,19	0,135	57,62
MICRONUTRIENTES (ppm)				
Zn	1344	243,5	793,75	98,04
Cu	ND	ND		
Fe	ND	37,92	37,92	
Mn	2505	2,6	1253,8	141,13
Si	89	120	104,5	20,98
S	0,27	0,79	0,53	69,38

**TABLA 7.
COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DE LOS BIOFERTILIZANTES
PROCEDENTES DE BALAO.**

Elemento	Julio	Septiembre	Media	% CV
MACRONUTRIENTES (%)				
N	0,36	0,39	0,38	50,7
P	0,07	0,06	0,07	38,57
K	0,07	0,11	0,09	69,21
Ca	0,04	0,51	0,28	17,68
Mg	0,02	0,04	0,03	57,62
MICRONUTRIENTES (ppm)				
Zn	12,67	50,89	31,78	98,04
Cu	ND	0,15		
Fe	13,58	63,19	38,39	
Mn	4,53	4,15	4,34	141,13
Si	95	105	100,00	20,98
S	0,14	0,16	0,15	69,38

CAPÍTULO 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

❖ Conclusiones

1. Los biofertilizantes líquidos estudiados en este experimento inhibieron el crecimiento conidial y micelial de *M. fijiensis* en condiciones *in vitro*.
2. Los biofertilizantes demostraron diferencias según la procedencia.

3. El efecto inhibitorio de los biofertilizantes líquidos evaluados, no fue afectado por la esterilización al calor.
4. El efecto inhibitorio de los biofertilizantes no fue afectado por el tiempo de almacenamiento.
5. El proceso de liofilización disminuyó el efecto de inhibición.
6. La aplicación de biofertilizantes beneficio el crecimiento de las plántulas en invernadero.
7. Los tratamientos con biofertilizantes mostraron un efecto significativo en cuanto a la infección de la enfermedad en relación a los controles.
8. La composición nutricional de los productos orgánicos mostró un porcentaje de variación entre el 5 y 141%.

❖ **Recomendaciones**

1. Se recomienda continuar con el estudio *in vitro* de este tipo de biofertilizantes orgánicos, utilizando concentraciones inferiores al 10%.

2. Este tipo de experimentos deben ser complementados a nivel de invernadero, estudiando diversos factores como concentraciones, frecuencia y vías de aplicación.

3. Adicionalmente a los análisis nutricionales, se recomienda realizar una caracterización química mas profunda como por ejemplo ácidos orgánicos y análisis de fitohormonas.

4. Se recomienda realizar estudios a nivel de expresión (proteínas) de los hospederos en los cuales se utilizan estos productos, para relacionar el efecto de los biofertilizantes a nivel de sistemas de inducción de resistencia contra patógenos.

BIBLIOGRAFÍA

1. AEBE. Asociación de Exportadores de Banano del Ecuador. Base de datos estadísticos del 2005. <http://www.aebe.com.ec> (consultado, Abril 2007)
2. Aguilar, E., Turner, D. y Sivasithamparam, K. 2000. *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* inoculation and hypoxia alter peroxidase and phenylalanine ammonia liase enzyme activities in nodal roots of banana cultivars (*Musa* sp.) differing in their susceptibility to Fusarium wilt. Australian Journal of Botany 48:589–596.
3. Agrios, G. 1997. Fitopatología 5ta Edición. Editorial Limusa, Méjico. p 142.
4. Arciniegas A., Riveros, A. y Loaiza, J. 2002. Efecto de extractos vegetales sobre el desarrollo *In vitro* de *Mycosphaerella fijiensis*, agente causal de la Sigatoka Negra en Musáceas. En: Memorias de XV Reunión Internacional ACORBAT. AUGURA. Cartagena, Colombia. p242.

5. Arciniegas, A. 2002. Evaluación del potencial antifúngico de 20 extractos de plantas asociadas a Musáceas sobre *Mycosphaerella fijiensis*. Tesis de grado, Biólogo. Universidad del Tolima. p155.
6. Arévalo, J. 1998. Efecto del bioabono líquido en la producción de pastos y en la fertilidad del suelo. <http://www.raaa.org> (visitado, Mayo 2007)
7. Arias de López, M. y Bonilla, G. 1998. Enemigos naturales de insectos, plagas del banano. En Procedimiento de la XIII Reunión de ACORBAT, Ecuador 98. Guayaquil, Ecuador. 472 – 482.
8. Belalcázar, C., Merchán, V. y Mayorga, M. 1991. El cultivo del plátano (Musa AAB, Simmonds) en el trópico: ICA, Manual de Asistencia Técnica No. 50. Cali, Colombia. p376.
9. Belalcázar, S. 1991. El cultivo del plátano en el trópico: Manual de asistencia técnica No. 50. (S. Belalcázar, J. Toro y R. Jaramillo, eds). ICA, CIID, Comité de Cafeteros de Colombia, INIBAP. Cali, Colombia. p376.

10. Brinton, W., Trankner, A. y Droffner, M. 1996. Investigations into liquid compost extracts. *Biocycle* 37:11 68-70.
11. Cartay, R. 1997. El mercado mundial del banano. *Rev. Fac. Agron.* 14:3-20.
12. Cheesman, E. 1948. Classification of the Bananas. III. Critical Notes on Species. c. *Musa paradisiaca* L. and *Musa sapientum* L. *Kew Bulletin* 2:3 145–153.
13. Claudio, M. y Davide, R. 1968. Pathogenicity and identity of root knot nematode on five varieties of banana. *Philipp. Agric.* 51:3 241-251.
14. Consejo Zuliano de Planificación. 1994. Plan integral control de la Sigatoka negra en las zonas plataneras de Maracaibo. Maracaibo - Venezuela. Mimeografiado. p15.
15. Cooz, R. y Chávez, L. 1992. Informe Técnico sobre la situación actual de la Sigatoka negra en el sur del Lago de Maracaibo. UNISUR – FONAIAP. Chama, Venezuela. 1-10.

16. COPR, Centre for Overseas Pest Research. 1972. Pest control in banana. Pans. Manual No.1 Foreign and Commonwealth Office Overseas Development Administration. London, UK. p128.
17. Diver, S. 2001. Notes on Compost Teas: A 2001 supplement to the ATTRA publication: Compost Teas for Plant Disease Control. <http://attra.ncat.org> (consultado Mayo, 2007)
18. Edmunds, J. 1968. Nematodes associated with bananas in the Windward Island. Trop. Agric. Trin. 45:2 119-124.
19. Evaristo, F. 1968. Contribução para o reconhecimento nematológico das bananeiras en Moçambique. Agron. Mocamb. 3:169-178.
20. FAO, [Food and Agriculture Organisation](#) of the United Nations. 2005. Agricultural data base. <http://faostat.fao.org>. (Revisado April 2, 2007)
21. Flor, H. 1971. Currents status of the gene-for-gene concept. Annu. Rev. of Phytop. 9:275-296.
22. Fouré, E. 1985. Les Cercosporioses du bananier et leurs traitements comportement des variétés. Etude de la sensibilité variétale des

bananier et plantains a *Mycosphaerella fijiensis* Morelet au Gabon (Maladie des raies noires). *Fruits* 40:339-399.

23. Freckman, D. and Caswell, E. 1985. The ecology of nematodes in agro ecosystem. *Ann. Rev. Phytop.* 23:275-296.

24. Frison, E. 2003. Rescuing the banana. www.newscientist.com (consultado Abril, 2007).

25. Fullerton, R. and Stover, R. 1990. Sigatoka leaf spot diseases of banana: Proceedings of an international workshop held at San José, Costa Rica, 28 March – 1 April, 1989. INIBAP. Montpellier, France. p374.

26. García, E. y Apeztequia, H. 2001. Estudio de lixiviado de compost y su efecto sobre el control de Sigatoka negra, *M. fijiensis*, Morelet y el crecimiento del cultivo de banano. Tesis de grado (Ing. Agrónomo) Guácimo, Costa Rica. p121.

27. García, F., Gómez, G. y Belalcázar, S. 1994. Manejo biológico y cultural de *Cosmopolites sordidus* (Germar) en plátano. En Memorias de la XI Reunión ACORBAT. San José, Costa Rica. 385-395.

28. Gauhl, F. 1994. Epidemiology and Ecology of Black Sigatoka (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) on plantain and banana (*Musa* spp.) in Costa Rica, INIBAP. Montpellier, France. p120.
29. Gómez, J. 2000. Abonos Orgánicos. FERIVA. Cali, Colombia. p105.
30. Gowen, S. 1979. Algunas consideraciones de los problemas asociados con los nematodos plagas del banano. *Nematrop.* 9:79-91.
31. Gowen, S. 1995. *Bananas and Plantains*. London, UK. p612.
32. Gowen, S. 1995. Pests. In: S. Gowen (ed.). *Bananas and plantains*. Chapman & Hall. London, UK. 382-402.
33. Grubinger, [V. 2005](#). Compost tea to suppress plant disease. vegetable and berry specialist University of Vermont Extension. <http://www.uvm.edu> (revisado Mayo 18 2007).
34. Guzmán, M. 2006. Estado actual y perspectivas futuras del manejo de la Sigatoka Negra en América Latina. En: Memorias XVII Reunión Internacional ACORBAT 2006. Bananicultura: un negocio sostenible.

E. Soprano; FA. Tcacenco; LA. Lichtemberg; MC. Silva (eds.) Editorial Epagri. Joinville, Brasil. 83-91.

35. Hernández, J., Rodríguez, D., Sanabria, M., Blanco, G. y Sanabria, N. 2006. Efecto del extracto etanólico de *Heliotropium indicum* L., *Lippia organoides* KHBK y *Phyllanthus niruri* L. en: hijos de “Plátano Hartón” (Musa AAB) en el control de *Mycosphaerella fijiensis* Morelet en Yaracuy - Venezuela. En: Memorias XVII Reunión Internacional ACORBAT 2006. Bananicultura: un negocio sostenible. E. Soprano; FA. Tcacenco; LA. Lichtemberg; MC. Silva (eds.) Editorial Epagri. Joinville, Brasil. 565-568 p.

36. Ingham, E. 2003. The compost tea brewing manual, 3rd Edition. Soil Foodweb Incorporated. Oregon, USA. p54.

37. Ingham, E. 2005. The compost tea brewing manual. 5th edition. Soil Foodweb Incorporated. Oregon – USA. p.69.

38. INIBAP, *International Network for the Improvement of Banana and Plantain*. 1993. *Annual Report*. Risks involved in the transfer of banana and plantain germplasm. Montpellier, France. 39-47.

39. Irish, B., Goenaga, R. y Ploetz, R., 2006. *Mycosphaerella fijiensis*, causal agent of Black Sigatoka of *Musa spp.* found in Puerto Rico and identified by polymerase chain reaction. *Plant Dis.* 90:684.
40. Jones, D. 1991. Status of banana disease in Australia. In: *Banana Diseases in Asia and the Pacific*. R.V. Valmayor (ed.). INIBAP-ASPNET. Los Baños, Philippines. 21-37.
41. Jones, D. y Lockhart, B. 1993. Banana streak disease. *Musa Disease Fact Sheet No. 1*. INIBAP. Montpellier, France. p2.
42. Jones, D. 1993. *Banana disease survey of Thailand*. INIBAP, Montpellier, France.
43. Jones, D. 2000. Introduction to banana, abacá and enset. In: *Introduction to Banana, Abaca and Ensete*. D. Jones (ed.) CAB International. Wallingford, UK. 1-36.
44. Kagale, S., Marimuthu, T., Thayumanavan, B., Nandakuman, R. y Samiyappan, R. 2004. *Phys. and Mol. Plant Path.* 65:91-100.

45. Kress, W. 1990. The phylogeny and classification of the Zingiberales. Annual of the Missouri Botanical Garden 77: 698-721.
46. Larco, E., Riveros, A., Rosales, S., Pocasangre, F., Rivas, L. y Polanco, D. 2004. Lixiviados de Compost y Lombricompost: Una Alternativa para el Control Biológico de la Sigatoka Negra en Plátano. 9-18 in: Congreso Latinoamericano de Bio-Plaguicidas y Abonos Orgánicos. San José, Costa Rica.
47. Liberato, J. y Gasparotto, L. 2006. Moko disease of banana (*Ralstonia solanacearum*) Pest and Diseases Image Library. Updated on 22/09/2006. Disponible en internet: <http://www.padil.gov.au>
48. Loos, C. y Loos, S. 1960. The black-head disease of banana (*Musa acuminata*). Proceeding of the Helminthological Society of Washington 27:189-193.
49. Luc, M. y Vilardebo, A. 1961. Les nematodes associés aux bananiers cultivés dans l'Ouest Africain, Part. I. Fruits 16:205-219.
50. Lung, A., Lin, C., Kim, J., Marshall, R. Nordstedt, N. Thompson, R. y Wei, C. 2001. Destruction of *Escherichia coli* 0157:H7 and *Salmonella*

enteritidis in cow manure composting. Journal of Food Protection 64: 9:1309-1314.

51. Magnaye, L. 1994. Virus diseases of banana and current studies to eliminate the virus by tissue culture. Proceedings National Symposium on Pests and Diseases of Banana in the Philippines, University of Southern Mindanao, Kabacan, Cotabato. Philippines, 38-43.
52. Magnaye, L. y Espino, R. 1990. Note: Banana bract mosaic, a new disease of banana. I. Symptomatology. Phil Agric. 73 1: 55-59.
53. Marín, B., Villadiego, M. y Barrera, J. 2006. Evaluación de extractos vegetales para el control de *Mycosphaerella fijiensis* en Plátano Hartón (Musa ABB) en Córdova, Colombia. XVII Reunion Internacional de Asociaciones para la Cooperación de la investigación sobre Banano en Caribe y América Tropical. ACORBAT. Joinville, Brasil. 560-571.
54. Marín, D. y Romero, R. 1998. El combate de la Sigatoka Negra In: Divulgación científica al servicio del productor bananero nacional. Revista CORBANA. San José, Costa Rica. 104-129.

55. Marín, D., Romero, R., Guzmán, M., y Sutton, T. 2003. Black sigatoka: An increasing threat to banana cultivation. *Plant Dis.* 87:208-222.
56. Matínez, C. 2001. La demanda internacional de productos orgánicos: ventajas y debilidades en la comercialización. www.proargentina.org (visitado mayo, 2007)
57. Mejía, T. 2003. Híbridos darían salida a crisis del banano. <http://tierramerica.com> (consultado mayo, 2007).
58. Merchán, V. 1995. Manejo del picudo del plátano. Informe de Actividades, Convenio ICA-CIID. Manizales, 8 de marzo de 1995.
59. Meredith, D. y Lawrence, J. 1969. Black leaf streak disease of banana (*Mycosphaerella fijiensis*): Symptoms of disease in Hawaii and notes on the conidial state of the causal fungus. *Transactions of the British Mycological Society* 52: 459-476.
60. Meredith, D. 1970. Banana leaf sport disease (sigatoka) caused by *Mycosphaerella musicola* Leach. Commonwealth Mycological Institute Kew, Surrey - England. p147.

61. Merrill, R., y McKeon, J. Organic Farming Research Foundation. Project report # 97 p. 40: Organic teas from composts and manures. Project period: 1997-1998.
62. Newhall, A. 1958. The incidence of Panama disease of banana in the presence of the root knot and burrowing nematode (*Meloidogyne* and *Radophulus*). Plant Disease Reporter 42:853-856.
63. NOSB. National Organic Standards Board. 2002. Compost Task Force Recommendation, as amended by the NOP.
64. NOSB. 2004. Compost Tea Task Force Report. p21.
65. Obledo E., Hernández, A. y López, M. 2004. Extractos vegetales, una opción en el control de la Sigatoka Negra. XVI Reunión Internacional. ACORBAT. Oaxaca, México. p184.
66. Ortiz, R. 1995. Musa genetics. En: S. Gowen (ed.). Bananas and plantains. Chapman & Hall, London. 84-109.
67. Osorio, G. 2006. Evaluación de hongos endofíticos y extractos botánicos para el control de la Sigatoka Negra (*Mycosphaerella*

fijiensis Morelet) en banano Tesis sometida a consideración del Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica p90

68. Palacio, M., Palacio, V., Vergara, R. y Urrego, C. 2003: La mancha roja del banano y su relación con los trips. Boletín Técnico Cenibanano. Medellin - Colombia. No. 2.

69. Pereira, H., Figueredo, E. y Hussni, J. 1960. Nematoides "cavernícolas" nos bananais do litoral do Sao Paulo. Biológico 26 2:27-31.

70. Pérez, L. 1983. Epifitiología de la mancha de la hoja del plátano (Sigatoka) causada por *Mycosphaerella musicola*. Factores que influyen en el período de incubación y el desarrollo de la enfermedad en Cuba. Agrotecnia de Cuba 15 1:55-64.

71. Pérez, L. 1998. Black Sigatoka disease control in banana and plantain plantations in Cuba. Management of the disease based on an integrated approach. INFOMUSA. 7 1:27-30.

72. Pérez, L., Mauri, F., Barranco, B. y García, G. 1993. Efficacy of EBI's fungicides in the control of *Mycosphaerella fijiensis* Morelet on banana and plantains with treatments based on stage of evolution of the disease (biological warnings) in Cuba. In Proceedings of the 6th International Congress of Plant Pathology, Montreal, Canada. p55
73. [Pérez, L.](#), [Alvarez, J.](#) y Pérez, M. 1999. Informe sobre el taller regional del manejo integrado de plagas en banano y plátano. El Vigía, Venezuela p40.
74. Pinese, B. y Elder, R. 1994. Banana rust thrips in bananas. Queensland Government. Department of Primary Industries and Fisheries.
75. Ploetz, R. y Mourichon, X. 1999. First report of Black Sigatoka in Florida. (Disease Note) Plant Dis. 83:300.
76. Ramos, C. y Zamora, A. 1990. Elimination of banana bunchy top infection from banana (c.v. Lakatan) by heat treatment and meristem culture. *Phil. Jour. of Crop Sci.* 15: 119-123.

77. Rhodes, P. 1964. A new banana disease in Fiji. Commonwealth Phytopathological News 10:38-41.
78. Rivas, G. y Rosales, F. 2003. Actas del taller "Manejo convencional y alternativo de la Sigatoka Negra, nemátodos y otras plagas asociadas al cultivo de Musáceas", celebrado en Guayaquil - Ecuador. 11- 13 de agosto.
79. Román, J. 1978. Fitonematología Tropical. Universidad de Puerto Rico, Est, exp. Rio Piedras. p255.
80. Román, J. 1986. Plant parasitic nematodes that attack bananas and plantains. In: Plant parasitic nematodes of bananas, citrus, coffee, grapes and tobacco. Union Carbide Agricultural Products Company, Inc. North Carolina USA. 6-9.
81. Sasser, J., Vargas, O. y Martin, A. 1962. New findings of plant parasitic nematodes in Perú. Plant Dis. Report. 46:171.
82. Scheuerell, S. 2002. Compost teas and compost amended container media. Ph.D. Dissertation. Oregon State University, Corvallis, USA p130

83. Scheuerell, S. y Mahaffee, W. 2002. Compost tea: Principles and prospects for plant disease control. *Compost science and utilization*. 10 4:313-338.
84. Sharma, R. y Sher, S. 1973. Nematodes with bananas in Bahia, Brazil. *Ciencia e cultura* 25:665-668.
85. SICA, Servicio de Información y Censo Agropecuario. Manejo alternativo de la Sigatoka Negra, Ecuador. 2001. En www.sica.gov.ec (visitado, Mayo 2007)
86. Sikora, R. y Schollosser, E. 1973. Nematodes and fungi associated with root system of banana in a state of decline in Lebanon. *Plant Dis. Report*. 57:615-618.
87. Simmonds, N. y Shepherd, K. 1955. Taxonomy and origins of cultivated bananas. London, UK. *Journal of the Linnean Society of Botany* 55:302-312.

88. Skanavis, C. y Yanko, W. 1994. Evaluation of composted sewage sludge based soil amendments for potential risks of Salmonellosis. *Journal of Environmental Health* 56 7:19-23.
89. Soares, H., Cardenas, B., Weir, D. y Switzenbaum, M. 1995. Evaluating pathogen regrowth in biosolids compost. *BioCycle*. June:70-74
90. Soares, H. 1996. Pathogen indicator regrowth potential as a method to evaluate compost stability. Ph.D. Dissertation. University of Massachusetts, Amherst, USA p80
91. Stover, R. 1972. *Banana, Plantain and Abaca Diseases*. Commonwealth Myco-logical Institute. Kew - UK p316.
92. Stover, R. 1980. Sigatoka leaf spot diseases of bananas and plantains. *Plant Disease* 64:750-756.
93. Stover, R. y Simmonds, N. 1987. *Bananas*, 3rd edition. Longman scientific and technical. Harlow. Essex, U.K p468.

94. Stover, R. y Fielding, M. 1958. Nematodes associated with root injury of *Musa* spp. in Honduran banana soil. *Plant Dis. Report.* 42:938-940.
95. Stover, R. and Simonds, N. 1987. *Bananas.* Longman scientific and technical. 3th ed. England. p467.
96. Suquilanda, M. 2001. Manejo alternativo de Sigatoka Negra en Ecuador. *Cultivos Controlados* 3 5. p4.
97. Suquilanda M. 1998. *Agricultura Orgánica. Manual práctico para la elaboración de biol.* Quito, Ecuador p30
98. Vakili N. 1968. Response of *Musa acuminata* species and edible cultivars to infection by *Mycosphaerella musicola*. *Tropical Agriculture Trinidad* 45:13-22.
99. Vakili, N. 1969. Control and eradication of bunchy top disease of bananas in South Vietnam. *Tech. Bull. No 1. USAID , Vietnam.*
100. Valmayor, R., Jamaluddin, S., Silayoi, B., Kusumo, S., Dahn, L., Pascua, O. y Espino, R. 2000. *Banana Cultivar Names and Synonyms in Southeast Asia.* Los Baños, Philippines. P150

101. Van de Kastelee, A. 1998. The Banana Chain: the macro-economics of the banana trade. Paper prepared on behalf of IUF for the 1998 International Banana Conference p104.
102. Vidal A. 1992. Sigatoka Negra en Cuba. En nuevos focos de plagas y enfermedades. Boletín Fitosanitario de la FAO 40:1-2.
103. Villacís J. 1975. *Colaspis submetallica*. Informe Técnico de Banano. INIAP. Quito, Ecuador p35.
104. Vovlas, N. y Ekanaiake, H. 1985. Histological alterations induced by *Rotylenchulus reniformis* alone or simultaneously with *Meloidogyne incognita* on banana roots. Nematropica 15:9-17.
105. Wardlaw, C.1961. *Banana Diseases*. London: Longmans, Green and Co. Ltd. p648.
106. Weltzien, H. 1991. Biocontrol of foliar fungal disease with compost extracts. In: J. Andrews and S. Hirano (eds.), *Microbial Ecology of Leaves*. Springer-Verlag, USA. 430-450

107. Wibou, A. 1974. The present status of banana pest and disease control in Tropical America. *Pflanzenschutz nachrichten bayer* 27:207-232.
108. Wickland, L., Murray, T. y Jimerson, J. 2001. Brewing Up Solutions to Pest Problems. *BioCycle. J. of Comp. & Org. Rec.* <http://www.jgpress.com> (visitado April 10, 2007).
109. Wong, S., Kiew, R., Argent, G., Set, O., Lee, S. and Gan, Y. 2002. Assessment of the Validity of the Sections in *Musa* (Musaceae) using ALFP. *Annals of Botany* 90 (2): 231 - 238
110. Yanko, W. 1987. Occurrence of Pathogens in Distribution and Marketing Municipal Sludges. Springfield – USA p257.
111. Yanko, W., Walker, A., Jackson, J., Libao, L. y Garcia, A. 1995. Enumerating Salmonella for compliance with pathogen regulations. *Water Environment Research* 67:364- 370.
112. Yépez, G., Meredith, J. y Pérez, A. 1972. Nemátodos del banano (*Musa* spp.).En: Venezuela. *Nematrónica* 2:47-51.

113. Yun, D., Bressan, R. y Hasegawa, P. 1997. Plant antifungal proteins. Hort. Rev. 14: 39-87.