

**Uso de extractos de compost como una
alternativa biológica para el control de
Mycosphaerella fijiensis en la producción de
banano orgánico**

Blanca Adriana Ramos Zúniga

Honduras
Diciembre, 2002

ZAMORANO
CARRERA DE CIENCIA Y PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

**Uso de extractos de compost como una
alternativa biológica para el control de
Mycosphaerella fijiensis en la producción de
banano orgánico**

Trabajo de graduación presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniera Agrónoma en el Grado
Académico de Licenciatura

Presentado por:

Blanca Adriana Ramos Zúniga

Honduras
Diciembre, 2002

El autor concede a Zamorano permiso para reproducir y distribuir copias de este trabajo para fines educativos. Para otras personas físicas o jurídicas se reservan los derechos de autor.

Blanca Adriana Ramos Zúniga

Honduras
Diciembre, 2002

**Uso de extractos de compost como una alternativa biológica
para el control de *Mycosphaerella fijiensis* en la producción
de banano orgánico**

presentado por:

Blanca Adriana Ramos Zúniga

Aprobada:

Maria Mercedes Doyle, Ph.D.
Asesor Principal

Jorge Iván Restrepo, M.B.A.
Coordinador de la Carrera de
Ciencia y Producción Agropecuaria

Alfredo Rueda, Ph.D.
Asesor

Antonio Flores, Ph.D.
Decano Académico

Mario Bustamante M.Sc.
Asesor

Mario Contreras, Ph.D.
Director General

Alfredo Rueda, Ph.D.
Jefe Área Temática
Fitotecnia

DEDICATORIA

A mis padres, Guillermo y Ligia, por creer en mí, apoyarme en todas mis decisiones, animarme a alcanzar todas mis metas y por ser el regalo más especial que Dios me ha dado. Muchas gracias, los quiero mucho y que Dios los bendiga.

A mi familia y amigos.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme la fuerza y fe para lograr una de mis metas. Por estar siempre conmigo y levantarme en los momentos más difíciles.

A mi madre por ser la inspiración de hacer las cosas bien, apoyo incondicional en todo momento, enseñanzas, cariño, esfuerzo, ideas y colaboración en este proyecto. Te admiro y quiero mucho mami.

A mi padre por indicarme con su ejemplo el camino hacia Dios, por sus sabios consejos, comprensión, dedicación, cariño y colaboración en este proyecto. Te admiro y quiero mucho papi.

A mis hermanos y familia por poner cada uno su granito de cariño, lindos momentos compartidos y su apoyo en mis esfuerzos y decisiones.

A Eva Borjas por ser más que una amiga una hermana y ser un ejemplo y ayuda en todo momento.

A mis asesores, Dra. Doyle, Dr. Rueda e Ing. Bustamante, por la orientación y ayuda recibida.

A Doña Lorena San Martín quien con su cariño y trato especial se convirtió en mi segunda mamá y al Ing. Hector Calle mi segundo papá, quienes con su orientación y cariño ayudaron a que mi pasantía en Ecuador fuera exitosa.

Al Departamento de Investigaciones Tropicales de Standard Fruit de Honduras S.A por permitirme realizar este proyecto en sus instalaciones de laboratorio y campo. Especial agradecimiento al personal de investigación de Barimasa dirigido por el Ing. Rony Cruz, y al Ing. Victor Mendoza por su orientación en la interpretación de los resultados de campo. Con mucho cariño para el personal de laboratorio que me apoyo en Ecuador y Honduras: Jenny Vergara, Margoth Vera y Xinia Bustillo

A Estela, Bernarda, Claudia, Ana y Doña María por su apoyo y ayuda.

A los padrinos de la Residencia Washington, Ing. Rogel y Suyapa Castillo, por brindarme su amistad y una familia en Zamorano.

A mis amigos y colegas que me alentaron y apoyaron en la realización de este proyecto.

AGRADECIMIENTO A PATROCINADORES

Agradezco a la Standard Fruit de Honduras S.A. por permitirme usar sus instalaciones, y brindarme todo el apoyo necesario para la realización de este proyecto.

Al Fondo Food for Progress y a la Secretaría de Agricultura y Ganadería de Honduras, por el apoyo financiero otorgado en la realización de mis estudios en Zamorano.

Agradezco a mis padres por el apoyo financiero brindado durante todo el programa de estudios en Zamorano.

RESUMEN

Ramos, Blanca. 2002. Uso de extractos de compost como una alternativa biológica para el control de *Mycosphaerella fijiensis* en la producción de banano orgánico. Proyecto especial del Programa de Ingeniería en Ciencia y Producción Agropecuaria, Zamorano, Honduras. 45 p

Uno de los usos innovativos del compost es la supresión de enfermedades del suelo y para combatir enfermedades foliares. En este estudio se investigó el uso del compost como una alternativa de control de *Mycosphaerella fijiensis*, hongo causante de la Sigatoka Negra del banano. Se evaluó un extracto líquido de compost y compost mejorado con cal dolomita, con el objetivo de determinar la supresión sobre la Sigatoka Negra. La investigación se realizó en dos fases. La primera fue una evaluación de laboratorio *in vitro* en el Departamento de Investigaciones Tropicales de la Standard Fruit de Honduras S.A. en La Ceiba, Atlántida, Honduras. En el estudio se compararon extractos líquidos de compost a concentraciones (compost/agua destilada, v/v) de 1:2, 1:4 y 1:6 con un testigo comercial Bravo[®] (Clorotalonil) a 1, 10 y 100 ppm y un testigo absoluto en un diseño completamente al azar. La dilución de compost simple (compost/agua destilada, v/v) 1:2 fue igual de efectiva que Bravo[®] para inhibir la germinación de esporas y reducir la longitud del tubo germinativo. La segunda fase se realizó durante 8 semanas en el campo en microparcels de banano en la finca Mabuhay, Yoro, perteneciente a la Standard Fruit de Honduras S.A. Se compararon los dos mejores extractos acuosos de compost (1:2 (v/v)) establecidos por el estudio *in vitro*, éstos fueron aplicados al follaje a 24 L/ha. El diseño usado fue bloques completamente al azar con cinco repeticiones. El efecto de los tratamientos fue medido en función de los parámetros utilizados por la Standard Fruit de Honduras S.A. para la evaluación de Sigatoka Negra. Se evaluó la comparación de dos épocas marcadas por el clima durante las 8 semanas, la época seca en las primeras 3 semanas y la época lluviosa en las últimas 5 semanas. Aunque la diferencia entre tratamientos no fue estadísticamente significativa, se observó una tendencia de mayor protección del área foliar y crecimiento del banano cuando se aplicaron extractos líquidos de compost, comparado con el testigo absoluto. En el parámetro de hojas libres de estrías existió diferencias significativas entre las medias de los tratamientos cuando se comparó el área / día en las dos épocas del experimento.

Palabras clave: *Musa* AAA, producción orgánica, Sigatoka Negra, supresión de enfermedades.

NOTA DE PRENSA

¿EXISTE UNA NUEVA ALTERNATIVA PARA EL CONTROL DE LA SIGATOKA NEGRA EN BANANO ORGÁNICO?

Para los productores de banano orgánico tipo Cavendish, localizados en áreas donde existe una gran presión del organismo causante de la Sigatoka Negra, esta pregunta lleva implícita la esperanza de que con la mayor brevedad aparezca una alternativa de control permitida, que reduzca las pérdidas causadas por esta enfermedad.

Esta búsqueda de alternativas de control permitidas se vuelve cada vez más importante debido al incremento en la demanda de banano orgánico, que ha crecido a razón de un 20 % anual durante los últimos años.

La lucha contra este hongo sigue siendo un dolor de cabeza para los productores de banano en general, ya que la forma más eficaz de combatirlo convencionalmente es mediante varios ciclos de aplicación de fungicidas químicos sintéticos; estas aplicaciones aumentan los costos de producción del cultivo y potencialmente pueden afectar negativamente el medio ambiente. Esto hace muy importante la búsqueda de alternativas de control no sólo para la producción orgánica de banano sino también para la producción convencional.

Esta pregunta también se planteó durante una investigación en la cual se evaluaron extractos de compost en dos ensayos; el primero en mayo de 2002 realizado en el laboratorio del Departamento de Investigaciones Tropicales, Standard Fruit de Honduras S.A. en La Ceiba, Atlántida. El segundo experimento se llevó a cabo durante septiembre a octubre de 2002 en el campo. El mejor tratamiento de compost que resultó de la primera evaluación se aplicó en microparcelas de banano, en la finca Mabuhay zona de Barimasa, propiedad de la Standard Fruit de Honduras S.A. localizado en el departamento de Yoro.

Los resultados fueron promisorios, indicando que existen posibilidades de control a través del uso de extracciones de compost aplicados a las hojas para reducir el ataque de Sigatoka Negra. Sin embargo, es necesario evaluar estos productos por un período de tiempo más prolongado y asegurarse de que durante la época de mayor precipitación de lluvia, se le adicione un adherente natural que permita que el producto permanezca por más tiempo sobre la superficie de la hoja.

CONTENIDO

	Portadilla.....	i
	Autoría.....	ii
	Página de firmas.....	iii
	Dedicatoria.....	iv
	Agradecimientos.....	v
	Agradecimiento a patrocinadores.....	vi
	Resumen.....	vii
	Nota de prensa.....	viii
	Contenido.....	ix
	Índice de cuadros.....	xii
	Índice de figuras.....	xiii
	Índice de anexos.....	xiv
1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	OBJETIVO PRINCIPAL.....	2
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
2.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1	COMPOST.....	3
2.1.1	Características físicas.....	3
2.1.2	Características químicas.....	3
2.1.3	Características microbiológicas.....	4
2.1.3.1	Fase mesofílica.....	4
2.1.3.2	Fase termofílica.....	5
2.1.3.3	Fase de enfriamiento y maduración.....	5
2.2	MONITOREO DEL PROCESO DE COMPOSTAJE.....	5
2.2.1	Ingredientes.....	6
2.2.1.1	Control de la humedad.....	6
2.2.1.2	Relación C/N.....	6
2.2.2	Tamaño de partículas.....	6
2.2.3	Temperatura.....	6
2.2.4	Aireación.....	7
2.2.4.1	Volteo.....	7
2.2.4.2	Monitoreo de O ₂	7
2.2.5	Madurez y estabilidad.....	7
2.3	SUPRESIÓN DE ENFERMEDADES MEDIANTE EL USO DE COMPOST.....	8
2.3.1	Función de los agentes de control biológico presentes en el compost.....	9
2.3.2	Mecanismos de supresión en el compost.....	9

2.3.3	Disponibilidad de energía versus supresión.....	10
2.3.4	Control de enfermedades foliares mediante el empleo de compost..	10
2.4	SIGATOKA NEGRA EN BANANO.....	11
2.4.1	Descripción, síntomas y etapas de Sigatoka Negra.....	11
2.4.1.1	Etapa 1.....	13
2.4.1.2	Etapa 2.....	13
2.4.1.3	Etapa 3.....	14
2.4.1.4	Etapa 4.....	14
2.4.1.5	Etapa 5.....	15
2.4.1.6	Etapa 6.....	15
2.4.2	Opciones para el manejo de Sigatoka Negra.....	16
2.4.2.1	Cuarentenas y exclusión.....	16
2.4.2.2	Variedades resistentes.....	16
2.4.2.3	Medidas de control cultural.....	16
2.4.2.4	Manejo integrado del cultivo.....	17
2.4.2.5	Medidas químicas.....	17
2.4.2.6	Nuevas medidas de control.....	17
2.5	ESTUDIOS REALIZADOS UTILIZANDO EXTRACTOS DE COMPOST EN OTRAS ENFERMEDADES.....	18
3.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
3.1	PREPARACIÓN DEL COMPOST UTILIZADO EN ESTE ESTUDIO.....	19
3.1.2	Materiales y métodos.....	19
3.1.3	Monitoreo y análisis del compost.....	21
3.2	EVALUACIÓN <i>IN VITRO</i> DEL EFECTO DE EXTRACTOS LÍQUIDOS DE COMPOST PARA LA SUPRESIÓN DE SIGATOKA NEGRA.....	21
3.2.1	Descarga de esporas.....	22
3.2.2	Descripción de tratamientos.....	23
3.2.3	Diseño experimental.....	24
3.2.4	Supresión de <i>M. fijiensis</i> por extractos de compost <i>in vitro</i>	24
3.3	APLICACIÓN DE DOS EXTRACTOS LÍQUIDOS DE COMPOST PARA LA SUPRESIÓN DE SIGATOKA NEGRA EN MICROPARCELAS DE BANANO.....	25
3.3.1	Tratamientos.....	25
3.3.2	Diseño experimental.....	25
3.3.3	Materiales y métodos.....	25
3.3.4	Toma de datos para parámetros de evaluación para Sigatoka Negra	26
3.3.4.1	Variable de promedio por semanas.....	27
3.3.4.2	Variable de área por día.....	27
3.3.5	Toma de datos para parámetros agronómicos.....	27

4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
4.1	EVALUACIÓN <i>IN VITRO</i> DEL EFECTO DE EXTRACTOS LÍQUIDOS DE COMPOST PARA LA SUPRESIÓN DE SIGATOKA NEGRA.....	29
4.2	APLICACIÓN DE DOS EXTRACTOS LÍQUIDOS DE COMPOST PARA LA SUPRESIÓN DE SIGATOKA NEGRA EN MICROPARCELAS DE BANANO.....	31
4.2.1	Evaluación de parámetros para Sigatoka Negra.....	31
4.2.1.1	Variable de promedios por semana.....	31
4.2.1.2	Variable da área por día.....	33
4.2.2	Evaluación de parámetros agronómicos.....	36
4.2.2.1	Altura.....	36
4.2.2.2	Circunferencia.....	36
4.2.2.3	Análisis foliar.....	37
5.	CONCLUSIONES	38
6.	RECOMENDACIONES	39
7.	BIBLIOGRAFÍA	40
8.	ANEXOS	42

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro

1.	Descripción de tratamientos en experimento <i>in vitro</i>	23
2.	Descripción de tratamientos a evaluar en el campo.....	25
3.	Inhibición de germinación de espora de Sigatoka Negra.....	29
4.	Inhibición de tubo germinativo en Sigatoka Negra.....	30
5.	Análisis de varianza e incremento en altura de planta.....	36
6.	Análisis de varianza e incremento en circunferencia de pseudotallo	36
7.	Análisis foliares de cada tratamiento.....	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura

1.	Ciclo de vida y reproducción sexual y asexual de <i>M. fijiensis</i> var. <i>difformis</i>	12
2.	Síntomas de la etapa 1.....	13
3.	Síntomas de la etapa 2.....	13
4.	Síntomas de la etapa 3.....	14
5.	Síntomas de la etapa 4.....	14
6.	Síntomas de la etapa 5.....	15
7.	Síntomas de la etapa 6.....	15
8.	Localización del sitio donde se prepararon las dos pilas de compost.....	19
9.	Volteadora de compost.....	20
10.	Toma diaria de temperatura y CO ₂	21
11.	Descripción de metodología para hacer descargar ascosporas.....	23
12.	Lecturas de germinación de esporas y largo de tubo germinativo con ayuda de un microscopio.....	24
13.	Materiales y métodos en evaluación de tratamientos en microparcels.....	26
14.	Toma de datos para parámetros agronómicos.....	28
15.	Promedios de hojas totales por semanas.....	31
16.	Promedios de hoja más vieja libre de estrías por semana.....	32
17.	Promedios de hoja más vieja libre de quemaduras menor del 5%...	32
18.	Promedios de hoja más vieja libre de quemaduras mayor del 5%...	32
19.	Area por día entre semanas 32 – 40.....	33
20.	Clima en lugar de ensayo entre semanas 32 – 40.....	34
21.	Comparación de área por día entre épocas en hojas totales.....	34
22.	Comparación de área por día entre épocas en hoja más vieja libre de estrías.....	35
23.	Comparación de área por día entre épocas en hoja más vieja libre de quemaduras menor del 5%.....	35
24.	Comparación de área por día entre épocas en hoja más vieja libre de quemaduras mayor del 5%.....	35

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexos

1.	Monitoreo de temperaturas y evolución de CO ² de las dos pilas de compost.....	42
2.	Análisis químicos de compost con y sin dolomita.....	43
3.	Mapa de microparcels.....	44
4.	Promedios semanales de cada parámetro en Sigatoka Negra.....	45

1. INTRODUCCIÓN

El uso del compost en la agricultura ha sido reconocido históricamente como un material muy efectivo para mejorar el crecimiento de las plantas, por su efecto sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos. Actualmente en algunos países el compost está relacionado con la reducción de desechos orgánicos que resultan de la actividad agroindustrial y de la basura generada diariamente en las grandes ciudades.

Si el proceso de compostaje se lleva a cabo cumpliendo con normas establecidas para obtener un producto final de alta calidad (monitoreo de temperatura, humedad, oxígeno, tamaño de partículas, relación C/N etc.) al final se obtiene una enmienda de suelos con una diversidad de usos finales cómo: mejoramiento de condiciones físico-químicas y biológicas del suelo, fuente de nutrientes, cobertura, medio de crecimiento y supresión de enfermedades de las plantas (Hoitink y Keener 1993). El beneficio adicional del compost como supresor de enfermedades causadas por patógenos del suelo ha sido muy bien documentada en los últimos 20 años. La universidad estatal de Ohio ha investigado sobre el compost y sus usos desde hace mucho tiempo y ha resumido mucho del conocimiento actual sobre este tema (Hoitink *et al.* 1997).

El uso de compost para el control de enfermedades foliares también ha sido estudiado, utilizando extractos acuosos de compost maduros. En estos extractos se han encontrado microorganismos aeróbicos que incluyen cepas de bacterias y hongos que se reconocen como agentes potenciales de control biológico (Weltzien 1991).

Tomando en consideración la posibilidad del control biológico que puede tener un compost maduro de alta calidad sobre enfermedades foliares, en el presente trabajo se evaluarán dos formulaciones de compost preparadas en el centro de producción comercial de compost que la Standard Fruit Company tiene en la Zona de Isletas, Honduras. Estas evaluaciones se harán en laboratorio y campo. Los resultados servirán para probar la hipótesis ya formulada en estudios anteriores, de que los extractos de compost pueden inhibir patógenos foliares.

Específicamente en este estudio se evaluará el hongo *M. fijiensis var. difformis* organismo causante de Sigatoka Negra del banano, el cual es considerado como el factor más limitante para la producción orgánica de este cultivo en zonas de alta presión de la enfermedad.

1.1 OBJETIVO PRINCIPAL

Evaluar el potencial que tienen extractos líquidos de compost preparado bajo un sistema de manejo controlado, como una alternativa de supresión de Sigatoka Negra (*M. fijiensis* var. *difformis*) en banano.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ◆ Evaluar la eficacia de extractos líquidos de compost para el control de *M. fijiensis* en laboratorio.
- ◆ Evaluar la eficacia de dos extractos de compost para el control de *M. fijiensis* en banano en el campo.
- ◆ Determinar el efecto de los extractos líquidos de compost como una alternativa a ser usada en las plantaciones orgánicas de banano, para el manejo de Sigatoka Negra.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 COMPOST

La preparación de compost es un proceso biológico natural que se lleva a cabo bajo una serie de condiciones apropiadas, convirtiendo materiales orgánicos crudos en un producto terminado que contiene humus, nutrientes, hormonas, enzimas, agua y una gran variedad de microorganismos.

Tradicionalmente el compost ha sido reconocido como un acondicionador del suelo, ya que su adición ha contribuido a mejorar las condiciones físico-químicas de los suelos jugando un papel muy importante en la producción agrícola (Buchanan *et al.* 1994).

2.1.1 Características físicas

Al aplicar compost al suelo se mejora la estructura, incrementando la agregación, reduciendo la compactación, mejorando la porosidad, y por consiguiente la permeabilidad y aeración. El compost incorporado en el suelo, ayuda a eliminar la formación de costras e incrementa la infiltración, reduciendo de esta manera el potencial de erosión causado por el agua (Buchanan *et al.* 1994). Su aplicación afecta directamente la retención de agua debido a su gran habilidad para absorber hasta 20 veces su peso de agua e indirectamente a través de su impacto sobre la estructura del suelo y la geometría de los poros (Baldock y Nelson 2000). Además confiere un color oscuro al suelo ayudando a la retención de energía calorífica (Buchanan *et al.* 1994).

2.1.2 Características químicas

Con la adición de compost al suelo se incrementa la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), ya que se provee una gran cantidad de cargas negativas derivadas de los grupos carboxílicos, fenólicos, enólicos etc (Baldock y Nelson 2000). Esto es muy importante porque la CIC es el factor que determina la fertilidad potencial de los suelos. El compost contiene cantidades relativamente bajas de macronutrientes y micronutrientes, sin embargo su adición al suelo en proporciones relativamente altas (>5TM/Ha) a menudo provee los nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas. Incrementa la eficiencia de la fertilización, particularmente nitrógeno, al liberarlo lentamente, evitando pérdidas por lavado. Estabiliza la reacción del suelo por su pH casi neutro, debido a su alta capacidad tampón. Inactiva los residuos de plaguicidas debido a su capacidad de absorción y algunos microorganismos presentes en él ayudan a degradarlos. Generalmente

el compost posee una cantidad alta de sales solubles por lo que su aplicación incrementa la Conductividad Eléctrica (CE) de los suelos. La CE mide la cantidad de sales solubles presentes, la cual puede afectar la germinación de semillas y el crecimiento de las plantas. Para evitar problemas asociados con la alta CE del compost adicionado al suelo, se recomienda lavarlo previo a la aplicación, si no se está seguro de que el compost a utilizar está totalmente maduro (Buchanan *et al.* 1994).

2.1.3 Características microbiológicas

En la elaboración del compost las **bacterias** juegan un papel muy importante ya que degradan los compuestos solubles y de fácil descomposición. Las bacterias mesofílicas son aquellas que toleran un rango medio de temperatura, predominan entre 0-40 °C. Las bacterias termofílicas toleran un rango de temperatura alto y son principalmente del género *Bacillus* que pueden llegar a soportar calor hasta 60 °C. Las únicas bacterias que pueden soportar más de 60 °C son las del género *Thermus*. Los **actinomicetos** son microorganismos que se parecen a los hongos y a las bacterias. Crecen a manera de micelio radial, forman conidias como los hongos pero las características morfológicas de sus células son similares a las de las bacterias. Degradan desde azúcares simples, proteínas, ácidos orgánicos hasta substratos muy complejos compuestos por hemicelulosas, ligninas, quitinas y parafinas. Por esto son importantes en el proceso de transformación hasta la obtención del humus. Además son considerados como los mejores agregadores del suelo, pues son muy eficientes produciendo sustancias húmicas. Algunos géneros de actinomicetos más importantes son *Streptomyces*, *Nocardia*, *Micromonospora*, *Thermoactinomyces*, *Frankia*, y *Actinomyces*. Aparecen durante la fase de enfriamiento y maduración del compost ayudando a degradar los compuestos más resistentes que quedan en las últimas fases de la formación del humus. Los **hongos** son muy importantes ya que se encargan de degradar las formas más resistentes de la materia orgánica facilitando el trabajo para que las bacterias continúen en el proceso de descomposición una vez que la celulosa se ha agotado. Las especies de hongos son numerosas en ambas fases de compostaje, pero la mayoría de los hongos viven en las capas exteriores del compost cuando las temperaturas son muy altas. Los **protozoarios** son organismos microscópicos unicelulares que juegan un rol relativamente pequeño en el proceso, los cuales se encuentran en agua del compost. Obtienen sus nutrientes de materia orgánica pero también actúan como consumidores secundarios ya que también ingieren bacterias y hongos. Al igual que los protozoarios, los **rotíferos** también juegan un rol pequeño y son microorganismos multicelulares microscópicos que se encuentran en el agua del compost y también se alimentan de materia orgánica al igual que hongos y bacteria (Trautmann y Olynciw 1996).

En el proceso de compostaje, los microorganismos descomponen la materia orgánica y producen dióxido de carbono, agua, calor y humus. Bajo condiciones óptimas, el proceso de compostaje pasa por varias fases (Trautmann y Olynciw 1996, Hoitink *et al.* s.f.).

2.1.3.1 Fase mesofílica. Esta fase es de temperatura moderada, dura entre 1-2 días, el pH por lo general baja por los ácidos orgánicos que son producidos. Inicialmente la

descomposición es llevada a cabo por microorganismos mesofílicos, los cuales rápidamente degradan los compuestos solubles, fácilmente degradables. El calor que producen causan que la temperatura del compost se eleve rápidamente (Trautmann y Olynciw 1996).

2.1.3.2 Fase termofílica. Esta fase es de temperatura alta, el pH por lo general sube ya que el amoníaco es liberado de las proteínas. En esta etapa la temperatura llega a elevarse arriba de 40°C, los microorganismos mesofílicos se vuelven menos competitivos y son reemplazados por otros microorganismos termofílicos. Las bacterias termofílicas son principalmente las del género *Bacillus* que pueden llegar a soportar temperaturas hasta 60°C, y las bacterias del género *Thermus* son las únicas que pueden soportar temperaturas arriba de 60°C. A temperaturas de 55°C o arriba, muchos microorganismos que son patógenos de humanos y/o plantas son destruidos ya que las temperaturas arriba de 55°C destruyen muchas formas de microorganismos y limitan el ritmo de descomposición. El compost se tiene que airear y mezclar para mantener la temperatura bajo este punto. (Trautmann y Olynciw 1996).

Durante la fase termofílica, las temperaturas altas aceleran la degradación de proteínas, grasa, y carbohidratos complejos como celulosa y hemicelulosa, que son las moléculas estructurales más abundantes en las plantas. Algunas especies de actinomicetos aparecen durante la fase termofílica y otras se vuelven importantes durante la fase de enfriamiento y maduración, en la cual los compuestos más resistentes quedan en las últimas fases de la formación del humus (Trautmann y Olynciw 1996).

2.1.3.3 Fase de enfriamiento y maduración. Cuando la fuente de los compuestos de alta energía se agotan, la temperatura del compost baja gradualmente y los microorganismos mesofílicos vuelven a reinar y toman parte en la última fase del compost, la cual es enfriamiento y maduración de la materia orgánica restante. La fase de maduración, requiere algunas semanas a meses y menos calor es producido en este tiempo, el pH final se torna un poco alcalino (Trautmann y Olynciw 1996).

2.2 MONITOREO DEL PROCESO DE COMPOSTAJE

Según el manual de Atrusa CMC[®] Group (s.f.) para poder obtener un material de alta calidad el proceso se deberán seguir varios conceptos. Una fuente de energía (material carbonado) se mezcla con una fuente de nitrógeno (material nitrogenado) de tal forma que cubra los requerimientos metabólicos microbiales bajo condiciones específicas de humedad y temperatura. Las proporciones correctas de los diferentes ingredientes son esenciales para minimizar los olores y evitar atraer moscas, roedores y otros animales pequeños.

2.2.1 Ingredientes

Una combinación correcta de los ingredientes es necesaria para tener un programa exitoso. Dos parámetros son importantes a considerar: contenido de humedad y la relación C/N.

2.2.1.1 Control de la humedad. Este es un factor muy importante de controlar ya que los microorganismos de la pila de compost son muy sensibles a la humedad. Debajo de 35-40% la tasa de descomposición se reduce grandemente y debajo de 30% virtualmente se detiene. Demasiada humedad sin embargo es uno de los factores más comunes que conducen a condiciones anaerobias y que resultan en problemas de mal olor. La humedad ideal para la mayoría de las mezclas está entre 55-60%.

2.2.1.2. Relación C/N. De los muchos elementos que se requieren para la descomposición microbial, carbono y nitrógeno son los más comunes pero limitantes para el proceso. El carbono es la fuente de energía y forma el 50% de la masa de las células microbiales. El nitrógeno es un componente crucial de las proteínas; la biomasa de las bacterias es 50 % proteína. Con muy bajo material nitrogenado en el compost la población microbiana no crecerá y el proceso se retardará. Con demasiado nitrógeno se acelerará el proceso de descomposición, causando serios problemas con malos olores ya que todo el oxígeno se utilizará y se comenzará a llevar a cabo procesos anaerobios. Para que el proceso al inicio se lleve a cabo sin problemas, la relación C/N 30:1 es la ideal (basándose en peso).

2.2.2 Tamaño de partículas

La actividad microbial generalmente ocurre sobre la superficie de las partículas. Al reducir las partículas se incrementa el área superficial lo que estimula la actividad microbial y la tasa de descomposición. Si las partículas son muy pequeñas y compactas la circulación del aire se reduce lo mismo que la actividad de los microorganismos. El tamaño ideal de las partículas esta entre 1.3-7.6 cm.

2.2.3 Temperatura

Éste es uno de los indicadores claves durante el composteo. El calor es generado como un subproducto de la descomposición microbial e indica si el proceso está trabajando bien. Las temperaturas de operación de una pila de compost deben estar entre 40-60 °C. Arriba de 60 °C los microorganismos aeróbicos mueren, y el material se quema, lo que significa pérdidas de carbono. Debe asegurarse que la pila alcance las temperaturas óptimas para que se destruyan patógenos humanos y semillas de malezas.

2.2.4 Aireación

Para que el proceso sea aeróbico, grandes cantidades de O₂ son necesarias. Para asegurarnos de un suplemento adecuado de oxígeno las siguientes acciones deben tomarse.

2.2.4.1 Volteo. Las pilas son aireadas regularmente utilizando una máquina volteadora. Los volteos se harán de acuerdo con la humedad, temperatura y CO₂. Esto permite que el CO₂ producido en el proceso escape y que el O₂ fluya hacia los nuevos poros formados.

2.2.4.2 Monitoreo de O₂. Esto debe hacerse a diario, utilizando un medidor de O₂ o CO₂. Cuando el O₂ es >de 5% y el CO₂ menor de 12% se sabe que el proceso está bien.

2.2.5 Madurez y estabilidad

La meta es llegar a tener un compost maduro y estable. La estabilidad del compost algunas veces se confunde con la desecación del compost que tiende a tener la apariencia física de un compost maduro, pero la degradación biológica puede continuar bajo condiciones favorables. La madurez es el grado en el cual el compost está libre de sustancias orgánicas fitotóxicas que pueden afectar la germinación de semillas y el crecimiento de plantas. Un compost terminado no vuelve a recalentarse por sí solo al momento de voltearse y los ingredientes iniciales son irreconocibles. Según el manual de Atrusa CMC[®] Group (s.f.), las características de un compost terminado son las siguientes.

- ◆ **CO₂:** Debe de tener 1 % de oxígeno y esto se puede medir en el campo.
- ◆ **Temperatura:** Un compost finalizado no debe recalentarse no importa que esté almacenado. Se puede hacer una práctica fácil para comprobarlo; si la diferencia de temperatura entre el compost y el aire del ambiente es mayor a 10°C o (15 °F) el compost continúa inmaduro.
- ◆ **pH:** El valor debe estar entre 5.5- 8.0, ya que abajo de 4.0 puede indicar presencia de ácidos orgánicos tóxicos.
- ◆ **Sales solubles:** Debe de tener un valor <5 mmhos/cm. Los niveles de sales solubles varían considerablemente dependiendo de los ingredientes y el proceso del compostaje.
- ◆ **Materia Orgánica:** El valor del porcentaje de Materia Orgánica debe estar entre 30-60 % de Materia Seca. No debe ser menor del 20%.
- ◆ **Nitratos:** El valor de los nitratos debe ser <300 ppm.

- ◆ **C/N:** La relación carbono/nitrógeno en madurez y estabilidad debe estar entre 12:1-20:1, datos que se toman en análisis en laboratorio.
- ◆ **NH₄:** El nivel de amonio debe de ser de 2 ppm.
- ◆ **Olor y Color:** Un compost terminado debe tener olor parecido al del suelo y un color café oscuro a negro.

2.3 SUPRESIÓN DE ENFERMEDADES MEDIANTE EL USO DE COMPOST

El compost ofrece oportunidades únicas para analizar las interacciones fundamentales entre planta, patógenos, agentes de control biológico, materia orgánica del suelo y las raíces de las plantas. Las enmiendas orgánicas tienen potencial para controlar biológicamente muchas enfermedades de las plantas. Tanto los patógenos foliares, vasculares y de raíces pueden ser afectados por aplicaciones de compost. Muchos factores influyen sobre estos efectos benéficos. Por ejemplo, la composición de la materia prima empleada para preparar el compost, afecta su potencial para el control biológico así como a la microflora activa en ese control. El calor generado durante la preparación del compost puede matar o inactivar a los patógenos, cuando este proceso es supervisado en forma adecuada. Desafortunadamente, también los agentes de control biológico, con excepción de *Bacillus spp.* son eliminados durante el proceso. Debido a esto, la microflora benéfica debe volver a recolonizar los composts así como el potencial para inducir la supresión de enfermedades. En la práctica, la inoculación controlada de compost con agentes de control biológico ha demostrado su eficacia para inducir niveles consistentes de supresión de enfermedades. La estabilidad de los composts debe considerarse en el control biológico. Los composts inmaduros constituyen un alimento para los patógenos, cuyas poblaciones aumentan en la materia orgánica fresca y causan enfermedades, aun cuando estén colonizados por agentes de control biológico. Los agentes de control biológico inhiben o matan a los patógenos en un compost maduro y, por tanto, inducen la eliminación de enfermedades. Los agentes de control biológico presentes en el compost pueden inducir la resistencia sistémica adquirida contra los patógenos foliares de las plantas. La materia orgánica excesivamente estabilizada, no favorece a la actividad que realizan los agentes de control biológico. En este tipo de material predominan los microorganismos incapaces de suministrar control biológico. Las enfermedades se desarrollan en plantas cultivadas con materia orgánica altamente mineralizada. Las propiedades físico-químicas del compost también afectan el control biológico. La salinidad y la tasa de liberación de nutrientes de las plantas, en particular, la cantidad de nitrógeno, afectan potencial supresivo. El pH del compost y el tiempo de aplicación, con relación a la siembra de los cultivos, son factores adicionales que requieren consideración (Hoitink *et al.* 1997).

La calidad del compost debe ser consistente para que su empleo resulte exitoso en el control biológico de las enfermedades de cultivos hortícolas, especialmente si se emplean en recipientes con medios de cultivos (Inbar *et al.* citado por Hoitink *et al.* 1997). La variabilidad en la estabilidad del compost es uno de los principales factores que limitan su

utilización; la tasa de respiración es uno de los procedimientos que se pueden emplear para verificar la estabilidad (Lannotti *et al.* citado por Hoitink *et al.* 1997).

Con frecuencia, la relación entre el efecto de las propiedades químicas del compost y la severidad de las enfermedades del suelo son desestimadas (Hoitink *et al.* citado por Hoitink *et al.* 1997).

2.3.1 Función de los agentes de control biológico presentes en el compost

En la fase de maduración y enfriamiento durante el proceso de preparación de compost, la curación se inicia a medida que baja la concentración de los componentes de fácil degradación biológica que se encuentran en los ingredientes. Como resultado disminuyen las tasas de descomposición, la generación de calor, y la temperatura. En esta etapa del proceso, los microorganismos mesofílicos que se desarrollan a temperaturas inferiores de 40°C, recolonizan la capa exterior del compost cuya temperatura bajó. Por tanto la supresión de patógenos es inducida durante el proceso de curación, pues la mayoría de agentes de control biológico recolonizan el compost, después de llegar al punto máximo de calor (Hoitink *et al.* 1997).

Algunos de los microorganismos identificados como agentes de control biológico, y que se encuentran en los sustratos con enmiendas de compost son: *Bacillus ssp.*, *Enterobacter ssp.*, *Flavobacterium balustinum*, algunas especies de *Pseudomonas* y otros géneros de bacterias. También se encuentran levaduras y hongos benéficos como *Streptomyces ssp.*, *Penicillium ssp.*, varias especies de *Trichoderma*, *Bauveria*, *Gllocladium virens* y otros hongos (Chung y Hoitink; Hadar y Gorodecki; Hardy y Sivasithamparam; Hoitink y Fahy; Nelson *et al.*; Phae *et al.* citados por Hoitink *et al.* 1997).

El contenido de humedad del compost afecta significativamente el potencial de los mesófilos bacteriales para colonizar el sustrato después de alcanzar el punto máximo de calor. El compost seco, con menos de 34% de humedad (p/p), es colonizado por hongos y es conductor de enfermedades producidas por *Phythium ssp.* Para inducir la supresión, el contenido de humedad debe ser suficientemente alto (al menos 40-50%, p/p), para que bacterias y hongos colonicen el sustrato, después de alcanzar el punto máximo de calor. El pH del compost también afecta el potencial de las bacterias benéficas para colonizarlos. Un pH menor de 5 inhibe los agentes bacteriales de control biológico (Hoitink *et al.* citado por Hoitink *et al.* 1997).

2.3.2 Mecanismos de supresión en el compost

Se han descrito dos clases de mecanismos para el control biológico; el general y el específico y estos han sido usados para sustratos tratados con enmiendas de compost. Las temperaturas termofílicas alcanzadas a través del procesos de compostaje puede destruir muchos patógenos que atacan a plantas y humanos (Buchanan *et al.* 1994). Los mecanismos involucrados se basan en la competencia, la antibiosis, el hiperparasitismo y la resistencia adquirida en la planta huésped (Hoitink *et al.* 1997).

2.3.3 Disponibilidad de energía versus supresión

El nivel de descomposición de la materia orgánica, en los sustratos con enmiendas de compost, tiene un impacto importante en la supresión de enfermedades (Hoitink *et al.* 1997). En materia orgánica fresca no descompuesta no ocurre control biológico, debido a que tanto el patógeno como el agente controlador se desarrollan como saprófitos. Se presume que la síntesis de enzimas líticas involucradas en el hiperparasitismo de los patógenos efectuados por *Trichoderma spp.* es reprimido en la materia orgánica fresca, por altas concentraciones de glucosa presentes en estos desechos (De la Cruz *et al.* citado por Hoitink *et al.* 1997). Los mismos procesos pueden ocurrir en la producción de antibióticos, los cuales también desempeñan un papel importante en el control biológico (Hoitink *et al.* 1997).

En composts maduros, donde existen bajas concentraciones de nutrientes libres, algunos patógenos son eliminados por los hiperparásitos, prevaleciendo de esta manera el control biológico (Chen *et al.*; Nelson *et al.* citado por Hoitink *et al.* 1997). Esto revela que el compost debe ser estabilizado adecuadamente, para lograr el nivel de descomposición necesaria para que el control biológico sea factible (Hoitink *et al.* 1997).

La materia orgánica excesivamente estabilizada (el extremo opuesto en la escala de la descomposición) no favorece la actividad adecuada de los agentes de control biológico. Como resultado, no hay supresión y las enfermedades del suelo son severas; lo mismo ocurre en suelos altamente mineralizados, donde las sustancias húmicas son las formas predominantes de materia orgánica (Workneh *et al.* citado por Hoitink *et al.* 1997).

Todavía no se ha determinado la cantidad de tiempo que los composts incorporados al suelo toleran niveles adecuados de actividad biocontroladora. Se presume que ésta varía de acuerdo con la temperatura y las características del suelo, y con el tipo de materia orgánica con la cual se elaboró el compost. La tasa de carga y las prácticas culturales también desempeñan una función en este proceso (Hoitink *et al.* 1997).

2.3.4 Control de enfermedades foliares mediante el empleo de compost

Durante la década de los ochenta se publicaron trabajos sobre el control de enfermedades que atacan la parte aérea de la planta, mediante extractos de compost, los cuales son preparados con agua (Weltzhlen; Yohalem *et al.* citado por Hoitink *et al.* 1997). Por lo general los extractos se preparan remojando en agua compost maduro (cultivo estable 1:1 p/p) por un periodo de 7-10 días. Posteriormente se filtra el extracto y con el producto resultante se fumigan las plantas. Desafortunadamente, su eficacia varía de acuerdo con el compost, con las cantidades producidas de extractos, con los cultivos y con la enfermedad. Sackenheim (citado por Hoitink *et al.* 1997), afirma que mediante el empleo del procedimiento de conteo de plato de microorganismos cultivados, se ha encontrado que en los extractos predominan los microorganismos aeróbicos. Su microflora incluye cepas de bacterias y aislamientos de hongos que tienen un potencial reconocido como

agentes de control biológico. Este mismo autor, desarrolló varias estrategias de fertilización que incluyen nutrimentos así como microorganismos para mejorar la eficacia de los extractos.

El control inducido por el extracto de compost, también ha sido atribuido a la resistencia sistémica adquirida (RSA), la cual es inducida en las plantas por microbios que se encuentran en los extractos (Weltzhen citado por Hoitink *et al.* 1997). Investigaciones futuras podrían revelar que el compost afecta la resistencia de la raíz y del follaje contra las enfermedades. En la actualidad, el control de enfermedades foliares mediante el empleo de compost y extractos del mismo es muy variable (Zhang *et al.* citado por Hoitink *et al.* 1997).

2.4 SIGATOKA NEGRA EN BANANO

Esta enfermedad foliar causa pérdidas significantes en la producción potencial de banano, a través de la reducción de área fotosintética, reduciendo el desarrollo de la fruta e induciendo la madurez prematura de la misma. La Sigatoka Amarilla (*Mycosphaerella musicola*) ha estado presente por muchos años, diseminándose por casi todas las regiones a principios del siglo XX y es sujeta a medidas de control en muchos países. Pero la Sigatoka Negra (*Mycosphaerella fijiensis var. difformis*), ha aparecido recientemente, siendo identificada por primera vez en Fiji en 1964 (Rhodes; Meredith consultado por Gowen 1995). Después de su descubrimiento en Honduras en 1972 la enfermedad se diseminó rápidamente a través de Centro y Sur América y ha llegado a Venezuela y Brasil. En el Caribe ha continuado diseminándose de isla a isla y ha llegado a Cuba (1992), Jamaica (1996), República Dominicana (1996) y Florida (1999) (Holderness *et al.* 2000).

La Sigatoka Negra es de considerable significancia económica, causando pérdidas extensivas de producción y madurez prematura de la fruta si no es manejada correctamente. La Sigatoka Negra es el objetivo principal en el control químico de plagas en áreas afectadas de banano constituyendo el 90% de los costos por control químico de plagas. Esta enfermedad desplaza a la sigatoka amarilla en la importancia en áreas afectadas (Holderness *et al.* 2000).

2.4.1 Descripción, síntomas y etapas de Sigatoka Negra

La Sigatoka Negra (*Mycosphaerella fijiensis var. difformis*) es un ascomiceto típico que desarrolla dos fases reproductoras, sexuales y asexuales (ascosporas y conidias respectivamente). Produce espermacios en espermagonios, ascosporas en peritecios y conidias de tipo *Cercospora* en esporodocios (Figura 1). Cultivos sucesivos de conidias en abundancia son producidos en ambos lados de la hoja. Las conidias son dispersadas por el viento o agua salpicada. La liberación o germinación de las conidias depende de la humedad de la hoja o alta humedad relativa del ambiente. Los peritecios son producidos en climas cálido-húmedos y sus ascosporas son liberadas violentamente en respuesta al remojo del peritecio. Las ascosporas se diseminan por corrientes de aire y son

responsables de la diseminación de la enfermedad a largas distancias. El medio de diseminación local de la enfermedad es por medio de las conidias. La infección por conidias o ascosporas produce exactamente el mismo desarrollo de la enfermedad (Gowen 1995 y Agrios 1989).

Las conidias o ascosporas germinan sobre la hoja en dos o tres horas si hay buena humedad; el tubo germinativo aparece entre 48-72 horas el cual penetra por el estoma; empieza a manifestarse el daño, inicialmente visible por la cara inferior de la hoja después de 10-12 días de la infección; en este estado inicial alcanza 1-3 milímetros siendo de color café rojizo. Su ciclo de vida es similar al de *M. musicola* (Sigatoka Amarilla), con la diferencia de que *M. fijiensis var difformis* forma esporodocios en las manchas recién desarrolladas y sus hifas se desplazan de un estoma a otro. (Gowen 1995).

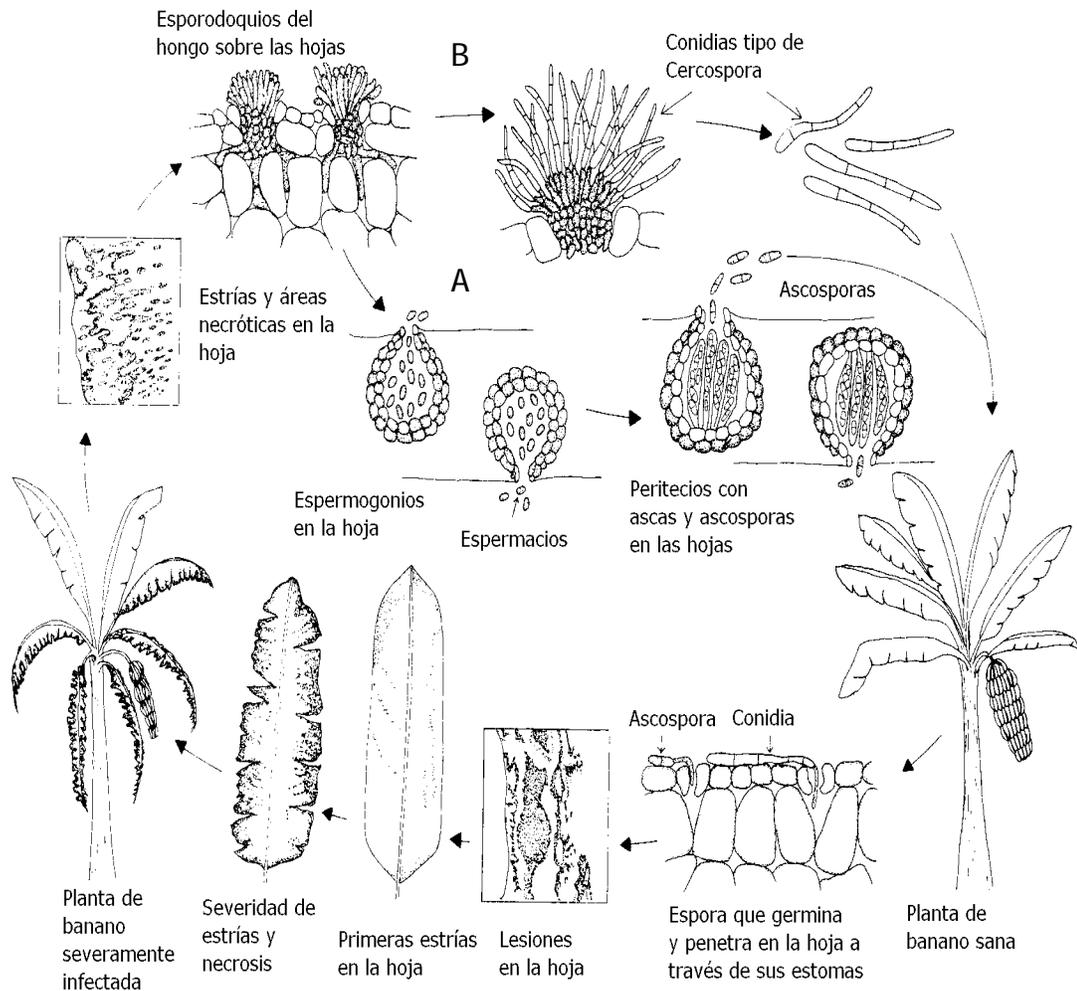
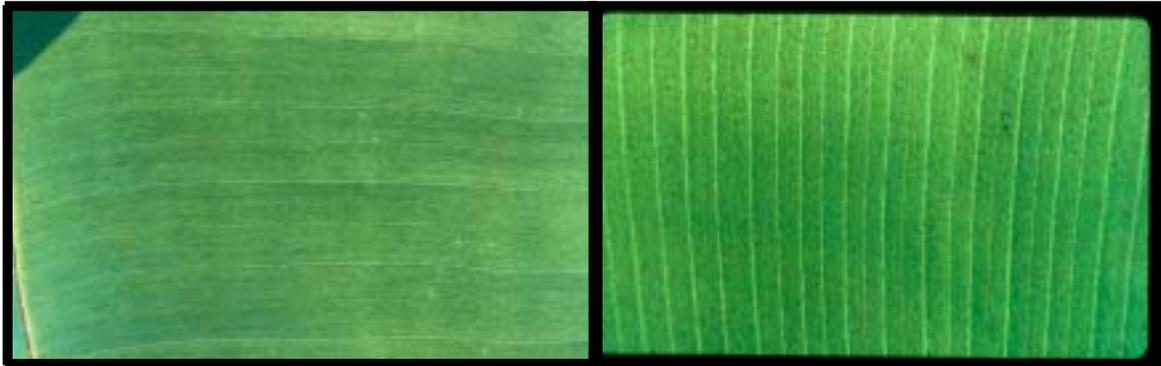


Figura 1. Ciclo de vida y reproducción sexual (A) y asexual (B) de *M. fijiensis var. difformis*. (Modificada de Agrios, 1997)



a.

b.

Figura 2. Síntomas de la etapa 1. (a.) En la primera fase se observan marcas de despigmentación. (b.) En la segunda fase sombras café en marcas de primera fase. (Fouré, CIRAD, 1982).

2.4.1.1 Etapa 1. Los síntomas de ésta aparecen en dos fases. En la fase 1 (Figura 2.a) aparecen síntomas como una marca de falta de pigmentación, de color blancuzco o amarillo. Estos síntomas no son visibles a simple vista y se tienen que observar a trasluz; solamente en el lado interior del haz de la hoja. En la fase 2 (Figura 2.b) se observa un café corrosivo en la sombra de la marca de la primera fase; este síntoma es claramente visible contra la luz (Fouré 1982).

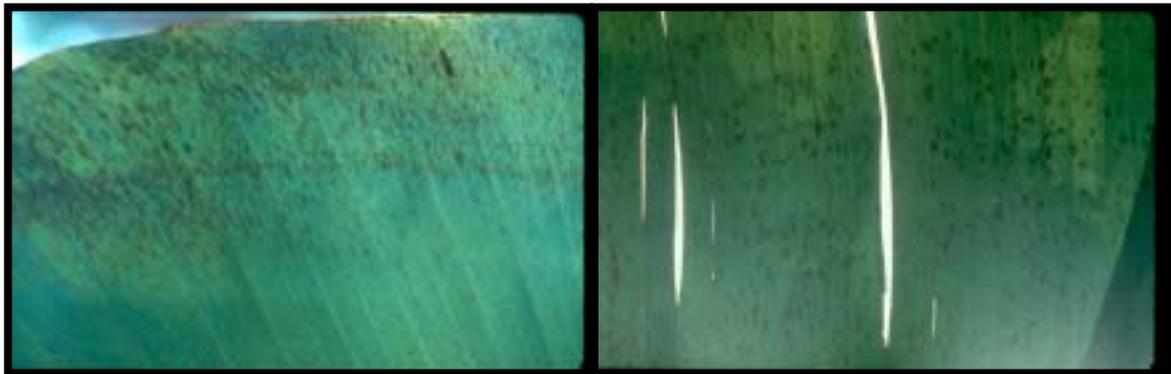


Figura 3. Síntomas de la etapa 2. Estrías color café, pequeñas en el interior del haz de la hoja y estrías color amarillo en la parte superior del haz de la hoja. (Fouré, CIRAD, 1982).

2.4.1.2 Etapa 2. La marca de la segunda fase de la etapa 1, toma forma de estría color café, visible en el lado interior del haz de la hoja. Este síntoma luego aparece en la parte superior del haz de la hoja como una estría de color amarillo (Figura 3). Esta estría toma progresivamente un color café convirtiéndose a negro en la parte superior del haz de la hoja pero se mantiene café en el lado interior del haz. La dimensión de estas estrías varían de acuerdo con el clima (Fouré 1982).

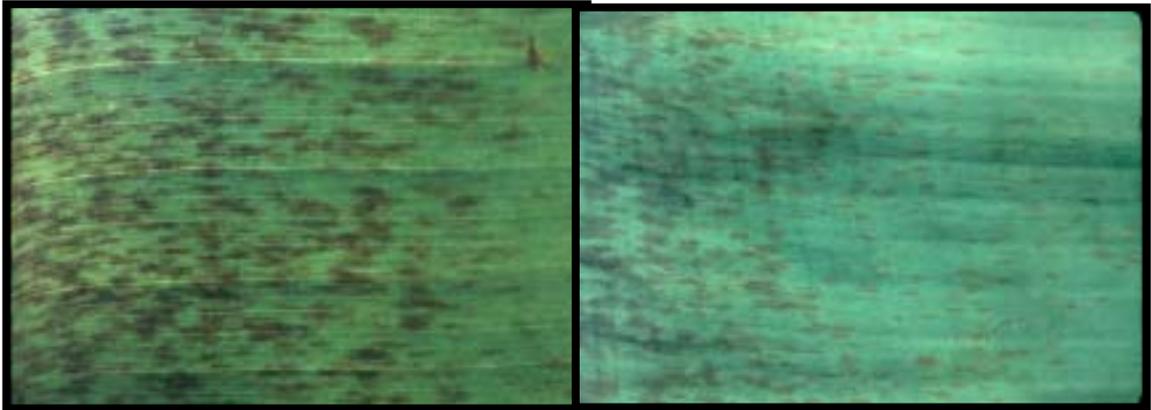


Figura 4. Síntomas de la etapa 3. Estrías más largas y anchas que etapa 2. (Fouré, CIRAD, 1982).

2.4.1.3 Etapa 3. Esta etapa difiere a la anterior en que la estría se alarga y ensancha (Figura 4) bajo ciertas condiciones alcanza 20 a 30 mm. (Fouré 1982).

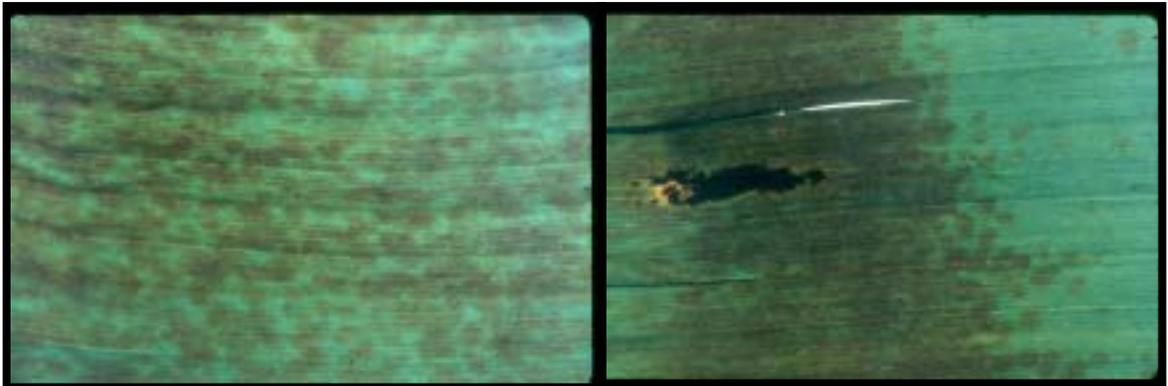


Figura 5. Síntomas de la etapa 4, marcas café en el interior de la hoja y negra en la parte superior de la hoja en forma redonda o elíptica (Fouré, CIRAD, 1982).

2.4.1.4 Etapa 4. Aparece una marca café en el interior del haz y una marca negra de forma redonda o elíptica en la parte superior del haz (Figura 5). Este síntoma es solamente visible si la densidad de las estrías en la etapa 2 y 3 no son demasiado marcadas en la hoja. Algunas veces esta estría está rodeada de una aureola más clara. Sus dimensiones son variables. (Fouré 1982).

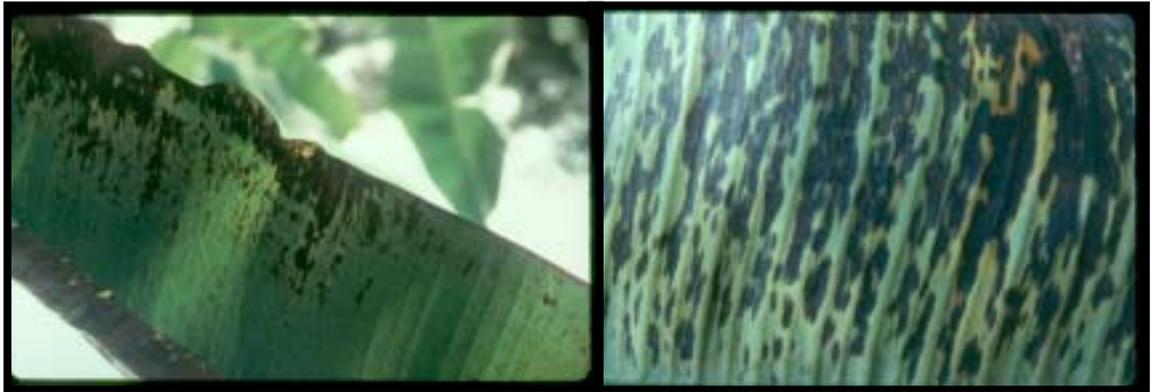


Figura 6. Síntomas de la etapa 5. Oscurecimiento de las marcas elípticas y el centro de las mismas comienza a hundirse. (Fouré, CIRAD, 1982).

2.4.1.5 Etapa 5. En esta etapa se observa un oscurecimiento de la marca elíptica en el interior del haz, generalmente esta rodeado de una aureola amarilla y el centro comienza a hundirse (Figura 6). (Fouré, 1982).



Figura 7. Síntomas de la etapa 6. Hojas parcial y totalmente necróticas. El centro de la marca se seca y se observa una sombra gris (Fouré, CIRAD, 1982).

2.4.1.6 Etapa 6. Esta es la última etapa de la enfermedad. El centro de la marca se seca y parece una sombra gris, la lesión está generalmente rodeada por un margen negro y angosto; el filo tiene un contorno de color amarillo (Figura 7). El margen negro persiste después de que la hoja se ha secado y esto hace posible determinar la presencia de las lesiones. Luego ocurre una necrosis total de la planta. (Fouré 1982).

2.4.2 Opciones para el manejo de Sigatoka Negra

Según Holderness *et al.* (2000) las opciones para el manejo de Sigatoka Negra dentro de sistemas orgánicos incluyen: prevención a través de cuarentena y exclusión; variedades resistentes; control cultural y medidas de sanidad para reducir el inóculo y reducir predisposición por estrés biótico y abiótico. En la actualidad la intervención directa incluye el uso de aceites minerales y de plantas y otros nuevos acercamientos al control de la enfermedad. Las opciones se describirán en más detalle a continuación:

2.4.2.1 Cuarentena y exclusión. Para retardar o prevenir la llegada de la enfermedad a países o regiones no afectadas, se requieren medidas que incluyan la necesidad de análisis de los riesgos de distintas rutas potenciales de introducción, para poder tomar decisiones de cuarentena. Se necesita asegurar la capacidad de un diagnóstico efectivo en los servicios de inspección y sobretodo, existe necesidad de mantener una alta conciencia sobre los riesgos de esta enfermedad al público para evitar la introducción inadvertida (Holderness *et al.* 2000).

2.4.2.2 Variedades resistentes. El banano tipo Cavendish es susceptible a la Sigatoka Negra pero todavía se mantiene en la exportación estándar de la industria, a pesar que requiere de altas dosis y frecuencias de aplicación con fungicidas. Sin embargo nuevos híbridos ofrecen mejores prospectos para establecer producción orgánica en presencia de Sigatoka Negra. Entre estos varios híbridos las variedades FHIA muestran promesas particulares y en algunos casos han sido plantados extensivamente (e.g. en Cuba). Sin embargo, se cuestiona todavía la aceptación de estas variedades resistentes en la exportación comercial como banano específicamente orgánico, a causa de sus distintos sabores y texturas y también por su calidad y requerimientos específicos de poscosecha. Esto es crucial en términos de mercadeo para poder introducir diferentes tipos de banano a naciones consumidoras (Holderness *et al.* 2000).

2.4.2.3 Medidas de control cultural. Una forma de evitar la enfermedad es a través de la siembra de banano orgánico en áreas de baja precipitación y riego subfoliar, esto ayuda a minimizar los períodos en que las hojas están mojadas, condición que favorece la enfermedad. Existen otras medidas culturales se pueden usar para lograr una mayor tolerancia a la enfermedad y reducir las pérdidas. Estas medidas incluyen: drenajes efectivos para remover el agua estancada del suelo, distanciamiento apropiado para prevenir traslape de hojas y el uso de coberturas y manejo de sombra para establecer condiciones no favorables para la diseminación de la enfermedad (Holderness *et al.* 2000).

Medidas de sanidad son utilizadas rutinariamente para reducir el potencial del inóculo inicial, cuyo objetivo es el de reducir la actividad de los propágulos del patógeno disponibles para infectar el huésped. Estas medidas se basan en la remoción (y a veces también entierro para prevenir esporulaciones) de hojas muy infectadas o cortes en el área de la hoja infectada (Holderness *et al.* 2000).

2.4.2.4 Manejo Integrado del Cultivo. La importancia y manejo de las enfermedades foliares no se deben considerar aisladas de otros aspectos de manejo del cultivo. Factores culturales y de plagas han demostrado claramente una interacción directa con la susceptibilidad de las plantas a la Sigatoka Negra. En términos de efectos específicos, en estudios llevados a cabo en Uganda, se estableció que cuando se incrementó la relación de Potasio / Calcio + Magnesio y se adicionó materia orgánica las plantas de banano fueron menos susceptibles a la Sigatoka Negra. Sin embargo las plantas de banano fueron más susceptibles con un incremento de temperatura ambiente, relación de raíces muertas / raíces funcionales (daño de nematodo) y un porcentaje de área transversal del corno dañado por el picudo negro (*Cosmopolites sordidus*) (Holderness *et al.* 2000).

2.4.2.5 Medidas químicas. De acuerdo con los requerimientos de la certificación y legitimidad de uso en sistemas orgánicos, los estándares de IFOAM (Federación Internacional de los Movimientos de la Agricultura Orgánica) permiten uso restringido de materiales de origen naturales (IFOAM citado por Holderness *et al.* 2000). Para el manejo de Sigatoka Negra están principalmente las sales de cobre y el aceite mineral. Sin embargo, el aceite mineral será retirado de la aprobación probablemente en 2002 y el uso alternativo de aceites naturales serán una medida apropiada para el control, por lo menos a corto plazo. Éstos incluyen el uso de aceites de cítricos, el cual está evaluándose en algunos sistemas orgánicos (Holderness *et al.* 2000).

2.4.2.6 Nuevas medidas de control. Una perspectiva que ha atraído mucha atención científica en años recientes, es el de los mecanismos de resistencia sistémica inducida utilizando tratamientos apropiados con químicos o agentes bióticos. Éstos incluyen micronutrientes y ácidos orgánicos al igual que microorganismos no patogénicos. Resistencia sistémica inducida (también conocida como resistencia sistémica adquirida) involucra el desenlace de las reacciones de resistencia innatas de la planta, para reducir la susceptibilidad de infección por patógenos relevantes. Éstos mecanismos se han investigado muy poco en el sistema patogénico de la Sigatoka Negra y pueden ofrecer un potencial considerable para el uso en sistemas orgánicos. Microorganismos endófitos también pueden ser utilizados en el futuro. Éstos son microorganismos que existen dentro de la planta sin ser asociados con la enfermedad, que podrían conferir resistencia a los patógenos foliares por antagonismo directo o a través de producción de toxinas neutralizantes (Holderness *et al.* 2000).

Plantas de banano Genéticamente Modificadas (GM) están siendo investigadas por varios científicos como medio para introducir en la planta una capacidad de resistencia a través de la producción de químicos anti-micóticos. Sin embargo bajo los protocolos de IFOAM, los organismos genéticamente modificados son explícitamente prohibidos de los sistemas orgánicos (Holderness *et al.* 2000).

2.5 ESTUDIOS REALIZADOS UTILIZANDO EXTRACTOS DE COMPOST EN OTRAS ENFERMEDADES

Diversas investigaciones realizadas en Alemania, Japón, Israel y los Estados Unidos han demostrado la efectividad de los extractos de compost en el control de las siguientes enfermedades: tizón tardío del tomate y la papa (*Phytophthora infestans*) controlado con extractos de compost de estiércol de caballo (Weltzein, 1990 citado por Diver, 1998), podredumbre gris del frijol y la fresa (*Botrytis cinerea*) controlado con extractos de compost de estiércol de vaca (Weltzein, 1990 citado por Diver, 1998), marchitez por fusarium (*Fusarium oxysporum*) controlado con extractos de compost de corteza (Kai, *et al* 1990 citado por Diver, 1998), moho suave (*Plasmopara viticola*) de la uva y moho polvoso de la uva (*Uncinula necator*) y pepino (*Sphaerotheca fuliginea*) controlado con extractos de compost de paja con estiércol de animales (Weltzein, 1989 citado por Diver, 1998). Los extractos de compost resultan promisorios para el control de algunas enfermedades ya sea aplicados al suelo u hojas.

Sabemos que existen pocas alternativas para el control de Sigatoka Negra en plantaciones orgánicas de banano y que el uso de aplicaciones foliares de extractos de compost es una alternativa que resulta interesante evaluar para ver si existe la posibilidad del control de la enfermedad.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 PREPARACIÓN DEL COMPOST UTILIZADO EN ESTE ESTUDIO

El compost utilizado en este estudio fue obtenido en el sitio de producción comercial de compost que la compañía bananera Standard Fruit de Honduras S.A. tiene en las fincas de Isletas, en el departamento de Colón, Honduras. El compost se preparó entre los meses de febrero y abril de 2002. El sitio es una antigua bodega de materiales que fue abandonada después del huracán Mitch y consiste en un área de 3622m² con piso de concreto y completamente techada (Figura 8).



Figura 8. Localización del sitio donde se prepararon las dos pilas de compost. Standard Fruit de Honduras S.A 2002.

3.1.2 Materiales y métodos

Los materiales crudos que se utilizaron en la preparación de los dos tratamientos de compost, incluyeron estiércol de bovino, aserrín de pino, mezcla de gramíneas y leguminosas picadas con una picadora de zacate manufacturada por Industrias Ware, y pinzote o raquis de banano en una proporción de 30/29/19/12 % (v/v) respectivamente. Los materiales se colocaron en pilas de 70 m de largo por 3 m de ancho y 1.5 m de alto (Figura 8), tratando con esta mezcla de alcanzar los valores ideales para inicio del proceso

de 60% de humedad y C/N de 1:30. Un poco antes de terminar el proceso se adicionó a una de las pilas de compost una tonelada métrica de cal dolomita ($(\text{CO}_3)_2\text{CaMg}$) para incrementar concentraciones de Ca y Mg. Las pilas fueron aireadas al menos dos veces por semana utilizando para esto una volteadora de compost autopropulsada (Industrial Baby) de la compañía Autrusa (Figura 9).



Figura 9. Volteadora de compost autopropulsada (Industrial Baby) de la compañía Autrusa, con implementos acondicionados para adicionar humedad si es necesario. Standard Fruit de Honduras S.A. 2002.

Durante el proceso, las pilas fueron monitoreadas para determinación de temperaturas diarias en diferentes sitios utilizando un termómetro digital conectado a un sensor de vara larga (Figura 10.a). En adición a las medidas de temperatura también se tomaron diariamente lecturas de CO_2 (Figura 10.b) para determinar la actividad microbial de la pila. Con base en estas lecturas y dependiendo del grado de humedad de la pila se determinaba la frecuencia de volteo, y/o la necesidad de adicionar humedad. Si era necesario adicionar agua a la pila se hacia al momento del volteo con implementos acondicionados para esto en la maquina volteadora (Figura 9). El tiempo que duró el proceso fue de aproximadamente 57 días de principio a fin, aunque las pilas tuvieron más tiempo para su curación hasta llegar el momento de su utilización en el proyecto. El monitoreo de las temperaturas y evolución de CO_2 se graficaron, y esta información fue parte del criterio para determinar la finalización del proceso. Los criterios utilizados para la preparación de estos compost están basados en lo que se conoce como “Controlled microbial composting” o compostaje microbial controlado (Autrusa CMC[®] Group s.f.).



a.

b.

Figura 10. Toma diaria de datos. a. Temperatura. b. Lecturas de CO₂. Standard Fruit de Honduras S.A.

3.1.3 Monitoreo y análisis del compost

Las mediciones diarias de temperatura y CO₂ en las pilas de interés (Figura 3), se presentan en forma graficada. De acuerdo con los criterios de Atrusa CMC[®] Group (s.f.), que son los mismos utilizados en el programa comercial de la Standard Fruit de Honduras S.A., el Anexo 1 muestra las curvas de Temperatura y CO₂, que indican que ambos materiales alcanzaron durante los primeros días temperaturas arriba de 50°C, que garantizan la supresión de patógenos humanos y de plantas. La caída de valores de % CO₂, durante los últimos días del monitoreo son indicadores de que la actividad microbial ha llegado al final del proceso, garantizado a la vez por el descenso de las temperaturas a valores iguales o ligeramente más altos que la temperatura ambiente.

Al final de la preparación del compost se obtuvieron dos tratamientos que fueron la base de los estudios de laboratorio y campo; compost y compost mejorado con cal dolomita. Ambos materiales fueron enviados al Western Hemisphere Analytical Laboratory (WHAL), laboratorio perteneciente a la Standard Fruit de Honduras S.A., localizado en la Ceiba. En el Anexo 2 se muestran los resultados químicos correspondientes.

3.2 EVALUACIÓN *IN VITRO* DEL EFECTO DE EXTRACTOS LÍQUIDOS DE COMPOST PARA LA SUPRESIÓN DE SIGATOKA NEGRA

Este experimento se llevó a cabo en el laboratorio de fitopatología del Departamento de Investigaciones Tropicales de la Standard Fruit de Honduras S.A., en La Ceiba, departamento de Atlántida, Honduras. Se hizo durante el mes de mayo del año 2002.

3.2.1 Descarga de esporas

El procedimiento utilizado en esta primera parte de la investigación en laboratorio se hizo según la metodología publicada por la Dirección de Investigaciones de la Corporación Bananera Nacional (CORBANA) de Costa Rica, con la selección en plantas de banano con hojas necrosadas por *M. fijiensis*, con abundantes lesiones esporulantes, recolectadas en fincas de la Standard Friut de Honduras S.A. y trasladadas al laboratorio en bolsas de papel para mantener al hongo en sus condiciones óptimas.

En caso de que el material se hubiera recolectado húmedo era necesario secarlo por 24 horas extendiéndolo sobre una superficie. El material seco fue seleccionado cerciorándose de la presencia de puntitos negros y recortado con una tijera en cuadrados de 1-2 cm² (Figura 11). Se recortaron círculos de papel bond ligeramente más grandes que la circunferencia de un plato petri. Se pegaron 4 porciones de hojas cuadradas con grapas metálicas exponiendo el haz sobre los círculos de papel bond (Figura 11). Este papel debe ser muy limpio, no se debe usar papel fotocopiado para evitar que se afecte el desarrollo del patógeno. El círculo de papel bond con las cuatro porciones de hojas fue incubado en cámara húmeda por 48 horas (Figura 11) teniendo el cuidado de no ponerlo en contacto directo con toallas de papel húmedas y que la humedad de la cámara no fuera excesiva.

Mientras el hongo estaba en proceso de incubación por 48 horas se preparó el medio de crecimiento para el hongo. Se preparó un medio agar-agua al 3% y se mantuvo en autoclave por 15 minutos. Antes de que se solidifique se le adicionaron 15-20 ml de la solución preparada a cada plato petri de 100 x 15mm.

El hongo incubado se introdujo por cinco minutos en un beaker con agua destilada estéril para la hidratación de los peritecios (Figura 11). El exceso de humedad del material fue eliminado utilizando una toalla absorbente limpia y luego se colocó el tejido hacia abajo entre la tapadera y la base del plato petri para la descarga de ascosporas durante 30 minutos, teniendo el cuidado de que éste no entrara en contacto directo con el medio, y de que no descargara por más tiempo del indicado para evitar presencia de hongos contaminantes en el medio (Figura 11).

Lo platos petri fueron sellados con papel parafilm, y colocados en una incubadora a 27°C, durante 48 horas (Figura 11). Después de este tiempo se ubicaron colonias de *M. fijiensis* identificables a simple vista, marcándose con un marcador indeleble los puntos de descarga para luego facilitar el sitio de identificación de estructuras de crecimiento del patógeno. Después de determinar la presencia de *M. fijiensis* se procedió a llevar a cabo el estudio con los tratamientos propuestos.

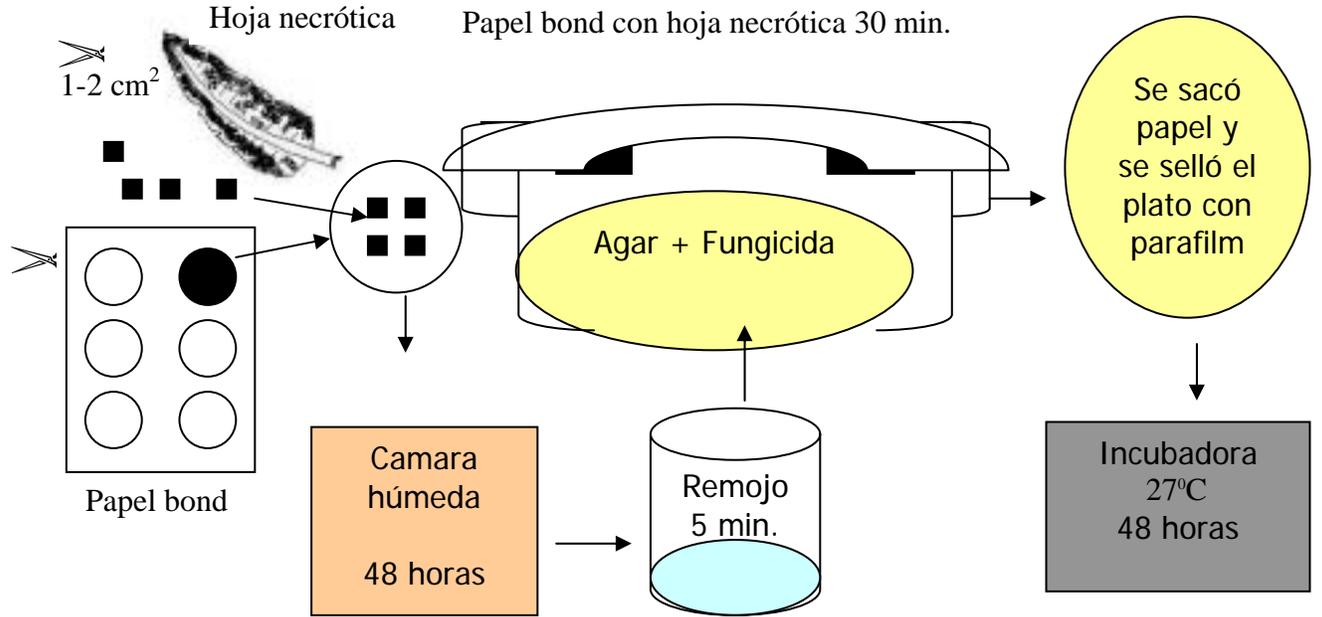


Figura 11. Descripción de metodología para hacer descargar ascosporas.

3.2.2 Descripción de Tratamientos

En este experimento se evaluaron 10 tratamientos con 3 repeticiones. Dentro de estos tratamientos, además de los dos tipos de compost, se evaluó un control absoluto (solo agar) y un fungicida protectante, Cloranfenicol (Bravo[®]) usado comercialmente en el control de la Sigatoka Negra para tener un testigo convencional.

Cuadro 1. Descripción de tratamientos en experimento *in vitro*. Stanadrd Fruit de Honduras S.A. 2002

Tratamiento	Concentración de fungicida
1. Control	Sin fungicida
2. Bravo [®]	1 ppm
3. Bravo [®]	10 ppm
4. Bravo [®]	100 ppm
5. Compost sin dolomita	1:6*
6. Compost sin dolomita	1:4*
7. Compost sin dolomita	1:2*
8. Compost con dolomita	1:6*
9. Compost con dolomita	1:4*
10. Compost con dolomita	1:2*

* (v/v) compost / agua destilada

Proporción de fungicida en agar 1/100ml

3.2.3 Diseño experimental

Se utilizó el diseño completamente al azar. Se evaluaron 10 tratamientos con tres repeticiones teniendo un total de 30 unidades experimentales y 13 observaciones por repetición de tratamiento. Las variables a medir fueron porcentaje de germinación de esporas y largo de tubo germinativo.

3.2.4 Supresión de *M. fijiensis* por extractos de compost *in vitro*

Siguiendo el procedimiento anterior se preparará el medio de crecimineto para el hongo, mientras el hongo estaba en proceso de incubación por 48 horas. Se preparó un medio agar-agua al 3% y se mantuvo en autoclave por 15 minutos. Para cada tratamiento se prepararon soluciones madres de las cuales se tomó 1 ml de cada una y se mezclaron con 100 ml de agar. Antes que se solidifique se le adicionaron 15-20 ml de la solución preparada a cada plato petri de 100x15mm y se procedió a hacer las lecturas de germinación de esporas y largo de tubo germinativo con ayuda de un microscopio (Figura 12).

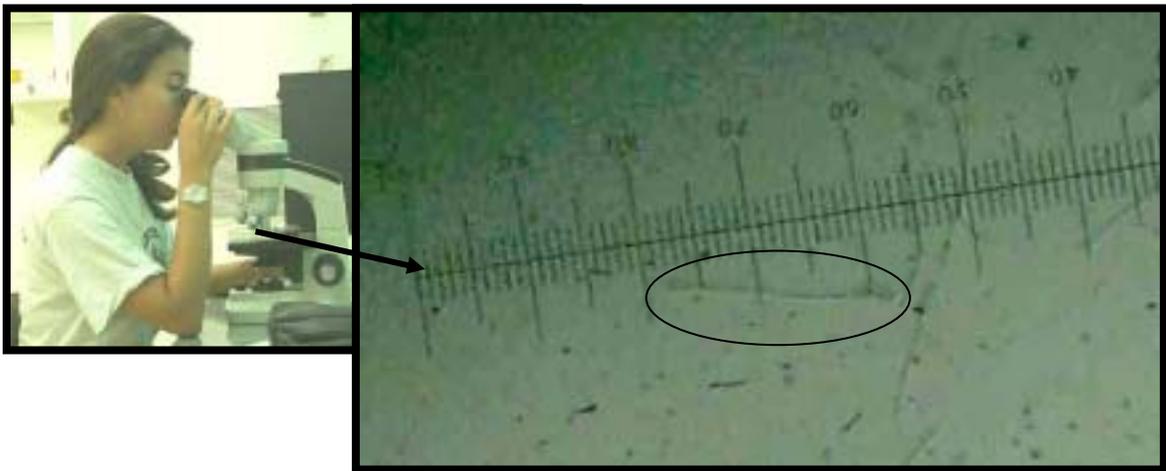


Figura 12. Lecturas de germinación de esporas y largo de tubo germinativo con ayuda de un microscopio. Standard Fruit de Honduras S.A. 2002.

3.3 APLICACIÓN DE DOS EXTRACTOS LÍQUIDOS DE COMPOST PARA LA SUPRESIÓN DE SIGATOKA NEGRA EN MICROPARCELAS DE BANANO

Este experimento se llevó a cabo en la finca Mabuhay zona de Barimasa, propiedad de Standard Fruit de Honduras S.A. localizado en el departamento de Yoro, Honduras. Este estudio duró entre las semanas 32 y 40 del año 2002. En este sitio están ubicadas 60 micro parcelas de banano utilizadas por el Departamento de Investigaciones Tropicales para pruebas rápidas de evaluación de productos utilizados en el control de Sigatoka Negra y en la nutrición foliar del banano.

Para esta prueba se permitió usar 15 de estas parcelas (Anexo 3). Este sitio recibe una precipitación media anual de 1,782mm con una temperatura máxima y mínima media anual de 32.8 y 20.4 °C respectivamente.

3.3.1 Tratamientos

En este experimento se evaluaron 3 tratamientos, un control y extractos de compost y compost con dolomita.

Cuadro 2. Descripción de tratamientos a evaluar en el campo. Stanadrd Fruit de Honduras S.A. 2002

Tratamiento	Concentración (v/v) compost / agua	Aplicación (l/ha)
1. Control	Sin producto	-
2. Compost sin dolomita	1:2	24
3. Compost con dolomita	1:2	24

3.3.2 Diseño experimental

En este experimento se utilizó el diseño de bloques al azar. Se evaluaron tres tratamientos con cinco repeticiones. El área de cada unidad experimental consistió de 10 x 10m², con una población de 20 plantas. Para las submuestras en evaluación de sigatoka se tomaron 6 plantas para evitar efecto de deriva de aplicaciones, para altura y circunferencia se tomaron 10 plantas para aumentar el número de observaciones y para los análisis foliares se tomó una muestra compuesta de 3 plantas por parcela.

3.3.3 Materiales y métodos

El experimento se inició en la semana 32 del año 2002, en microparcels sembradas con plantas de la variedad E Dwarf , recién paridas o a punto de parir y con hijos en pleno crecimiento, a las cuales se dirigió la aplicación y evaluación de los tratamientos. Para evitar interferencias se eliminaron los racimos de las plantas paridas y se dejaron todas las

plantas madres con cuatro hojas, por una semana más para ayudar a la nutrición de los hijos que entrarían en el estudio después de este tiempo se eliminaron las hojas de las madres completamente (Figura 13.a).



Figura 13. Materiales y métodos en evaluación de tratamientos en microparcelas. (a.) Plantas madre e hijos. (b.) Tratamientos. (c.) Agitador de mezcla. (d.) Aplicación con bomba de motor. Standard Fruit de Honduras. 2002

La aplicación de los tratamientos se realizó con ayuda de personal de la Standard Fruit de Honduras S.A. una vez por semana a partir de la semana 32, utilizando bomba de motor de 20 litros (Figura 13.d), tratando de mojar perfectamente la mayor parte de las hojas de todas las plantas de la parcela. Los tratamientos se preparaban utilizando una dilución compost-agua 1:2 (v/v) (Figura 13.b), agitando continuamente la mezcla con un agitador de motor (Figura 13.c) y después colándola dos veces para evitar la obstrucción de los aspersores.

3.3.4 Toma de datos para parámetros de evaluación para Sigatoka Negra

Los datos de Sigatoka se tomaron con ayuda del personal de Standard Fruit de Honduras S.A. una vez por semana desde la semana 32 hasta llegar a semana 40 de 2002. Los parámetros de evaluación para Sigatoka Negra es la que se utiliza en la Standard Fruit de Honduras S.A. y fue la siguiente:

- ◆ **HT** : hojas totales
- ◆ **E** : hoja más vieja libre de estrías
- ◆ **Q<** : hoja más vieja libre de quemaduras menor del 5% (ver etapas 1 y 2 de severidad e incidencia de Sigatoka Negra (Fouré, 1982))
- ◆ **Q>** : hoja más vieja libre de quemaduras mayor del 5% (ver etapas 3-6 de severidad e incidencia de Sigatoka Negra (Fouré, 1982))

3.3.4.1 Variable de promedios por semanas. Se promedió el valor de cada parámetro por semana.

3.3.4.2 Variable de área por día. Se utilizó una fórmula para poder sacar el área por día de hojas totales y hojas más viejas libre de estrías y quemaduras por causa de Sigatoka Negra. La fórmula es la siguiente:

$$\frac{\sum \text{semanas} \left\{ \left[\frac{\bar{x} \text{ sem.1} + \bar{x} \text{ sem.2}}{2} \right] * 7 \right\}}{\text{días}}$$

El promedio de la semana uno más el promedio de la semana dos entre dos, se multiplica por siete representando los siete días de la semana. Se suman estos resultados de las diferencias entre semanas y se divide por el total de días de todas las semanas sumadas.

Para esta variable se evaluó área / día en semanas 32 a 40. También se evaluó la comparación de dos épocas marcadas por el clima dado durante las semanas (Figura 20). Época seca en semanas 32 a 35 y época lluviosa en semanas 36 a 40.

3.3.5 Toma de datos para parámetros agronómicos

Para esta toma de datos se tomaron en cuenta las variables de diferencia entre altura inicial y final, diferencia entre circunferencia inicial y final y los resultados de los análisis foliares.

- ◆ **Altura.** En la semana 32 se tomaron datos pre-tratamiento para altura en los hijos de las plantas existentes en las parcelas tomando como punto máximo donde se forma la V. En la semana 40 se hizo la última medición de altura.
- ◆ **Circunferencia.** En la semana 32 se tomaron datos pre-tratamiento para circunferencia en los hijos de las plantas existentes en las parcelas. Los datos de

circunferencia del pseudotallo fueron medidos a un metro de altura desde el suelo. En la semana 40 se hizo la última medición de circunferencia.

- ♦ **Análisis foliar.** Para determinar si existió un efecto adicional de los nutrientes contenidos en los extractos de compost sobre la concentración de nutrientes en hoja, en la semana 40 se tomaron muestras compuestas de tres plantas del tercio medio de la hoja número 3 de arriba para abajo de la planta. Se tomaron porciones de 10 cm de ancho a cada lado de la vena principal, por tratamiento y por replica y las muestras fueron enviadas para hacer análisis de contenido de elementos al laboratorio Western Hemisphere Analytical Laboratory WHAL en la Ceiba, Honduras.

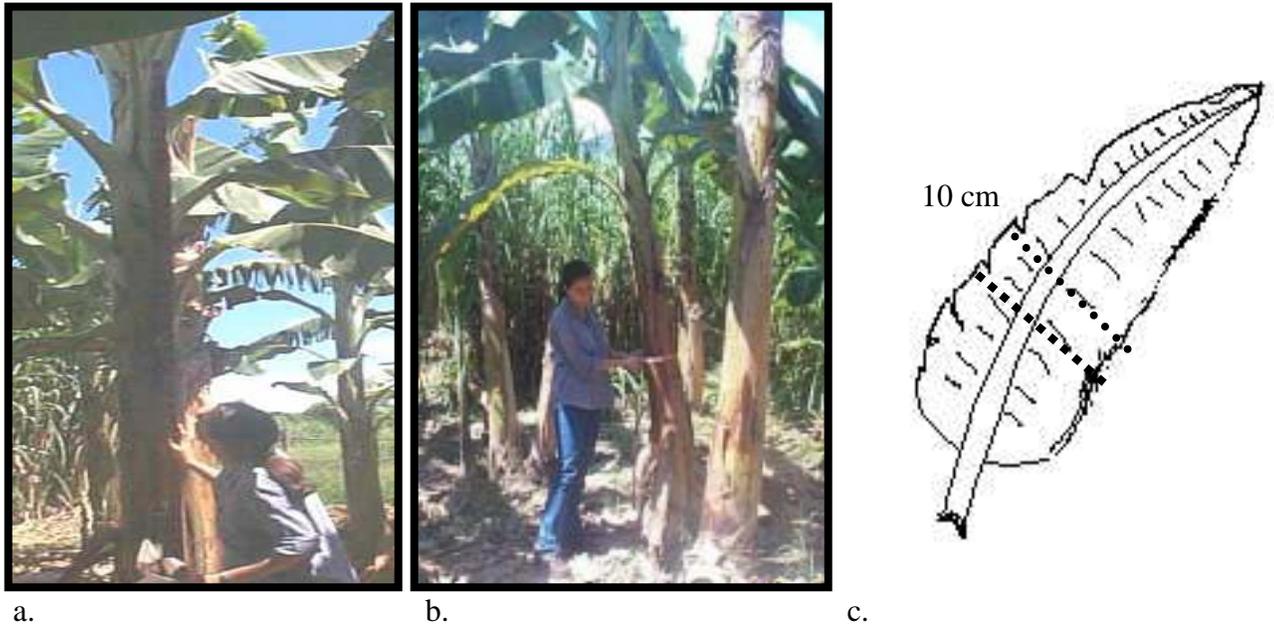


Figura 14. Toma de datos para parámetros agronómicos. (a.) Altura. (b.) Circunferencia. (c.) Análisis foliar. Standard Fruit de Honduras S.A. 2002

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 EVALUACIÓN *IN VITRO* DEL EFECTO DE EXTRACTOS LÍQUIDOS DE COMPOST PARA LA SUPRESIÓN DE SIGATOKA NEGRA

Los resultados del efecto de los diferentes tratamientos sobre la inhibición de la germinación de la espora de *M. fijiensis var. difformis* se presentan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Inhibición de germinación de espora de Sigatoka Negra. Stanadrd Fruit de Honduras S.A. 2002

Tratamiento	Concentración de fungicida	Germinación de esporas (%) ¹	Separación de medias por germinación de esporas ²
1. Control	Sin fungicida	100	c
2. Bravo [®]	1 ppm	100	c
3. Bravo [®]	10 ppm	8	a
4. Bravo [®]	100 ppm	0	a
5. Compost sin dolomita	1:6*	100	c
6. Compost sin dolomita	1:4*	100	c
7. Compost sin dolomita	1:2*	59	b
8. Compost con dolomita	1:6*	100	c
9. Compost con dolomita	1:4*	100	c
10. Compost con dolomita	1:2*	100	c

¹ numero de observaciones por tratamiento =13 por réplica

² Tukey 95.0%

* (v/v) compost / agua destilada

El análisis estadístico de separación de medias por Tukey 95.0% mostró diferencias significativas entre tratamientos indicando que el fungicida Bravo[®] a 100 y 10 ppm suprime totalmente la germinación de esporas. La supresión de la germinación fue mayor en el compost sin dolomita a una concentración 1:2 que en el fungicida Bravo[®] a 1 ppm donde germinaron todas las esporas. Esto demuestra que los extractos de compost a concentraciones 1:2 pueden inhibir la germinación de esporas y que se deberían probar en el campo estas concentraciones.

Los resultados del efecto de los diferentes tratamientos sobre la inhibición del tubo germinativo de *M. fijiensis var. difformis* se presentan en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Inhibición de tubo germinativo en Sigatoka Negra. Stanadrd Fruit de Honduras S.A. 2002

Tratamiento	Concentración de fungicida	Promedio de longitud de tubo germinativo (micras) ¹	Separación de medias por longitud de tubo germinativo ²
1. Control	Sin fungicida	26.0	b c d
2. Bravo [®]	1 ppm	10.0	a b
3. Bravo [®]	10 ppm	0.4	a
4. Bravo [®]	100 ppm	-	-
5. Compost sin dolomita	1:6*	32.0	d
6. Compost sin dolomita	1:4*	32.0	d
7. Compost sin dolomita	1:2*	11.6	a b c
8. Compost con dolomita	1:6*	40.0	d f
9. Compost con dolomita	1:4*	31.0	d e f
10. Compost con dolomita	1:2*	16.0	a b c d e

¹ numero de observaciones por tratamiento =13 por réplica

² Tukey 95.0%

* (v/v) compost / agua destilada

Las concentraciones altas de compost inhibieron de igual forma que el testigo y el control y las concentraciones bajas de compost inhibieron menos que el control, al parecer estimularon el crecimiento del tubo germinativo. Talvez pudo haber sido que en las concentraciones más diluidas no están presentes tantos microorganismos que puedan ayudar a suprimir la Sigatoka Negra. Sin embargo ésta no fue una variable muy confiable para determinar las concentraciones a evaluar en el campo ya que existe mucha variabilidad.

Tomando en cuenta que bajo condiciones de producción orgánica de banano ha sido difícil obtener productos que reduzcan el efecto de la Sigatoka Negra, el resultado del extracto de compost sin dolomita en la concentración 1:2 en la inhibición de crecimiento de espora, sirvió para definir la concentración de compost a evaluarse en el campo con los dos tratamientos de compost.

4.2 APLICACIÓN DE DOS EXTRACTOS LÍQUIDOS DE COMPOST PARA LA SUPRESIÓN DE SIGATOKA NEGRA EN MICROPARCELAS DE BANANO

4.2.1 Evaluación de parámetros para Sigatoka Negra

- ◆ **HT** : hojas totales
- ◆ **E** : hoja más vieja libre de estrías
- ◆ **Q<** : hoja más vieja libre de quemaduras menor del 5% (ver etapas 1 y 2 de severidad e incidencia de Sigatoka Negra (Fouré, 1982))
- ◆ **Q>** : hoja más vieja libre de quemaduras mayor del 5% (ver etapas 3-6 de severidad e incidencia de Sigatoka Negra (Fouré, 1982))

4.2.1.1 Variable de promedios por semanas. Los datos semanales de cada parámetro para las evaluaciones de Sigatoka Negra se promediaron y se pueden ver en el Anexo 4. Estos valores se analizaron estadísticamente por semana pero no se encontraron valores significativos. Los resultados se observan para una mejor interpretación visual en las Figuras 15, 16, 17 y 18.

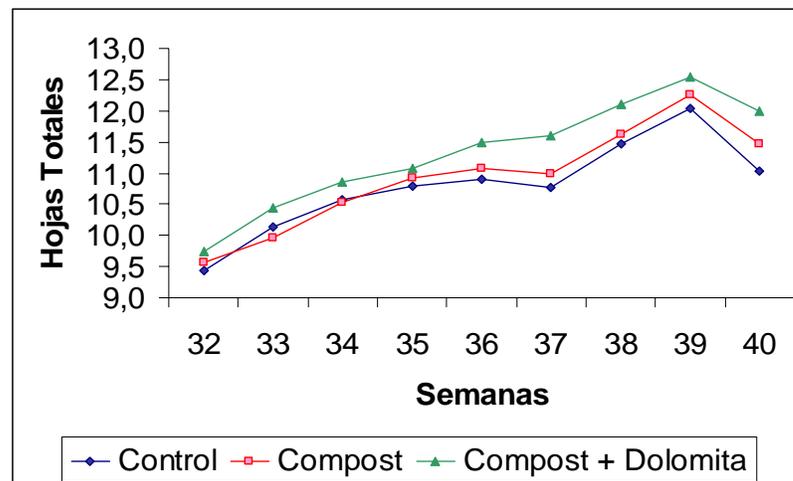


Figura 15. Promedios de hojas totales por semanas.

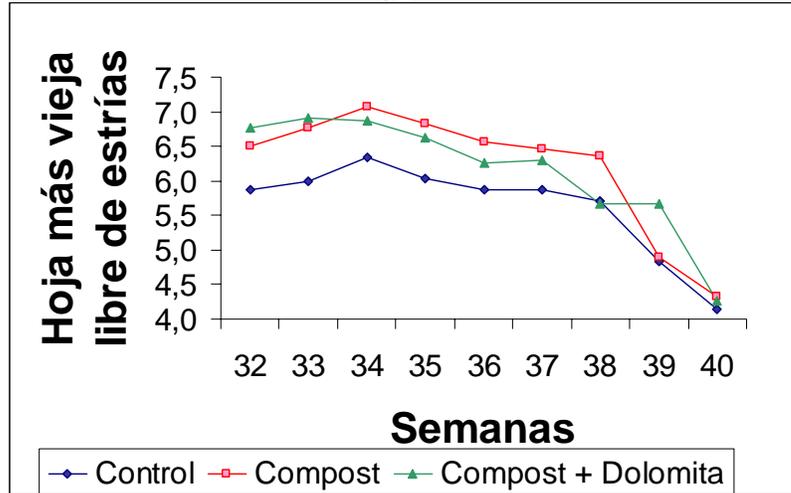


Figura 16. Promedios de hoja más vieja libre de estrías por Semana.

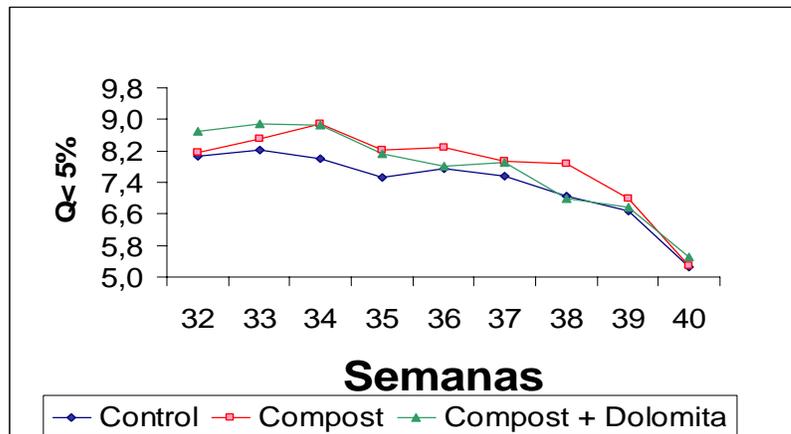


Figura 17. Promedios de hoja más vieja libre de quemaduras menor del 5% ($Q < 5\%$).

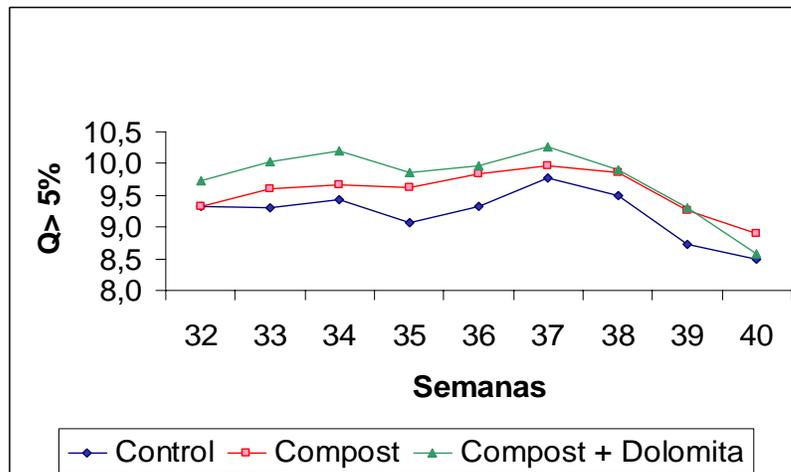


Figura 18. Promedios de hoja más vieja libre de quemaduras mayor del 5% ($Q > 5\%$).

Aunque la diferencia entre tratamientos no fue estadísticamente significativa se observó una tendencia de mayor número de hojas totales y hojas más viejas libres de estrías y quemaduras cuando se aplicaron extractos líquidos de compost, comparado con el testigo absoluto.

4.2.1.2 Variable de área por día. Se utilizó una fórmula para poder sacar el área por día de hojas totales y hojas más viejas libre de estrías y quemaduras por causa de Sigatoka Negra. La fórmula es la siguiente:

$$\underbrace{\sum \text{semanas} \left\{ \left[\frac{\bar{x} \text{ sem.1} + \bar{x} \text{ sem.2}}{2} \right] * 7 \right\}}_{\text{días}}$$

Se hicieron análisis estadísticos con área por día entre semanas 32 a 40, pero no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, para tener una mejor interpretación visual se graficaron los resultados en la Figura 19.

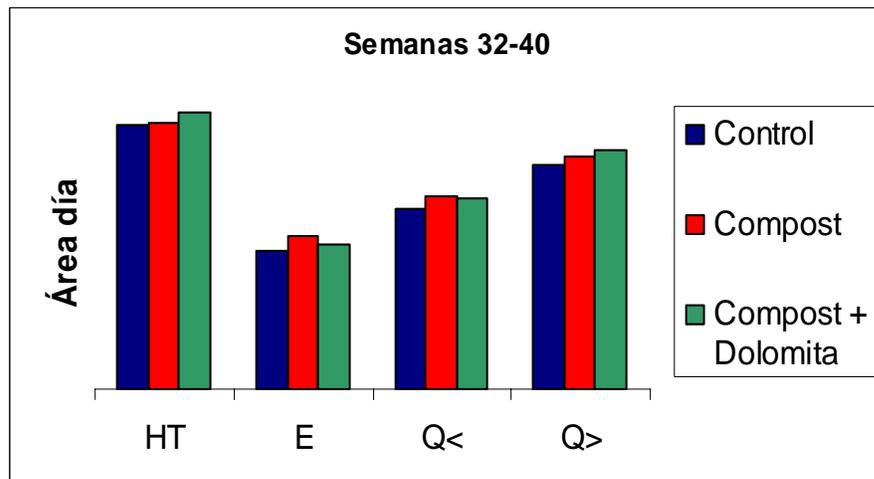


Figura 19. Área por día entre semanas 32 – 40.

Aunque no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos se puede observar que las aplicaciones con extractos de compost mantuvieron relativamente mayor área de hojas libre de estrías y quemaduras.

También se evaluó la comparación de dos épocas marcadas por el clima dado durante las semanas (Figura 20). Época seca en semanas 32 a 35 y época lluviosa en semanas 36 a 40.

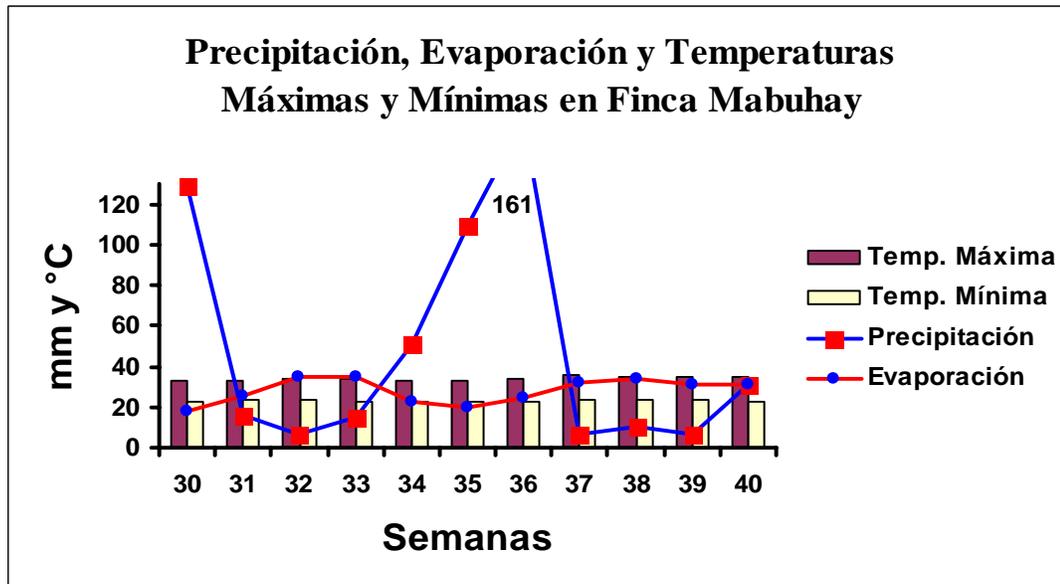


Figura 20. Clima en lugar de ensayo entre semanas 32 – 40. Mabuhay 2002.

La comparación entre las dos épocas se analizó estadísticamente para ver si de esa forma se podían encontrar diferencias significativas entre los tratamientos. Sólo se encontró diferencia significativa en el parámetro de hoja más vieja libre de estrías. (Figuras 21, 22, 23 y 24).

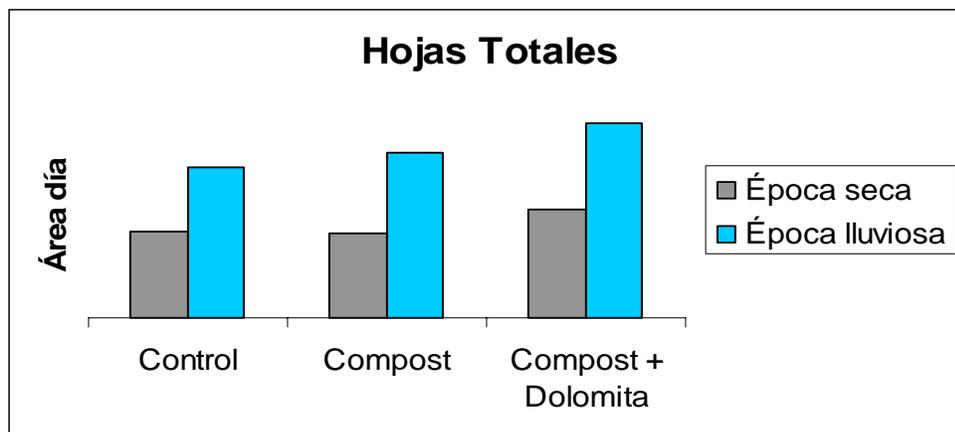


Figura 21. Comparación de área por día entre épocas en hojas totales.

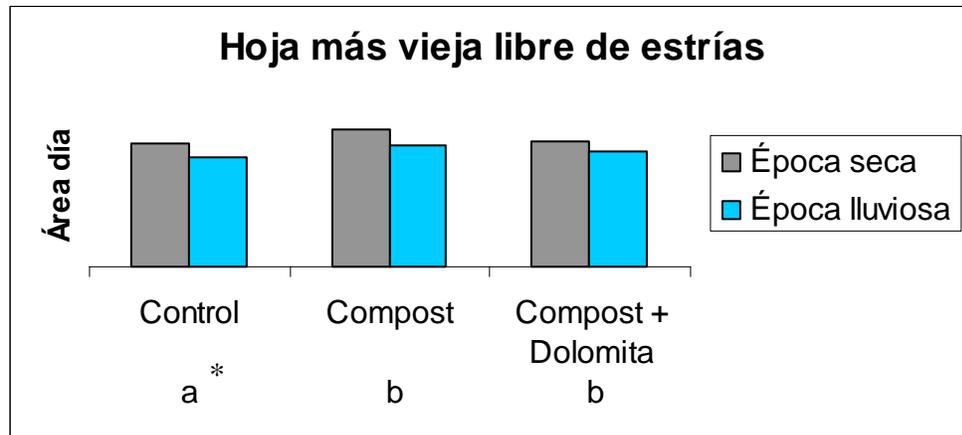


Figura 22. Comparación de área por día entre épocas en hoja más vieja libre de estrías

*Valores con la misma letra no tiene diferencia significativa Tukey $P < 0.05$

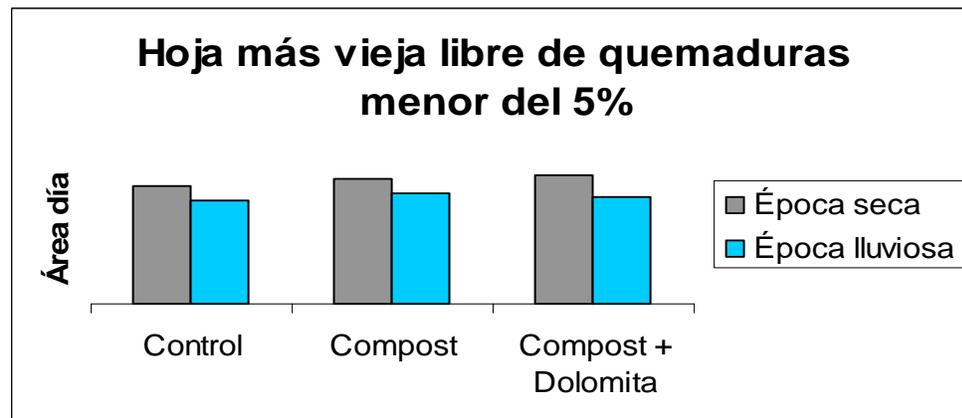


Figura 23. Comparación de área por día entre épocas en hoja más vieja libre de quemaduras menor del 5%

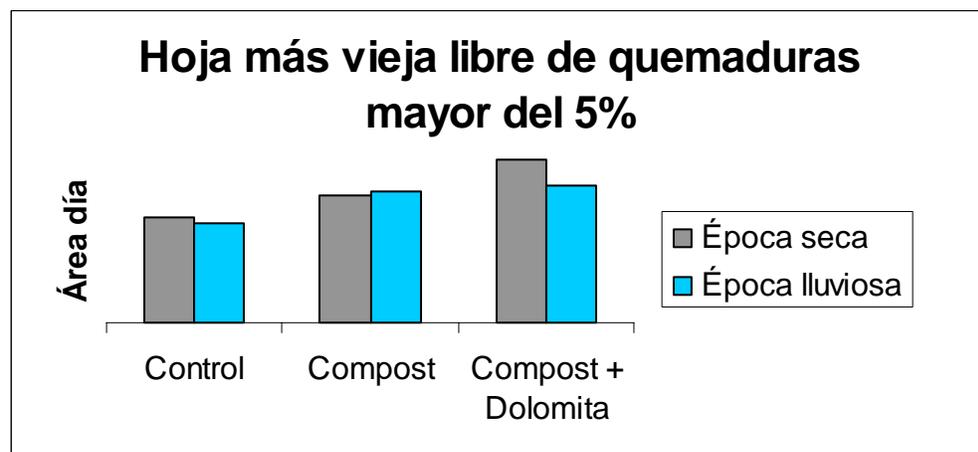


Figura 24. Comparación de área por día entre épocas en hoja más vieja libre de quemaduras mayor del 5%

En la comparación de las dos épocas encontramos que las aplicaciones de extractos de compost funcionan mejor cuando no existen precipitaciones altas. Al existir precipitaciones altas se pueden lavar los extractos de compost y favorece el crecimiento del hongo y dañar más área foliar.

4.2.2 Evaluación de parámetros agronómicos

Se hicieron análisis estadísticos con la toma de datos las variables de diferencia entre altura inicial y final, diferencia entre circunferencia inicial y final y los resultados de los análisis foliares.

4.2.2.1 Altura. Se hizo un análisis de varianza para la variable de altura de la planta pero no se lograron encontrar diferencias significativas entre tratamientos, sin embargo podemos observar en el Cuadro 5 que existen tendencias de mayor ganancia de altura con las aplicaciones de extractos de compost a comparación del control absoluto. Estos resultados indican que el compost actúa como un fertilizante foliar.

Cuadro 5. Análisis de varianza e incremento en altura de planta. Stanadrd Fruit de Honduras S.A. 2002

Tratamiento	Incremento en altura (cm)
1. Control	80.1
2. Compost sin dolomita	84.7
3. Compost con dolomita	91.1
Probabilidad	0.718

4.2.2.2 Circunferencia. Se hizo un análisis de varianza para la variable de circunferencia o vigor de la planta. No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos pero se puede observar una tendencia de mayor vigor (Cuadro 6) con las aplicaciones de extractos de compost a comparación del control absoluto. Estos resultados indican que el compost actúa como un fertilizante foliar.

Cuadro 6. Análisis de varianza e incremento en circunferencia de pseudotallo. Stanadrd Fruit de Honduras S.A. 2002

Tratamiento	Incremento en circunferencia (cm)
1. Control	10.4
2. Compost sin dolomita	12.1
3. Compost con dolomita	13.7
Probabilidad	0.675

4.2.2.3 Análisis foliar. Uno de los beneficios adicionales de aplicaciones foliares continuas de compost se ha relacionado con incremento en las concentraciones de nutrientes en tejido foliar. De acuerdo con los resultados de análisis de laboratorio del compost analizado, éste es una fuente potencial de nutrientes que al ser aplicados semanalmente pueden contribuir a la nutrición de las plantas evaluadas en éste experimento.

Los análisis de laboratorio correspondientes a la muestra del tercio medio de la lámina número tres, (tomada en 3 plantas de cada parcela), se observan en el Cuadro 7, e indican que aun cuando se esperaba que los extractos de compost incrementaran las concentraciones de Ca y Mg, la concentración fue mayor en el tratamiento control excepto para la concentración de Mg en el tratamiento de compost con dolomita que fue 2.6 % más alto. Los resultados indican que en promedio los tratamientos con compost incrementaron las concentraciones de K, Mn y Fe comparado con el control. Es importante anotar que en banano el K está asociado con una mayor resistencia al ataque de las enfermedades y que el Mn es utilizado como parte del ingrediente activo en la formulación de productos protectantes como el Mancozeb.

Cuadro 7. Análisis foliares de cada tratamiento. Stanadrd Fruit de Honduras S.A. 2002

	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Mn	Fe	B	Cu	Na
Unidades	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Control	*	2.46	42.9	8.28	3.1	2.56	16.6	100.8	90.8	22.2	9.6	19.4
Con Dolomita	*	2.42	43.58	7.14	3.18	2.46	16	129.6	104	21	9.4	18
Sin Dolomita	*	2.54	44.38	7.14	3.02	2.58	16.6	104.2	94.8	20	9	21.6

* Estos datos no fueron obtenidos por problemas con el equipo analizador de nitrógeno del laboratorio WHAL.

Se hicieron análisis estadísticos para ver si se encontraban diferencias significativas entre los valores de cada elemento para los tratamientos pero no se encontraron.

5. CONCLUSIONES

- ◆ El compost sin dolomita en dilución 1:2 fue más efectivo en la inhibición de la germinación de esporas que el control, Bravo a (1ppm), y las otras diluciones de compost.
- ◆ Se observó una tendencia de reducir el crecimiento del tubo germinativo en los tratamientos con Bravo[®] y diluciones de compost 1:2 al compararlos con las otras diluciones de compost.
- ◆ Las concentraciones bajas de compost con y sin dolomita (1:4 y 1:6) presentaron un mayor crecimiento del tubo germinativo en vez de inhibirlo.
- ◆ El efecto de tratamiento sobre las variables de control no fue significativo; sin embargo se observó en forma visual una tendencia a mantener una mayor área foliar libre de sigatoka.
- ◆ Los eventos de precipitación alta favorecieron la presión de la Sigatoka Negra, y el bajo control del compost, explicados por el lavado.
- ◆ Al separar las épocas climáticas del ensayo, los tratamientos con compost obtuvieron más hojas libres de estrías de Sigatoka Negra que el control.
- ◆ En los tratamientos con compost se observó una tendencia a mejorar el crecimiento del banano en función de la circunferencia de pseudotallo y la altura; sin embargo, no fue significativo.

6. RECOMENDACIONES

- ◆ Realizar nuevas pruebas de laboratorio *in vitro* con extractos obtenidos de diferentes formulaciones de compost.
- ◆ Utilizar nuevas formulaciones de compost con materiales como corteza de pino, que de acuerdo con la literatura, tengan características supresoras de enfermedades.
- ◆ Determinar el efecto de los tratamientos en el área donde se realizó el experimento sobre el número de hojas a parición y cosecha y el efecto sobre la producción.
- ◆ Repetir el experimento de campo haciendo evaluaciones de siembra hasta cosecha.
- ◆ Para evitar pérdidas por lavado de los extractos aplicados sobre las hojas y probablemente mayor efecto sobre el hongo *M. fijiensis* es necesario evaluar la adición de surfactantes / adherentes naturales permitidos en producción orgánica.

7. BIBLIOGRAFÍA

Autrusa CMC[®] Group. s.f. Compost Soil Humus Management: CMC Controlled Microbial Composting, Toptex Compost Cover. (en línea). Blue Bell, PA, USA. Consultado 9 oct. 2002. Disponible en <http://www.worldanthem.com/cgibin/var/war/autrusa/autrusa.htm>

Agrios, G. 1997. Plant pathology. Fourth edition. Academic Press, U.S.A. 635p.

Baldock, J.; Nelson, P. 2000. Soil organic matter in Handbook of Soil Science. Ed. M.E. Sumner Editor CRC Press. Boca Raton Fla, USA B25-34 p

Buchanan, S.; Moser, P.; Neptun, K. 1994. Composting: Traditional Uses of Compost. (en línea). Virginia, USA. Consultado 9 oct. 2002. Disponible en http://www.cee.vt.edu/program_areas/environmental/teach/gwprimer/group08/intro.html

CORBANA (Corporación Nacional Bananera) s.f. Procedimiento para obtener in vitro la fase asexual de la Sigatoka Negra (*M. fijiensis*, Morelet), preparación del inóculo y técnicas para la inoculación de plantas en invernadero. San José, Costa Rica.

Diver, S. 1998. Compost Teas for Plant Disease Control (en línea). Fayetteville, AR, USA. Consultado el 1 nov. 2002. Disponible en <http://www.attra.org/attra-pub/comptea.html>

Fouré, E. 1982. La maladie des raies noires des bananiers et des plantains (*M. fijiensis* MORELET): Etude comparée des différents symptômes et stades de la maladie au Gabon. (diapositivas). CIRAD. France. 30 diapositivas, color.

Gowen, S. 1995. Bananas and Plantains: Banana diseases. London, UK. Chapman and Hall. 337- 364 p.

Hoitink, H.A.J.; Boehm, M.; Heimlich, J.E. s.f. Controlling the Compost Process: Compost-Amended Potting Mixes. (en línea). Ohio, USA. Consultado 9 oct. 2002. Disponible en <http://ohioline.osu.edu/cd-fact/0160.html>

Hoitink, H.A.J.; Keener, H.M. 1993. Beneficial effects induced by composts. In Science and engineering of composting: design environmental, microbiological and utilization aspects. Renaissance publications. Ohio, USA. p. 601-645.

Hoitink, H.A.J.; Stone, A.G.; Han, D.Y. 1997. Suppression of Plant Diseases by Composts. Ohio, USA. Manuscript No. 79-96.

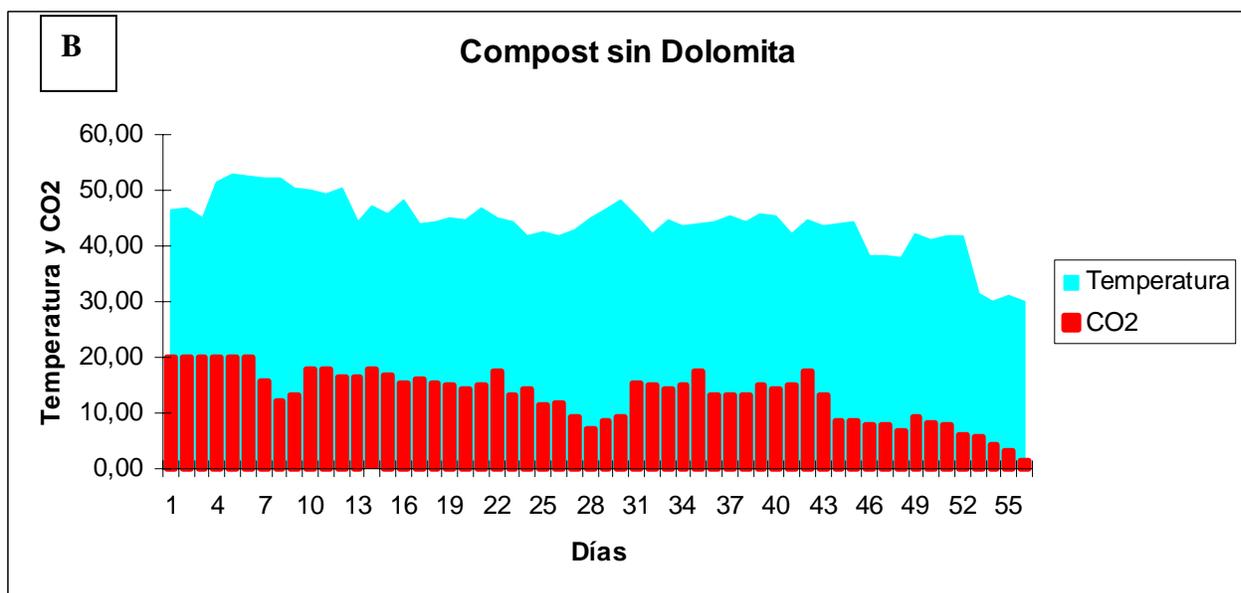
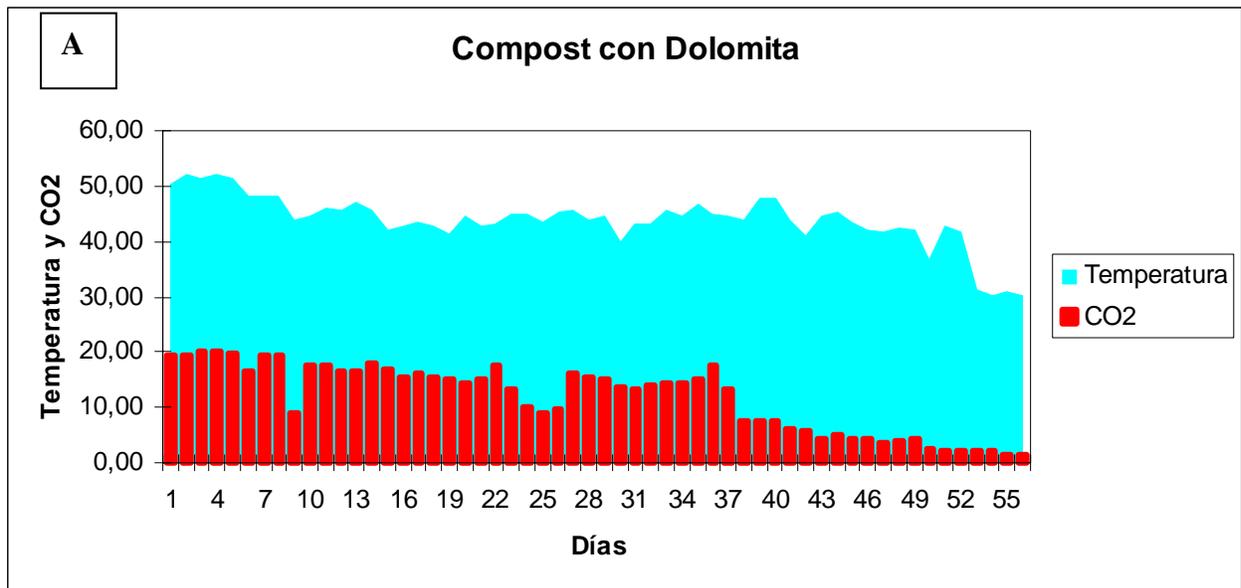
Holderness, M.; Sharrock, M.; Frison, E.; Kairo, M. editores. 2000. Organic banana 2000: Towards an organic banana initiative in the caribbean. Report of the International workshop on the production and marketing of organic bananas by smallholder farmers. International Network for the Improvement of Banana and Plantain. Montpellier, France.

Trautmann, N.; Olynciw, E. 1996. Cornell Composting: Compost Microorganisms. (en línea). New York, USA. Consultado 10 sept. 2002. Disponible en <http://www.cfe.cornell.edu/compost/microorg.html>

Weltzien, H.C. 1991. Biocontrol of foliar fungal diseases with compost extracts. En: Microbial Ecology of Leaves, JH Andrews and S Hirano (eds) Brack Springer Series In Contemporary Bioscience. BSN. p.430-450

8.ANEXOS

Anexo 1. Monitoreo de temperaturas y evolución de CO² de las dos pilas de compost.



Anexo 2. Análisis químicos de compost con y sin dolomita.

	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Mn	Fe	B	Cu	Na
Unidades	G/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Con Dolomita	12.9	10.00	35.50	80.20	27.00	3.70	218	962	18533	77	42	673
Sin Dolomita	15.3	17.70	39.00	69.20	9.00	7.20	441	868	9190	48	55	3284

	PH	ms/cm. CE	% Material Orgánico	% Humedad Peso Húmedo	% Humedad Peso Seco	%C	%N	RelaciónC /N
Con Dolomita	7.96	28.40	21.36	33.60	50.60	12.39	1.29	9.60
Sin Dolomita	8.45	21.85	53.34	50.28	101.13	30.94	1.53	20.22

Anexo 3. Mapa de microparcels.

**DISTRIBUCION DE MICROPARCELAS
MABUHAY (BARIMASA)**



Anexo 4. Promedios semanales de cada parámetro en Sigatoka Negra.

	Hojas Totales (HT)									
Semanas	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Control	9,4	10,1	10,6	10,8	10,9	10,8	11,5	12,0	11,0	
Compost	9,6	10,0	10,5	10,9	11,1	11,0	11,6	12,3	11,5	
Compost + Dolomita	9,7	10,4	10,9	11,1	11,5	11,6	12,1	12,5	12,0	
	Hoja más vieja libre de estrías (E)									
Semanas	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Control	5,9	6,0	6,3	6,0	5,9	5,9	5,7	4,8	4,1	
Compost	6,5	6,8	7,1	6,8	6,6	6,5	6,4	4,9	4,3	
Compost + Dolomita	6,8	6,9	6,9	6,6	6,3	6,3	5,7	5,7	4,3	
	Hoja más vieja libre de quemaduras menor del 5 % (Q<)									
Semanas	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Control	8,1	8,2	8,0	7,5	7,7	7,6	7,1	6,7	5,3	
Compost	8,2	8,5	8,9	8,2	8,3	7,9	7,9	7,0	5,3	
Compost + Dolomita	8,7	8,9	8,9	8,1	7,8	7,9	7,0	6,8	5,5	
	Hoja más vieja libre de quemaduras mayor del 5% (Q>)									
Semanas	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Control	9,3	9,3	9,4	9,1	9,3	9,8	9,5	8,7	8,5	
Compost	9,3	9,6	9,7	9,6	9,8	10,0	9,9	9,3	8,9	
Compost + Dolomita	9,7	10,0	10,2	9,9	10,0	10,3	9,9	9,3	8,6	