

**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
CATIE**

**PROGRAMA DE EDUCACIÓN PARA EL DESARROLLO Y LA CONSERVACIÓN
ESCUELA DE POSGRADO**

**DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE LIXIVIADOS DE COMPOST Y LOMBRICOMPOST
PARA EL MANEJO DE SIGATOKA NEGRA (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet),
EN PLÁTANO**

**Tesis sometida a la consideración de la Escuela de Posgraduados, Programa de Educación para
el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza,
como requisito parcial para optar por el grado de:**

Magíster Scientiae

Por:

Erick Santiago Larco Reyes

Turrialba, Costa Rica

2004

Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por el Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del Estudiante como requisito parcial para optar por el grado de:

MAGISTER SCIENTIAE

FIRMANTES:

Alba Stella Riveros, Ph.D.
Consejero Principal.

Vera Sánchez, Ph.D.
Miembro Comité Consejero

Gabriela Soto, M.Sc.
Miembro Comité Consejero

Franklin E. Rosales, Ph.D.
Miembro Comité Consejero

Luis E. Pocasangre, Ph.D.
Miembro Comité Consejero

Galileo Rivas, Ph.D.
Miembro Comité Consejero

Ramiro Velastegui, Ph.D.

Glenn Galloway, Ph.D.
**Director Programa de Educación y
Decano de la Escuela de Posgrado**

Erico Santiago Larco Reyes
Candidato

DEDICATORIA

A Dios por la oportunidad que me dio para realizar mis estudios de posgrado
A mis padres por ser ejemplo de superación, dedicación y honestidad en todo momento
A mis hermanos por todo su apoyo dado durante mi ausencia
A toda mi familia y amigos para quienes siempre estuve presente en sus oraciones
A mi país, al que nunca cambiaré

AGRADECIMIENTOS

Al Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) por la oportunidad que me dieron para estudiar esta maestría y el apoyo para terminar con todo éxito el trabajo de investigación.

A mis padres, hermanos, familiares y amigos quienes desde un inicio apoyaron mis sueños económicamente y emocionalmente para la feliz terminación de esta Maestría.

A la familia Cifuentes, en especial a Rosita Jara por toda su ayuda para que mi permanencia en Costa Rica sea más grata y por haber sido como mi madre en estos dos años.

A la Dra. Alba Stella Riveros por toda sus enseñanzas, acertada dirección y su permanente apoyo y confianza en la ejecución de la tesis.

A la Dra. Vera Sánchez y al Dr. Galileo Rivas por todo su apoyo, consejos y amistad dadas en la ejecución de la tesis y finalización de mi maestría.

A M.Sc. Gabriela Soto, al Dr. Franklin E. Rosales, al Dr. Luis E. Pocasangre y al Dr. Ramiro Velasteguí por su atención, observaciones y recomendaciones constantes en esta investigación.

Al Lic. Gustavo López por su valiosa colaboración en el análisis estadístico de la información de este estudio.

A Diana Polanco por ser mi amiga, consejera y confidente en el trabajo y en CATIE.

A Carlos y a Gerardo Ramírez por ser dos amigos incondicionales y un gran apoyo en el trabajo de campo.

A M.Sc. Elias de Melo y al Ing. Manuel Gómez por su ayuda y facilidades dadas para la instalación del proyecto de lombricompost y compost en el sector de Cabras en CATIE.

A la Dra. Lidieth Uribe y al CONICIT por su colaboración en la realización de los análisis de inocuidad de los lixiviados de compost y lombricompost evaluados en la tesis.

A los profesores de maestría por sus enseñanzas y tiempos ofrecidos.

A todos mis amigos y compañeros de maestría por compartir esta experiencia y aprender de cada uno de ellos.

A todas las personas que de una u otra manera hicieron posible con su apoyo y colaboración la realización del presente trabajo.

A todos ellos UN DIOS SE LOS PAGUE.

INDICE

	Página
Aprobación	ii
Dedicatoria	iii
Agradecimientos	iv
Índice	v
Resumen	viii
Summary	ix
Lista de figuras	x
Lista de cuadros	xi
Lista de anexos	xii
1. Introducción general	1
2. Objetivos	2
Objetivo general	2
Objetivos específicos	3
3. Hipótesis	3
4. Revisión de literatura	3
4.1. Agricultura orgánica	3
4.1.1. Productos utilizados para la elaboración de abonos orgánicos y sus aplicaciones para el control de enfermedades agrícolas.	4
4.1.2. Métodos de elaboración de abonos orgánicos	4
4.1.3. Lixiviados de compost y lombricompost	5
4.2. Aspectos generales del cultivo del plátano	6
4.3. Sigatoka negra	7
4.3.1. Distribución geográfica	7
4.3.2. Biología del patógeno y síntomas de la enfermedad	8
4.3.3. Ciclo de vida	9
4.3.4. Estructura genética de poblaciones de <i>Mycosphaerella fijiensis</i>	9
4.3.5. Manejo de la enfermedad	10
5. Capítulo 1. Lixiviado de compost y lombricompost: una metodología para su fabricación Metodología para la obtención de lixiviados de compost y lombricompost para el control de enfermedades	11
1. Introducción	12

2.	Revisión literatura	
2.1	Materia orgánica	13
2.2	Compostaje	13
2.3	Materiales utilizados en la producción de compost	16
2.4	Lombricompost o vermicompost	16
2.5	Lombriz de tierra	17
2.5.1	Trastornos fisiológicos de la lombriz de tierra	18
2.5.2	Enemigos naturales	18
2.6	Desechos utilizados en el proceso de elaboración de compost y lombricompost.	18
3	Materiales y métodos	19
3.1	Localización del estudio	19
3.2	Elaboración de compost de broza de café y estiércol vacuno	20
3.3	Elaboración de lombricompost de broza de café, estiércol vacuno y desechos de banano y plátano	20
3.4	Preparación de lixiviados	21
3.5	Análisis físico-químico e inocuidad de los lixiviados de compost y lombricompost	22
4	Resultados y discusión	23
4.1.	Análisis físico-químico e inocuidad	25
5.	Conclusiones y perspectivas	26
6.	Bibliografía	27
6.	Capítulo 2. Nuevas opciones al manejo de la Sigatoka negra	
	Lixiviados de compost y lombricompost, una alternativa para el control biológico de Sigatoka negra en plátano en condiciones de invernadero	30
	1.Introducción	31
	2. Materiales y métodos	32
	2.1. Localización	32
	2.2. Material vegetal	32
	2.3. Obtención del lixiviado de compost	32
	2.4. Obtención del lixiviado de lombricompost	33
	2.5. Evaluación de los lixiviados de compost y lombricompost a nivel pre-sintomático	33
	2.6. Evaluación de los lixiviados de compost y lombricompost a nivel post-sintomático	34
	2.7. Análisis epidemiológico del área bajo la curva de progreso de la lesión (ABCPL)	34
	2.8. Análisis epidemiológico del área bajo la curva de progreso de la lesión relativa	

(ABCPL_R)	35
2.9. Tasa de crecimiento del área de la lesión y T ₅₀	35
3. Resultados y discusión	35
3.1. Pre-sintomático	35
3.3. Post-sintomático	37
4. Conclusiones y perspectivas	39
5. Bibliografía	40
7. Capítulo 3. Nuevas opciones para el manejo de la Sigatoka negra	
Eficacia de lixiviados de compost y lombricompost en la supresividad de la Sigatoka negra	
en plantaciones de plátano en condiciones de campo	42
1. Introducción	43
2. Materiales y métodos	44
2.1. Localización del estudio	44
2.2. Material vegetal	44
2.3. Bioproductos alternativos para el manejo de la Sigatoka negra	45
2.4. Ensayo 1	45
2.5. Ensayo 2	46
2.6. Análisis epidemiológico	46
2.6.1. Análisis del área bajo la curva de progreso de la lesión (ABCPL)	46
2.6.2. Análisis del área bajo la curva de progreso de la lesión relativa (ABCPL_R)	46
2.6.3. Determinación de la tasa de crecimiento del área de lesión y T ₅₀ .	47
3. Resultados y discusiones	47
3.1. Ensayo 1: utilización de lixiviados de compost y lombricompost	
a nivel Pré-sintomático para el control de Sigatoka negra en campo	47
3.2. Ensayo 2: utilización de lixiviados de compost y lombricompost	
a nivel Post-sintomático para el control de Sigatoka negra en campo	49
4. Conclusiones y perspectivas	51
5. Bibliografía	51
8. Discusión general	53
9. Conclusiones generales	54
10. Recomendaciones generales	55
11. Referencias bibliográficas	56
12. Anexos	63

LARCO REYES, E. 2004. DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE LIXIVIADOS DE COMPOST Y LOMBRICOMPOST PARA EL MANEJO DE SIGATOKA NEGRA (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet), EN PLATANO.

Resumen

La Sigatoka negra es considerada la enfermedad foliar más destructiva que repercute negativamente en la producción de banano y plátano; sus pérdidas oscilan entre 40 a 80%. El uso inadecuado e intensivo de productos químicos, ha sido la práctica común para el manejo de la enfermedad; esto ha desarrollado resistencia al patógeno, a diversas moléculas de fungicidas. Actualmente, se están explorando alternativas de control económicas, menos tóxicas para el ambiente y la salud humana. La utilización de los lixiviados de compost y lombricompost es una de estas herramientas aplicadas al manejo de enfermedades a nivel agrícola. El objetivo del presente trabajo fue el desarrollo y evaluación de lixiviados provenientes de la descomposición de desechos de broza de café, banano-plátano y estiércol vacuno, los cuales tuvieron un proceso de maduración previo a la obtención del producto final, el cual fue sometido a fermentación anaeróbica durante 14 días. Este producto final fermentado y llevado a diluciones fue utilizado para medir la disminución en la severidad de la Sigatoka negra. La experimentación se realizó tanto en condiciones de invernadero como en campo, aplicados en forma preventiva y curativa. Como controles se utilizaron: Propiconazole a 4000 ppm, Clorotalonil a 30000 ppm, adherente NP7 y agua. El ensayo bajo condiciones de invernadero, reveló que los lixiviados preparados a partir de broza de café y estiércol vacuno tanto para lombricompost como para el compost, retardaron la enfermedad entre 6 y 18 días, comparados con los testigos. Mientras que, en campo, se observó que los lixiviados de lombricompost de banano y plátano, broza de café, estiércol vacuno y el lixiviado de compost de estiércol vacuno retardaron la enfermedad entre 8 y 17 días respecto a los testigos.

Palabras claves: *Mycosphaerella fijiensis*, Musa, supresividad de enfermedades, control biológico, clorotalonil, propiconazole, broza de café, estiércol vacuno, desechos de banano y plátano.

LARCO REYES, E. 2004. DEVELOPMENT AND EVALUATION OF COMPOST AND LOMBRICOMPOST LEACHATES TO CONTROL BLACK SIGATOKA (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet), IN PLANTAIN.

Summary

Black Sigatoka is considered the most destructive foliar disease affecting negatively plantain and banana production. Its losses range between 40 to 80%. Inadequate application of chemical products has been a common practice to control this disease causing the pathogen to developed, through the years, resistance to diverse fungicide molecules. Currently, other control alternatives known to be economic, less toxic to human health and to the environment are being explored. Utilization of compost and lombricompost leachates is a tool applied to agriculture diseases; its success has been documented by a reduction of diseases incidence. The purpose of this research was to develop and evaluate leachates from coffee brosse, banana and plantain decomposed wastes and livestock manure. These elements went through a maturation process before obtaining the final product which was aneorobically fermented for 14 days, expecting to observe a reduction of black Sigatoka severity. This evaluation was conducted under greenhouse and field conditions, applied in a preventive and curative way. Following components were used as controls: Propiconazole (4000 ppm), Chlorothalonil (30000 ppm), adherent (NP7) and water. It was observed that leachates from coffee wastes lombricompost and livestock manure as well as coffee wastes and livestock manure composts delayed the disease between 6 to 18 days compared to the greenhouse control. In the field, it was observed that leachates from banana and plantain wastes, coffee brosse, livestock manure and the manure compost leachate delayed the disease between 8 to 17 days compared to the controls.

Keywords: *Mycosphaerella fijiensis*, *Musa*, disease suppressiveness, biologic control, chlorothalonil, propiconazole, coffee brosse, livestock manure, banana and plantain wastes.

Listas de figuras

Metodología para la obtención de lixiviados de compost y lombricompost para el control de enfermedades

- Figura 1. Evolución de la temperatura e interacción con microorganismos frecuentemente reportados en cada estado de evolución hasta maduración en el proceso de compostaje. 13
- Figura 2. Ciclo biológico de *Eisenia foetida*. 17
- Figura 3. Comportamiento de la temperatura diaria en el proceso de composteo de broza de café. 23
- Figura 4. Comportamiento de la temperatura diaria en el proceso de composteo de estiércol vacuno. 23

Lixiviados de compost y lombricompost, una alternativa para el control biológico de la Sigatoka negra en plátano en condiciones de invernadero

- Figura 5. Área bajo la curva del progreso de la lesión para lixiviados de lombricompost aplicados a nivel post-sintomático para el control de Sigatoka negra en invernadero. 37
- Figura 6. Área bajo la curva del progreso de la lesión para lixiviados de compost aplicados a nivel post-sintomático para el control de Sigatoka negra en invernadero. 38

Eficacia de lixiviados de compost y lombricompost en la supresividad de la Sigatoka negra en plantaciones de plátano en condiciones de campo

- Figura 7. Área de foliar lesionada (mm^2) debido a Sigatoka negra en los tratamientos lixiviados de compost y lombricompost, en campo. 47
- Figura 8. Unidades de enfermedad debidas a Sigatoka negra en los tratamientos lixiviados de compost y lombricompost a nivel pre-sintomático, en campo. 48
- Figura 9. Área foliar lesionada (mm^2) en los tratamientos lixiviados de compost y lombricompost a nivel post-sintomático para el control de Sigatoka negra en campo. 50

Lista de Cuadros

Metodología para la obtención de lixiviados de compost y lombricompost para el control de enfermedades

Cuadro 1.	Temperaturas y tiempos requeridos para la eliminación de microorganismos patógenos para la salud humana.	15
Cuadro 2.	Porcentaje de N, P, K y la relación C:N presente en los principales materiales utilizados para la producción de compost y lombricompost.	16
Cuadro 3.	Porcentaje de nutrientes existentes en los materiales al final el proceso de compostaje.	25
Cuadro 4.	Cantidad de biomasa microbial y CO ₂ existente en los materiales al final del proceso de compostaje.	25
Cuadro 5.	Análisis de inocuidad de los lixiviados de compost y lombricompost con 14 días de fermentación.	26

Lixiviados de compost y lombricompost, una alternativa para el control biológico de la Sigatoka negra en plátano en condiciones de invernadero

Cuadro 6.	Conidias germinadas de <i>Mycosphaerella fijiensis</i> y estomas penetrados observados en microscopio de luz a 10x a los 7, 9 y 11 días después de la inoculación en plantas de plátano.	36
Cuadro 7.	Parámetros epidemiológicos de la Sigatoka negra en los tratamientos lixiviados de compost y lombricompost en la etapa pre-sintomático, en invernadero.	36
Cuadro 8.	Parámetros epidemiológicos de la Sigatoka negra en los tratamientos lixiviados de lombricompost en la etapa post-sintomático, en invernadero.	38
Cuadro 9.	Parámetros epidemiológicos de la Sigatoka negra en los tratamientos lixiviados de compost en la etapa post-sintomático, en invernadero.	39

Eficacia de lixiviados de compost y lombricompost en la supresividad de la Sigatoka negra en plantaciones de plátano en condiciones de campo

Cuadro 10.	Parámetros epidemiológicos de la Sigatoka negra en los tratamientos lixiviados de compost y lombricompost en la etapa pre-sintomática, en campo.	49
Cuadro 11.	Parámetros epidemiológicos de la Sigatoka negra en los tratamientos lixiviados de compost y lombricompost en la etapa post-sintomática., en campo.	50

Lista de Anexos

Anexos

Anexo 1. Lixiviados de compost y lombricompost, una alternativa para el control biológico de la Sigatoka negra en plátano.	63
Anexo 2. Análisis de varianza para los lixiviados de compost y lombricompost utilizados en la etapa pre-sintomática para el control de Sigatoka negra en campo.	73
Anexo 3. Prueba de Duncan para comparación de medias de los lixiviados de compost y lombricompost utilizados en la etapa pre-sintomática para el control de Sigatoka negra en campo.	73
Anexo 4. Análisis de varianza para los lixiviados de compost y lombricompost utilizados en la etapa post-sintomática para el control de Sigatoka negra en campo.	74
Anexo 5. Prueba de Duncan para comparación de medias de los lixiviados de compost y lombricompost en la etapa post-sintomática para el control de Sigatoka negra en campo.	74
Anexo 6. Análisis de la varianza de los lixiviados de compost y lombricompost en la etapa pre-sintomática para el control de Sigatoka negra en invernadero.	75
Anexo 7. Prueba de Duncan para comparaciones de medias de los lixiviados de compost y lombricompost en la etapa pre-sintomática para el control de Sigatoka negra en invernadero.	75
Anexo 8. Análisis de varianza de los lixiviados de lombricompost en la etapa post-sintomática para el control de Sigatoka negra en invernadero.	76
Anexo 9. Prueba de Duncan para comparación de medias de los lixiviados de lombricompost en la etapa post-sintomática para el control de Sigatoka negra en invernadero.	76
Anexo 10. Análisis de varianza de los lixiviados de compost en la etapa pre-sintomática para el control de Sigatoka negra en invernadero.	77
Anexo 11. Prueba de Duncan para comparación de medias de los lixiviados de compost en la etapa pre-sintomática para el control de Sigatoka negra en invernadero.	77

DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE LIXIVIADOS DE COMPOST Y LOMBRICOMPOST PARA EL MANEJO DE SIGATOKA NEGRA (*Mycosphaerella fijiensis*), EN PLÁTANO

1. Introducción general

El plátano es cultivado por pequeños y medianos agricultores del trópico húmedo, para quienes el 99% de la producción es utilizada para el mercado local, proporcionando una fuente valiosa de ingresos para la economía familiar. Es un alimento básico con un alto rendimiento calórico y de gran importancia en la dieta alimenticia de las personas.

En Ecuador, es un alimento básico para la población del litoral ecuatoriano, donde el cultivo presenta condiciones adecuadas para su cultivo. Las variedades “Dominico”, “Barraganete”, “Dominico Hartón” y el “Maqueño”, son las más cultivadas. El plátano se produce con diferentes niveles de tecnificación que van desde el nivel tecnificado, pasando por el semitecnificado hasta el sistema de producción tradicional. La principal forma de consumo es como fruta fresca aunque también se industrializa plátano para la elaboración de harina y tostones o chifles (Tazán 2002).

Entre los principales problemas fitosanitarios que enfrenta este cultivo, podemos mencionar los hongos, nematodos y virus. En el caso de los hongos, la Sigatoka negra, causada por el ascomiceto *Mycosphaerella fijiensis* Morelet es considerada la enfermedad foliar más limitante y destructiva a nivel mundial. Esta enfermedad se caracteriza por una destrucción de gran parte del área foliar funcional de la planta, lo que conlleva a la reducción de la fotosíntesis impidiendo que la planta no llegue a la floración con buen desarrollo y número de hojas. Lo anterior afecta el llenado de la fruta, dando como resultado racimos con bajo número de manos y dedos de calibre y peso muy por debajo de los estándares de comercialización (Belalcázar *et al.* 1998).

En la actualidad se considera que esta enfermedad, se ha diseminado a lo largo de las regiones tropicales y subtropicales de América Latina, Caribe y África donde ha desarrollado mayor virulencia, posiblemente debido cambios genéticos en el patógeno como respuesta a mutaciones acumuladas o vía recombinación, que han, expresado gradualmente resistencia a los fungicidas comerciales ampliamente utilizados (Marín *et al.* 2003).

La aplicación de fungicidas sintéticos (sistémicos y protectantes), continúa siendo la estrategia de manejo más eficiente especialmente para medianos y grandes productores. El mejoramiento genético de este cultivo ha sido difícil, dada las características de ploidia y alta esterilidad de los triploides susceptibles.

Actualmente, se está evaluando en campo progenies de híbridos tetraploides resistentes a esta enfermedad, en diferentes áreas agroecológicas y partes del mundo (Rosales y Pocasangre 2002; Rowe and Rosales 2000).

El control biológico de esta enfermedad mediante el uso de microorganismos quitinolíticos y glucaloníticos antagonistas (*Serratia marcescens* y *Bacillus sp.* entre otros), ha revelado resultados favorables, bajo condiciones controladas de invernadero, casas mallas y parcelas demostrativas (Arango 2000). Asimismo, estudios de inductores de resistencia tanto endógenos como exógenos, han mostrado resultados prometedores para el control de Sigatoka negra. El aislamiento de inductores exógenos de origen biótico liberados en los filtrados de esporas de *M. fijiensis* en los filtrados ha evidenciado respuesta de defensa diferencial en plantas de banano resistentes respecto a los clones susceptibles (Riveros y Lepoivre 1998; Riveros 1995) y más recientemente, estos filtrados han demostrado efecto antifúngico (Riveros *et al.* 2003).

Otras estrategias de manejo de la enfermedad como el uso de lixiviados proveniente de la descomposición de desechos de subproductos de cosechas (broza de café, caña de azúcar, hojas, ráquis y frutos de banano; así como, el uso de estiércoles de animales, etc.) han permitido el control de enfermedades en varios cultivos (Hoitink *et al.* 1997a). En el caso de la Sigatoka negra, García y Apezteguia (2001), observaron resultados positivos en la disminución de la incidencia de esta enfermedad en plantaciones de banano bajo condiciones de invernadero.

Se considera que el desarrollo de bioproductos “promisorios” pueda ser una estrategia novedosa, considerada dentro de las tecnologías limpias, que permitiría a mediano plazo reducir el uso de agroquímicos rutinariamente utilizados para el control de la Sigatoka negra. Además, se busca desarrollar tecnologías que sean de fácil aplicación, para el pequeño agricultor de plátano y de esta forma, contribuir al mejoramiento de la producción de este cultivo en América Latina.

2. Objetivos

Objetivo General

Desarrollar y evaluar lixiviados de compost y lombricompost que permitan reducir o eliminar la utilización de fungicidas químicos para el control de Sigatoka negra en el cultivo del plátano.

Objetivos Específicos

- a. Adaptar metodologías para la obtención de lixiviados de compost y lombricompost a partir del compostaje de residuos de cosecha y estiércol vacuno para determinar su efecto antifúngico contra *Sigatoka* negra.
- b. Evaluar en condiciones controladas de invernadero el efecto antifúngico pre y post-sintomático de los lixiviados obtenidos, sobre la severidad de la *Sigatoka* negra, en plantas jóvenes de plátano susceptibles.
- c. Evaluar en campo, el efecto antifúngico pre y post-sintomático de los lixiviados obtenidos sobre la incidencia y severidad de la *Sigatoka* negra, en plantas de plátano susceptibles.
- d. Estudiar la composición química, físico-química, microbial e inocuidad de los lixiviados de compost y lombricompost evaluados.

3. Hipótesis

- a. La evaluación pre-sintomática de los lixiviados de compost y lombricompost, muestran un efecto significativo en la reducción de la severidad de la *Sigatoka* negra en invernadero y en campo.
- b. Los lixiviados de compost y lombricompost, al ser aplicados post-sintomáticamente, muestran un efecto significativo en la reducción de la severidad de la *Sigatoka* negra en invernadero y en campo.
- c. Los lixiviados de compost y lombricompost obtenidos son inocuos para la salud humana.

4. Revisión de literatura

4.1. Agricultura orgánica

La agricultura orgánica es un sistema productivo alternativo al uso irracional y a la dependencia excesiva de insumos externos sintéticos en los agroecosistemas (Gliessman 2002). Este tipo de agricultura propone: (a) remplazar las fuentes externas tales como sustancias químicas sintéticas y combustibles con productos o desechos del mismo ecosistema; (b) la utilización del control biológico de plagas y (c) la utilización del nitrógeno fijado biológicamente y otros nutrientes que son liberados a partir de la elaboración de abonos orgánicos (Altieri 1999). En este grupo de abonos, se mencionan: bocashi, compost y lombricompost. Su obtención es relativamente fácil con el empleo de materiales de desecho como: gallinaza, cascarilla de arroz, melaza de caña, estiércol de animales y residuos orgánicos de cosechas o provenientes de procesos industriales, entre otros.

4.1.1. Productos utilizados para la elaboración de abonos orgánicos y su aplicación para el control de enfermedades agrícolas.

Estiércoles: los estiércoles se los puede considerar como un abono universal, la cantidad de diferentes sustancias varia según el tipo de animal que produce las excretas, de su dieta y del manejo utilizado (estabulado o pastoreo). En general, son abonos ricos en nitrógeno con la propiedad de estimular y mejorar la actividad microbiana del suelo. Algunos estiércoles contienen mayor cantidad de nitrógeno que otros, lo cual permite clasificarlos. El estiércol vacuno ocupa el primer lugar, seguido del de cabra, caballo y conejo (Soto 2002). Estos pueden ser aplicados a los cultivos en forma directa, por aspersión al follaje o granular en el suelo, se conoce su actividad como biofertilizantes y en algunos casos como regulador de crecimiento, así como con potencial antifúngico, con buenos resultados sobre el control de mildiu polvoso en uvas (Diver 2002a).

Broza de café: la pulpa y el mucílago constituyen los subproductos más abundantes del proceso de beneficiado húmedo del café y representa alrededor del 60% del peso del fruto fresco. La pulpa de café, que frecuentemente se desperdicia en las fincas y se convierte en un contaminante del agua de los ríos y quebradas, es un excelente recurso para elaborar abono orgánico (Izquierdo 1996).

Banano y plátano: la cantidad de desechos (raquis, hojas, pseudotallos, cormos) generada en cada cosecha de este cultivo es alto. Estos materiales son un recurso ideal para ser reciclado, ya que la cantidad de nutrientes y minerales que liberan son variados y elevados, en especial los niveles de potasio. Otro aspecto importante es la cantidad de agua presente en estos residuos, la cual facilita su rápida descomposición y transformación en materia orgánica (Mojica 1994).

4.1.2. Método de elaboración de abonos orgánicos

Existen varios métodos para la elaboración de abonos orgánicos. Sin embargo se recomienda seguir metodologías y cuidados especiales para no afectar la actividad microbiana en la descomposición. Durante este proceso se debe tomar en cuenta: (a) la naturaleza de los materiales, (b) la relación C:N y (c) las condiciones físico químicas (temperatura, humedad, pH entre otras), para lograr las condiciones favorables a poblaciones microbianas benéficas (Soto 2002).

Compostaje: se realiza mediante el uso de montículos formado por capas de diferentes materiales, que se van adicionando progresivamente hasta alcanzar una altura de un metro. Se aconseja cubrir la pila con materiales fibrosos, con el fin de que alcance la temperatura deseada para la proliferación microbiana. En algunos casos, los agricultores colocan en forma artesanal aereadores en las pilas para una mejor circulación del aire e inyectarle oxígeno a la mezcla (Izquierdo 1996).

Lombrihumus: se prepara a partir de lombricomposteras se pueden emplear camas, lo que implica inversión en infraestructura, también se puede usar cajones de madera o canastillas plásticas. Para esta última, es suficiente con la adición de una pequeña porción de alimento de 15 cm. para que la lombriz se adapte a su nuevo hábitat, se debe mantener la misma cantidad de alimento durante el proceso. En el

caso de utilización de estiércol vacuno, se recomienda adicionarlo fresco, con los demás materiales, se puede trabajar con cierto grado de precomposteo antes de ponerlo en contacto con la lombriz. Las lombrices son descomponedoras eficientes pero su efecto no se puede aislar de la acción de los microorganismos, algunos de éstos viven tanto en el suelo como en el tubo digestivo de las lombrices, se puede mencionar la presencia de fitohormonas, cuya producción se atribuye a diferentes microorganismos presentes en los lombricompostos (Blandón *et al.* 1999).

Los abonos foliares: se preparan a partir del bocashi, compost, lombricompost o excrementos frescos de los animales. La forma más sencilla de elaborarlos, es agregando dentro de un saco dos o tres kilos de cualquier material de estos y colocándolo en un estañón con agua. Se deja fermentar durante dos semanas, el caldo que se produce se diluye y se aplica con una bomba de asperjar (Soto 2002).

4.1.3. Lixiviados de compost y lombricompost

Los extractos o lixiviados han sido considerados, tradicionalmente, como un fertilizante líquido orgánico. Recientemente, estos materiales están siendo utilizados para el control de plagas y enfermedades. Por lo que han realizado estudios para conocer los componentes responsables de su capacidad de combatir patógenos (Chalker 2001).

En este sentido, investigaciones recientes realizadas los Estados Unidos (Hoitink *et al.* 1997b), Alemania (Brinton and Tränkner 1996) y Japón (Adam 1998) utilizando diferentes lixiviados de compost, han demostrado su potencial en la protección de cultivos a un amplio rango de enfermedades, como es el tizón de la papa o tomate, el mildiu polvoso y el fusarium en manzano. En cuanto a la composición microbiana presente en los extractos, se determinó que bacterias, hongos y protozoarios son componentes del compost que junto con sustancias químicas, como fenoles y aminoácidos (Wickland *et al.* 2001), inhiben las enfermedades a través de varios mecanismos, tales como: aumento en la resistencia de la planta a la infección, antagonismo y competición con el patógeno, entre otros (Hagen 2000).

Los lixiviados, tienen una gran abundancia y diversidad de microorganismos benéficos, por lo que no son considerados pesticidas *per se*, cuyo objetivo, es el de competir con otros microorganismos por espacio, alimentación y su sitio de infección en caso de patógenos (Ingham 2001). Otros contienen químicos antimicrobianos que producen la inhibición del crecimiento de hongos. Dada la gran variedad de lixiviados es muy difícil determinar el número de microorganismos benéficos presentes (Chalker 2001). Una vez aplicado el lixiviado a la superficie de la hoja, los microorganismos benéficos ocupan los nichos esenciales y consumen los exudados que los microorganismos patogénicos deberían consumir, interfiriendo directamente en su desarrollo (Diver 2002b).

Shönbeck (1982) fue uno de los primeros investigadores en demostrar el efecto de la aplicación de bacterias cultivadas para el manejo de parásitos obligados, atribuyendo este efecto a una “inducción de resistencia” también llamado resistencia sistémica adquirida (SAR= Systemic Acquired Resistance). Sin embargo, el uso de filtrados de bacterias no ha demostrado suficiente éxito en campo, los investigadores han concluido que la formulación del producto y modificación de los métodos de aplicación debe considerarse, para reproducirlos exitosamente (Tränkner and Brinton 2000).

En cuanto a la terminología que se aplica a los lixiviados de compost, extractos de compost y té de compost, sabemos que los lixiviados de compost se producen directamente de las pilas, son ricos en sustancias nutritivas y contienen microorganismos cuando son extraídos al principio del compostaje y se caracterizan por una coloración negra. Mientras que, los extractos de compost, provienen de la mezcla fermentada que se obtiene al colocar en un saco el material y llevarlo a un recipiente con agua por 7 a 14 días, su primer beneficio es como fertilizante líquido. El té de compost, es una técnica moderna, donde se coloca material maduro de compost en agua y se recoge un extracto fermentado, alimentado con una fuente energética, que permite un crecimiento de microorganismos benéficos (Diver 2002b).

La aireación durante la etapa de descomposición de los materiales, es un punto vital, los microorganismos anaerobios facultativos han demostrado ser los responsables de la habilidad de suprimir enfermedades en el té de compost, y por definición, estas bacterias pueden sobrevivir en ambos medios, anaeróbico y aeróbico (Singh 2000).

Se citan varios efectos de los lixiviados para suprimir las enfermedades: (i) inhibición de la germinación de las esporas en plantas enfermas; (ii) detención de la expansión de la lesión en la superficie de la planta; (iii) competición con los microorganismos por alimento y nutrientes; (iv) depredación de los microorganismos que causan la enfermedad; (v) eliminación de los organismos con producción de antibióticos (vi) incrementa de la salud de la planta y con esto, su habilidad de defensa a las enfermedades (Hébert 1999). Finalmente, diferentes investigadores coinciden en que el éxito de estos productos radica principalmente en la forma de preparación, calidad del compost, clases de microorganismos presentes durante la fermentación, forma como se almacenen los biopreparados y método de aplicación.

4.2. Aspectos generales del cultivo del plátano

Las musáceas son originarias del Sureste de Asia, de las zonas de Filipinas, Nueva Guinea, India e Indonesia. Son plantas monocotiledóneas perennes que pertenecen al orden Escitaminales, a la familia

de las Musaceae, donde el género *Musa* corresponde a la sección Eumusa con dos principales especies: acuminata y balbisiana (Stover and Simmonds 1987).

La región de América Latina y Caribe es considerada la zona más productora de plátano en el mundo, después del África. El mayor productor de plátano en esta región es Colombia, seguido de Perú y Venezuela. Ecuador es el cuarto productor con 70.000 hectáreas en donde se cosecha actualmente alrededor de 475.724 toneladas, de las cuales se exporta el 17%. El consumo promedio per cápita anual de la región oscila entre los 35 y 83 kg y donde Colombia, presenta el más alto consumo (FAO 2004).

La producción platanera en el Ecuador se ha desarrollado como un cultivo semitecnificado propio de pequeños agricultores con baja inversión en insumos. El producto cosechado, lo utiliza para asegurar su alimentación diaria y negociar los excedentes con comerciantes intermediarios. En Ecuador existen muchos clones de plátano (AAB), predominando: “Dominico”, “Dominico Hartón”, “Barraganete o Hartón” y “Morado” (Tazán 2002). Entre los problemas fitosanitarios más frecuentes en el sector platanero, se reporta la Sigatoka negra, como consecuencia de la diseminación de la enfermedad desde las bananeras infectadas. Dado que el sector platanero produce generalmente para autoconsumo, no cuenta con recursos suficientes para realizar el programa químico de manejo que ejecutan los productores de banano en cultivos intensivos y tecnificados.

4.3. Sigatoka negra

4.3.1. Distribución Geográfica

La Sigatoka negra, es causada por un hongo de la clase Ascomiceto, *Mycosphaerella fijiensis* Morelet, que fue reportado por primera vez al sudoeste asiático en Viti Levu, a 60 Km del Valle de Sigatoka (Rhodes 1964) en la isla Fidji. La primera aparición de ésta enfermedad fuera del continente asiático fue en Honduras en el año de 1972 mezclada con Sigatoka amarilla en la colección de germoplasma de la United Fruit Company en La Lima (Stover 1980). A partir de entonces, la enfermedad se ha diseminado a través de América Latina y el Caribe: Belice en 1975, Guatemala, Costa Rica, El Salvador y Nicaragua en 1977. En Panamá se detectó en 1980; Colombia en 1981 en la zona del Urabá; Ecuador en 1986 (Mourichon and Fullerton 2000), Venezuela y Cuba en 1991 (Martínez *et al.* 1999; Vidal 1992); Jamaica y Perú en 1994; y República Dominicana en 1996. Bolivia en 1997 (Tejerina 1998) y Brasil en 1998 (Maciel *et al.* 1998). En 1999 se detectó en condiciones de invernadero en la Florida, Estados Unidos (Ploetz and Mourichon 1999) y Haití en el 2000 (reportado en Rivas *et al.* 2004). Recientemente, en el ACORBAT (2004) realizado en Oaxaca, México, se informó de la presencia de esta enfermedad en Puerto Rico. A la fecha, no se ha reportado la presencia de la enfermedad en las islas caribeñas de: Guadalupe, Trinidad y Tobago, San Vicente y Santa Lucía.

4.3.2. Biología del patógeno y síntomas de la enfermedad

M. fijiensis Morelet (forma asexual *Paracercospora fijiensis* Deighton, syn. *Cercospora fijiensis*), es el agente causal de la Sigatoka negra, tiene la característica de reproducirse tanto sexual como asexualmente durante su ciclo de vida, lo que dificulta su manejo. La fase asexual, que corresponde al género *Paracercospora*, se presenta en el desarrollo de las primeras lesiones de la enfermedad (pizcas o estrías), donde se observa la presencia de conidióforos emergiendo de los estomas de la superficie de las hojas. Una vez terminada la fase de producción de conidióforos, se inicia la fase sexual sobre el primer estado de la mancha, con producción de gran cantidad de ascosporas en estructuras llamadas peritecios, los cuales se forman sobre la superficie del estado más avanzado (Meredith 1970).

Los conidióforos se desarrollan en las manchas de color café, sobre el envés de las hojas y son producidos únicamente hasta el segundo estado de la enfermedad, pueden ser rectos ó curvos, a menudo con divisiones y algunas veces presentan una hinchazón en la base que puede llegar a medir más de 8 µm de diámetro. Tienen de 0 a 5 segmentos con medidas que alcanzan entre las 16.5 – 62.5 µm x 4 – 7 µm. Las conidias son formadas a partir de los conidióforos, ya sea de forma individual o en pequeños grupos compuestos de 4 a 8 conidias, estos son cilíndricos y pueden estar formados por 1 a 10 segmentos, aparentemente aplanados o curvos con forma obtusa en el ápice y truncados o redondeados en la base, su dimensión puede estar entre 30 a 132 µm (Meredith and Lawrence 1969).

Como producto de su gran capacidad reproductiva, éste hongo ha alcanzado una amplia variedad genética y patogénica que le ha permitido adaptarse a diversas condiciones ambientales y del cultivo, en casi todas las áreas productoras de banano y plátano en el mundo. La característica de *M. fijiensis*, de reproducirse repetitivamente durante el curso de la epifitía, hace que la Sigatoka negra se considere una enfermedad policíclica, es decir, con una secuencia sin fin de inoculación, infección, colonización, esporulación, dispersión y nuevas infecciones. Entre las variables agrometereológicas que influyen en la germinación, penetración del hongo y en el éxito en la colonización de los tejidos internos y el desarrollo de *M. fijiensis*, se encuentra la temperatura (24-28 °C), la humedad relativa (= 95%), el viento y la precipitación, las cuales definen la dinámica del inóculo y el impacto de la enfermedad en los rendimientos (Marín *et al.* 2003).

Los síntomas de la enfermedad, pueden desarrollarse por completo desde los 50 días a los 115 días, presentándose el periodo más largo en la época más seca del año; mientras que, en la temporada lluviosa ocurre un desarrollo acelerado. Es posible encontrar todos sus estadios en cualquier época del año, principalmente en las hojas jóvenes. Fouré (1985), describe los estadios de la enfermedad como aparece a continuación:

- ?? **Estadio 1:** pequeñas manchas de color blancuzco o amarillo que se asemejan a la primera etapa de la Sigatoka amarilla. Estos síntomas son visibles en el envés de la hoja.
- ?? **Estadio 2:** se observa una pequeña raya, generalmente de color café y visible en el envés de la hoja; en el haz se visualiza como una raya que cambia progresivamente de color café a negro.
- ?? **Estadio 3:** la raya se hace más alargada y bajo ciertas condiciones (poco inóculo y condiciones climáticas favorables), alcanza una longitud de 2 a 3 cm.
- ?? **Estadio 4:** aparece en el haz de la hoja una mancha negra, claramente apreciada a simple vista.
- ?? **Estadio 5:** la mancha elíptica se vuelve totalmente negra y se ha extendido en el haz de la hoja. Esta mancha tiene un halo amarillo que la rodea y su centro comienza a deprimirse.
- ?? **Estadio 6:** el centro de la mancha se seca, adquiere un color gris claro y lo rodea un anillo bien definido de color negro, rodeado a su vez por un halo de color amarillo brillante.

4.3.3. Ciclo de vida

M. fijiensis, como cualquier enfermedad infecciosa polícíclica presenta eventos que ocurren en forma continua. El primer paso del ciclo de la enfermedad es la producción del inóculo (espora), que inicia la infección, al ser transportado por el viento, el agua e insectos, a lo que se conoce como la diseminación de la enfermedad. Si la espora encuentra el hospedero y las condiciones ambientales (temperatura y humedad) son óptimas puede penetrar en la planta generalmente vía apertura estomática. Por lo contrario, si las condiciones no son las adecuadas, la estructura del hongo entra en un periodo de latencia que dura hasta que las condiciones sean las favorables. El ciclo de la enfermedad, lo constituyen: la etapa de colonización de la planta, infección y el desarrollo de la enfermedad. *M. fijiensis* al finalizar su periodo de latencia e iniciar su etapa de infección. Si no encuentra a un nuevo hospedante el patógeno entra en una etapa de sobrevivencia hasta que se presentan nuevas condiciones ambientales favorables para su desarrollo (Marín *et al.* 2003).

4.3.4. Estructura genética de poblaciones de *Mycosphaerella fijiensis*

El entendimiento de la estructura genética como de la evolución del patógeno proporciona importante información para brindar asistencia al mejoramiento y manejo de la resistencia a la enfermedad. La estructura genética del patógeno puede analizarse con la utilización de marcadores moleculares a escala global y continental. Se ha observado que el centro de diversidad del patógeno está localizado en el Sudeste de Asia y los eventos de colonización que acompañaron la introducción del patógeno en otras regiones han llevado a una reducción de la diversidad genética, la cual se mantiene en todas las poblaciones y se distribuye a escala de la planta. Asimismo, se ha observado diferencias genéticas entre las poblaciones de la escala global a local, siendo la más importante la diferenciación genética de las

poblaciones africanas, las latinoamericanas y caribeñas. La evolución de la población del patógeno, depende de la mutación, recombinación, deriva genética, flujo genético y la presión de selección en el hospedero (Carlier *et al.* 2003).

4.3.5. Manejo de la enfermedad

El control químico es rutinariamente utilizado, no obstante, los graves problemas que ocasiona al ambiente y la salud, este provoca resistencia del patógeno a los productos químicos, produciendo una sensibilización a los mismos. Actualmente, es la única estrategia para el manejo de esta enfermedad, mediante la utilización de fungicidas sistémicos y protectantes. En los cultivos a escala industrial destinados a la exportación, la utilización de productos químicos se realiza en forma rutinaria con no menos de 35 a 40 ciclos de aplicación por cosecha, aumentando así sus costos en un 30 a 40%, sin tomar en cuenta los daños ecológicos y humanos ocasionados.

Otro sistema de manejo, es la utilización de prácticas culturales con programa de deshoja fitosanitaria frecuente, enfocados a eliminar progresivamente tejido necrosado por la enfermedad, lo que ayuda a eliminar el inóculo y a acelerar el proceso de descomposición del tejido esporulado (Villalta 2001). Un aspecto importante, aunque ha sido poco estudiado, es la producción en sistemas de cultivos mixtos, ya sea de diferentes especies o bien del mismo banano pero con genotipos con diferente grado de resistencia a la Sigatoka negra. Este sistema podría reducir la cantidad de inóculo, al incrementar la biodiversidad de organismos como bacterias promotoras del crecimiento, antagonistas y competidores (Belalcázar *et al.* 1998).

Los híbridos de musáceas con mayor resistencia a la enfermedad en los diferentes programas de fitomejoramiento, en especial de la Fundación Hondureña de Investigaciones Agrícolas (FHIA), son el FHIA-01, FHIA-02, FHIA-18, FHIA-21 y FHIA-23, entre otros, los cuales difieren un poco en el sabor y en las características de las plantas con relación a los cultivares Cavendish o a los plátanos tipo Curraré (Rowe and Rosales 2000).

En la última década, se ha investigado en uso de extractos botánicos, sustratos, antagonistas y enmiendas orgánicas que puedan proporcionar protección más duradera, menos tóxicos y económicos (Riveros *et al.* 2003). En la actualidad, se está trabajando e investigando también métodos alternativos para el control de esta enfermedad, entre ellos la inducción de resistencia, la utilización de bacterias epífitas aisladas tipo quitinolíticas y glucanolíticas, así como el control con extractos de plantas con características fungicidas y la utilización de diferentes lixiviados, tanto de compostaje como de lombricompost (Polanco 2004; Arciniegas *et al.* 2002; Patiño 2001, Arango 2000).

5. Capítulo 1. Lixiviados de compost y lombricompost: una metodología para su fabricación.

Metodología para la obtención de lixiviados de compost y lombricompost para el control de enfermedades

Resumen

Los lixiviados de compost y lombricompost ofrecen una oportunidad para controlar biológicamente una gran variedad de enfermedades en las plantas. Entre los muchos factores que influyen sobre estos efectos benéficos sobresalen el tipo de materia prima, el estado de maduración del mismo, el tiempo y temperatura generada durante la preparación del material, lo que afecta tanto a microorganismos benéficos como a patógenos. Estas condiciones deben ser manejadas adecuadamente, ya que influyen durante el proceso de maduración y curación. Al igual que con la estabilidad del material, recolonización de microorganismos benéficos y el método utilizado para obtener un producto final, como alternativa potencial para el control biológico. El propósito de este trabajo fue el de estandarizar una metodología práctica y económica para la producción de lixiviados a partir del compost y lombricompost, adecuada al pequeño agricultor y, que le permita con materiales de su finca obtener productos para el control de enfermedades. Los materiales compostados alcanzaron temperatura superiores a 50° C lo que permitió eliminar microorganismos patógenos, esto se evidenció mediante el análisis de inocuidad.

Palabras claves: lixiviados, compost, lombricompost, broza de café, desechos de banano y plátano, estiércol vacuno, inocuidad, *Eisenia foetida*.

Methodology to obtain compost and lombricompost leachates to control diseases.

Summary

Compost and lombricompost leachates offer the possibility to control a great variety of plant diseases by biological means. Among the many factors influencing these beneficial effects outstand type of raw material and its maturation state; time and temperature generation during its preparation as this affects both beneficial microorganisms and pathogens if the process is adequately conducted. Environmental conditions are also important because they influence the maturation and curing processes as well as material stability and re-colonization of beneficial microorganisms, and the method employed to obtained a quality final product for potential use a biological control alternative. The purpose of this work was to standardize a practical and economic methodology to produce compost and lombricompost leachates, adequate for small farmers that will allow them to obtain disease control

products from materials found in their own farms. Composted materials reached temperatures above 50 °C allowing to eliminate pathogen microorganisms. This was proved through innocuous analysis.

Keywords: coffee brosses, banana and plantain wastes, livestock manure, lombricompost

1. Introducción

Tanto el compost como el lombricompost son procesos aeróbicos de transformación de residuos orgánicos, animales y vegetales, que ocurren constantemente en la naturaleza bajo la acción de lombrices, bacterias y hongos descomponedores de la materia orgánica. El aprovechamiento de estos residuos orgánicos cobra cada día mayor importancia como medio eficiente de reciclaje racional de nutrientes, que beneficia el crecimiento de las plantas y devuelve al suelo muchos de los elementos extraídos durante el proceso productivo. Los productos finales del proceso, mejoran las características físicas y previenen la erosión del suelo (Kaufman 1997). Permite mejorar la producción, reducir la dependencia de insumos externos de alto costo económico y ambiental. Se aplica muy bien a la tendencia mundial de agricultura sostenible, que entre otros contempla disminuir o eliminar el empleo de agroquímicos contribuyendo a la protección del ambiente, la salud animal y humana (Morales y Campos 1993).

Para pequeños como para medianos agricultores, quienes no alcanzan a cubrir los altos costos que demandan el uso de agroquímicos, el uso de tecnologías limpias y amigables con el ambiente es una alternativa muy importante. La disminución en la producción agrícola debido a las enfermedades y plagas que atacan los cultivos es una limitante para estos productores. Los métodos culturales y la implementación de técnicas que utilizan lixiviados de compost y lombricompost, favorecen la nutrición y sanidad de las plantas, además, de proveer un valor ecológico y económico. La eficiencia de los lixiviados puede variar considerablemente, en función de su procedencia, preparación del extracto, composición, calidad, grado de maduración, etc.

Los requerimientos principales de un buen compostaje, al momento de ser usado en un suelo, son la estabilidad y madurez del material, lo cual implica que posea un contenido adecuado de materia orgánica y ausencia de sustancias fitotóxicas. La madurez está asociada con el efecto sobre el crecimiento de la planta, mientras que la estabilidad está relacionada con la actividad microbiana del compost, esta estabilidad se determina mediante la tasa de respiración (Iannotti *et al.* 1994).

Existe una gran variedad de formas de obtener los lixiviados de compost y lombricompost que los agricultores han adoptado en sus fincas de acuerdo a su experiencia y resultados obtenidos. Por lo tanto, cada uno cuenta con metodología propia y con resultados tanto positivos como negativos. El

propósito de este trabajo fue el de estandarizar una metodología práctica y económica de producción de lixiviados, adecuada al pequeño agricultor, que le permita, con materiales de su finca, obtener productos para el control de enfermedades.

2. Revisión de literatura

2.1. Materia Orgánica

La materia orgánica o componente orgánico del suelo se agrupa en varios compuestos, así tenemos: (a) la materia orgánica no transformada representada por la biomasa vegetal, animal y microbial; (b) la materia orgánica semitransformada compuesta de restos orgánicos en procesos de descomposición y (c) la materia orgánica transformada, representada por los materiales orgánicos completamente integrados, dentro de la cual se encuentra el humus (Rovesti 2004).

2.2. Compostaje

El compostaje es un proceso aeróbico donde el material orgánico residual sufre una transformación gracias a la etapa termofílica que genera dióxido de carbono, agua y minerales inmersos en la materia orgánica estable, libre de fitotoxinas y disponible para el uso agrícola. El proceso que además permite el desarrollo y supervivencia de microorganismos, se inicia con el pre-tratamiento, donde se clasifican los desechos, le sigue la digestión propiamente (mesófila, termófila y enfriamiento) (Fig. 1).

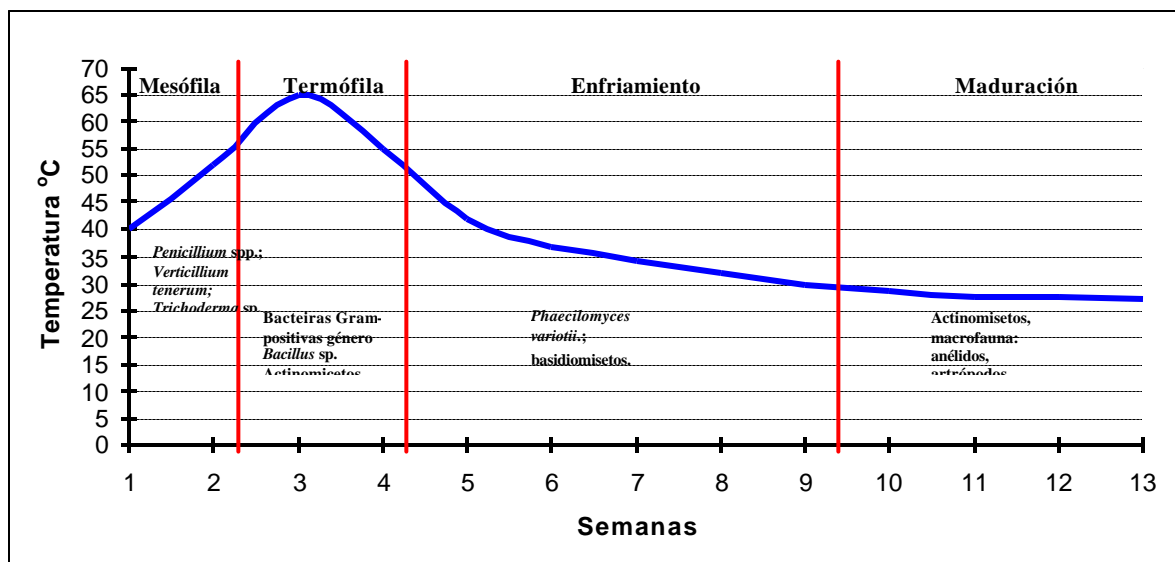


Figura 1. Evolución de la temperatura e interacción con microorganismos frecuentemente reportados en cada estado de evolución hasta maduración del proceso de composteo.

Esta última, es la etapa de maduración donde se da la estabilización de la temperatura. El producto final del compostaje, una vez transformado en humus, da lugar a un abono de altísima calidad (Porta *et al.* 1994, Romero 2000).

El estado de madurez del compost se determina por el grado de estabilidad en relación con sus propiedades físicas, químicas y biológicas. La madurez es un factor importante de verificar antes de aplicar compost a cultivos, con el fin de evitar efectos adversos sobre el suelo, las plantas, medio ambiente, salud animal y humana, entre otros (Suslow 1997).

Son muchos y muy complejos los factores que intervienen en el proceso biológico de maduración del compostaje, que a su vez es influenciado por las condiciones ambientales, los tipos de residuos a tratar y la técnica de compostaje empleada. Los factores más importantes de acuerdo a Aubert (1998) y Rovesti (2004) son:

- ?? **Temperatura:** para conseguir la eliminación de patógenos, parásitos y semillas de malezas, se consideran óptimas temperaturas entre 55-65°C. A temperaturas muy altas, muchos microorganismos interesantes para el proceso mueren y otros se inactivan y, al descender la temperatura, se detiene el proceso de descomposición.
- ?? **Humedad:** es importante que la humedad alcance los niveles óptimos entre 40–60%. Si el contenido de humedad es mayor del 70%, el agua desplazará al aire de los espacios libres y el proceso se volvería anaeróbico, produciéndose putrefacción de la materia orgánica. Pero, si la humedad es excesivamente baja se disminuye la actividad de los microorganismos y el proceso es más lento. El contenido de humedad también depende de las materias primas empleadas, por ejemplo, para materiales fibrosos o residuos forestales la humedad máxima permisible se sitúa entre 75-85%.
- ?? **Acidez-alcalinidad (pH):** en la etapa mesófila el pH suele sufrir un descenso ya que se descomponen la mayoría de los carbohidratos produciéndose una liberación de ácidos orgánicos. Se presenta una correlación positiva entre estas dos variables (temperatura y pH): a medida que aumenta la temperatura asciende el pH hasta hacerse alcalino (8-9), esto se explica por la descomposición de proteínas y formación de amoníaco.
- ?? **Aireación:** el compostaje es un proceso aeróbico, por tanto, la presencia de oxígeno es esencial. La concentración de oxígeno depende del tipo de material, textura, humedad, frecuencia de volteo y presencia o ausencia de estructuras que permita la aireación. Si esta es insuficiente o está mal distribuida, se tienen consecuencias negativas con la producción de microorganismos anaeróbicos.
- ?? **Relación C:N :** el carbono y el nitrógeno son constituyentes básicos de la buena calidad de materia orgánica. Teóricamente es importante mantener una relación de 1:20. Sí la relación C:N es muy elevada se disminuye la actividad microbiana; sin embargo, se considera que si esta es muy baja no altera el proceso de compostaje aunque el exceso de nitrógeno se pierde en

forma de amoníaco. El heno seco, hojas, ramas, turba y aserrín son materiales ricos en carbono y pobres en nitrógeno. Mientras que los vegetales jóvenes, deyecciones de animales y residuos de mataderos son consideradas como materiales pobres en carbono y ricos en nitrógeno.

- ?? **Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC):** los residuos orgánicos tienen una CIC variable cercana a 40 meq/100 g. Durante el proceso de compostaje este parámetro tiende a llegar a niveles de 70-80 meq/100g, estos debido a la desaparición de la materia orgánica fácilmente degradable y al aumento de la materia orgánica humificada.
- ?? **Población microbiana:** al ser una actividad regida por una amplio número y gama de poblaciones de microorganismos como bacterias, hongos y actinomicetes, en la cantidad y variabilidad de estos influye, el tipo de material, el tiempo de descomposición y la calidad del producto final.
- ?? **Presencia de microorganismos patógenos:** la gran mayoría de los microorganismos potencialmente patógenos para humanos presentes en los residuos orgánicos son destruidos durante el proceso de compostaje en la fase termofílica, por lo que se considera un proceso sanitario.

El proceso de compostaje es más rápido en la medida que sea mayor la altura del montículo del material a ser procesado. Además, los residuos con un tamaño de partícula muy pequeño (< 2mm), favorecen la anaerobiosis y aumenta el riesgo de producir fermentación, en este sentido, Hoitink *et al.* (1997a) han indicado que un tamaño de partícula en un rango de 1-7 cm es el mas adecuado.

Cuadro 1. Temperatura y tiempo requerido para la eliminación de microorganismos patógenos para la salud humana.

Microorganismo	Temp (°C)	Tiempo de exposición	Fuente
<i>Escherichia coli</i> O 157:H7	60	60 minutos	Soldier y Strauch 1991
<i>Escherichia coli</i> O 157:H7	60	tres semanas	Juneta <i>et al.</i> 1997
<i>Salmonella</i>	65	24 horas	Coger <i>et al.</i> 2001
<i>Salmonella typhosa</i>	60	20 minutos	Tim 1980
<i>Salmonella</i>	55	60 minutos	Tim 1980
<i>Salmonella sp.</i>	60	15-20 minutos	Tim 1980
<i>Shigella sp.</i>	55	60 minutos	Tim 1980
<i>Escherichia coli</i>	57	72 horas	Paul 2000
<i>Coliformes</i>	70	60 minutos	Tim 1980

El cuadro 1, permite valorar la importancia de lograr una buena fase termofílica para eliminar microorganismos patogénicos a humanos, podemos notar que la temperatura fluctúa entre los 55-70°C, y los tiempos de exposición desde minutos hasta días. Esto ha sido escrito por una gran variedad de autores y con diferentes materiales particularmente con estiércoles de animales.

2.3. Materiales utilizados en la producción de compost

El proceso de compostaje se realiza en forma natural formando pilas o montículos de residuos orgánicos de origen agrícola, ganadero, urbano y agroindustrial. El cuadro 2, hace referencia a algunos residuos orgánicos, contenidos de nutrientes y relación C/N asociada.

Cuadro 2. Porcentaje de N, P, K y la relación C/N presente en los principales materiales utilizados para la producción de compost y lombricompost. MS: materia seca

MATERIAL	Nutriente (% de MS)			Rel. C/N
	N	P	K	
Gallinaza	1.7	0.7	0.7	10
Heces de cerdo	0.5	0.6	0.2	15
Heces ovinas	0.8	0.1	0.6	15
Heces de caballo	0.6	0.12	0.4	15
Heces bovinas	0.4	0.1	0.5	15
Harina de Sangre	13	0.65	0.7	3
Harina de Huesos	4	9	0.5	8
Paja de Trigo	0.4	0.04	0.7	50 a 100
Hojas secas de maíz	1	0.07	1.9	55
Desperdicios de verduras	0.4	0.2	0.2	10 a 20
Aserrín fresco	0.1	0.05	0.15	100 a 800
Pulpa de café	3.72	0.44	9.64	30
Desechos de musáceas	0.75	0.19	2.8	32
Cascarilla de arroz	0.7	0.4	0.8	60

Fuente: Blandón *et.al* 1998.

En los cultivos, la utilización frecuente del compostaje es como abono ó enmienda orgánica aplicada al suelo. Sin embargo, en la actualidad se aprovecha también como biofertilizante foliar, en forma de tés o lixiviados que permiten el manejo de plagas y de enfermedades, dada su acción biocontroladora (Hoitink *et al.* 1997b).

2.4. Lombricompostaje o vermicompostaje

Se refiere al proceso de descomposición de los residuos orgánicos mediante la actividad de lombrices de tierra. Su uso fue una práctica común en el antiguo Egipto donde se las consideraban “los intestinos de la tierra”. Se sabe que esta actividad comenzó en los EEUU de América a finales de los años 40 e inicios de la década de los 50, posteriormente llegó a Europa con un desarrollo importante en Italia. En América Latina inició su desarrollo en los 80, estableciéndose con éxito en países como Ecuador, Cuba, Chile y Perú. En la actualidad, ésta actividad se desarrolla en forma exitosa en toda América Latina, EEUU y las Islas Caribeñas (Martínez 1996a; Werner y Ramón 1996; Riggle 1996).

2.5. La lombriz de tierra

La lombriz de tierra, se encuentra clasificada en el reino animal, grupo anélidos, orden oligoquetos, familia lumbricidae. Las especies más empleadas, son: *Eisenia andrei* o lombriz tigre, *Eisenia foetida* o lombriz roja californiana y *Eudrilus eugeniae* o roja africana. Sin embargo, otras especies han sido también utilizadas para la transformación de desechos, como: *Peryonix excavatus*, *Lumbricus rubellus*, *Amyntas gracilis*, *Dichogaster* sp. y *Bimastus* sp., entre otras.

La lombriz californiana (*Eisenia foetida*), madura sexualmente a los dos meses de vida (Fig. 2), lo cual viene indicado por el apareamiento del clitelo. La copulación de dos lombrices se efectúa con no menos de 7 días entre uno y otra, teniendo 1 ó 2 capullos por cada lombriz por copulación. Si las condiciones son las óptimas, después de 14 a 21 días de incubación, eclosiona el capullo y nacen las nuevas crías, entre 2 y 9 lombricillas de color rosado pálido translúcido por capullo, en condiciones de moverse y nutrirse de inmediato. Las nuevas lombrices alcanzan su madurez sexual entre 45 y 90 días de su nacimiento dependiendo de las condiciones del cultivo (Rovesti 2004).

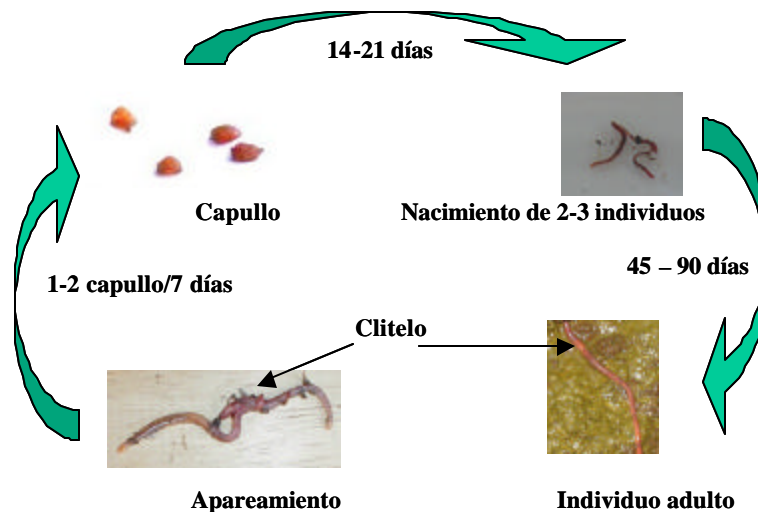


Figura 2. Ciclo biológico de *Eisenia foetida*.

Tiene como características el ciclo biológico corto, alta voracidad, adaptabilidad, tolerancia a situaciones de estrés y facilidad de manipulación. El éxito del trabajo en lombricultura se basa en la capacidad de este organismo de barrenar el suelo y depositar sus excrementos en las galerías que forman. Esta actividad no solamente favorece la aireación e infiltración de agua, sino que con sus movimientos se mezcla la materia orgánica con los componentes minerales del suelo. El pre-composteo de los materiales es importante para evitar que las lombrices sean expuestas a concentraciones de NH_3 altos y cambios de temperaturas o pH extremos (Martínez 2000).

Se estima que el humus puro de lombriz contiene una flora bacteriana del orden de 20 mil millones de bacterias por gramo seco, altos contenidos de ácidos húmicos y fúlvicos, cuya combinación permite la disponibilidad de nutrientes asimilables y sustancias fitoregulatoras del crecimiento vegetal (Collins 1990). El humus de lombriz no se fermenta ni se descompone como resultado de la bioestabilidad, que le da la carga enzimática y bacteriana que posee. Se ha comprobado que este producto aplicado correctamente influye directamente sobre la germinación y desarrollo de plantas, aumenta la resistencia a plagas e impide el desarrollo de hongos indeseables y económicamente perjudiciales. A su vez, se ha calculado que el humus de lombriz rinde cinco a seis veces más que el estiércol común y su utilización rebaja hasta un 40% los costos de fertilización (Urribarri 2003).

2.5.1. Trastornos fisiológicos de la lombriz de tierra

Si no se presta el cuidado suficiente en su alimentación las lombrices pueden presentar trastornos fisiológicos. El síndrome proteico, es el más conocido, resulta de la intoxicación por exceso de proteína en el alimento. También, pueden sufrir alteraciones por la presencia de plaguicidas u otros agentes nocivos, mostrando síntomas como: movimientos rápidos de escape, inflamaciones en la región clitelar, contracciones y abultamiento a lo largo del cuerpo y por último la muerte, en la mayoría de los casos (Rovesti 2004)

2.5.2. Enemigos naturales

El ser humano es quizás el principal enemigo de la lombriz. En estado silvestre, es afectada a causa del uso de herbicidas, plaguicidas y/o fertilizantes químicos. En los criaderos, la presencia de depredadores, en la mayoría de los casos, es un indicador de manejo incorrecto por parte del lombricultor (baja humedad y lechos muy ácidos). Los ratones, aves y ranas son los principales vertebrados que amenazan a las lombrices en los criaderos. Además de un amplio grupo de invertebrados depredadores, como son: hormigas, ácaros, planarias, tijeretas, ciempiés, entre otros. Las hormigas pueden encontrar condiciones ideales en los lechos de las lombrices cuando se tiene una baja humedad, ocasionando daños considerables en la población. Por lo general éstos depredadores se suelen controlar manteniendo la humedad del sustrato por encima de 80% y con un pH superior a 7 (Rovesti 2004)

2.6. Desechos utilizados en el proceso de elaboración de compost y lombricompost

Desechos de banano y plátano: la actividad bananera y platanera genera una gran cantidad de desechos orgánicos, que alcanzan el 20% de la producción total y se estima que el 50% de esta producción es empleada en la industria, alimentación humana y animal. Por lo tanto el 50% restante, representa un costo económico y ecológico alto. Una de las alternativas de gran importancia para el

manejo racional de este tipo de desechos es el compostaje. Sin embargo, los desechos de banano y plátano antes de ser inoculados con lombrices de tierra, necesitan una etapa de precomposteo, con estabilización en cinco semanas, en lo que respecta a temperatura y pH (Fraile y Obando 1993).

Estiércol vacuno: los estiércoles cumplen una función importante en el reciclaje de nutrientes orgánicos, se los puede considerar como un abono universal, aunque las características son muy variables, dependiendo del tipo de animal que los produce, de su dieta y del método de manejo utilizado (estabulado o pastoreo), un buen manejo aeróbico del estiércol resulta en un producto beneficioso para la fertilidad del suelo y seguro desde una perspectiva de seguridad alimentaria (Suslow 1997). La descomposición aeróbica del estiércol y de otras materias orgánicas se ve favorecida por temperaturas superiores a 40°C, lo que también le permite eliminar patógenos y semillas de malezas. El producto final de este proceso es la obtención de una excelente enmienda orgánica y fertilizante con una buena población microbiana benéfica (Herber 1999).

Desechos de broza de café: en América Latina el cultivo de café es una de las principales actividades agrícolas. El proceso inicial del beneficiado húmedo consiste en la eliminación de la cubierta externa del fruto, pulpa de café, que representa el 40% del peso fresco del fruto y es considerada como un subproducto de desecho (Siles 1997). La pulpa fresca posee contenidos de humedad superiores al 85% lo que constituye la mayor desventaja en cuanto a transporte, manejo y procesamiento (Montero 1992). A pesar de diversas opciones para utilizar la pulpa de café, la producción de abono es la más utilizada y es una alternativa acorde con la conservación del ambiente; por lo tanto, el compostaje y la lombricultura surgen como opciones importantes para transformar esa fuente de contaminación y degradación de los recursos naturales en un abono de excelentes características físicas, químicas y biológicas (Siles 1997).

3. Materiales y métodos

3.1. Localización del estudio

La presente investigación fue desarrollada en el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), en el sector de ganadería denominado “Las Cabras” en Turrialba, Costa Rica, localizado a 09°52′ de latitud N y 83°38′ de longitud O y a 602 msnm. La preparación del compost y lombricompost se llevó a cabo en un área techada con zinc de 7.50 x 3.20 m, se ubicaron compartimientos de precomposteo cubiertos con plástico negro, a 40 cm sobre la superficie, con una ligera inclinación para la eliminación del exceso de humedad. Para el lombricompost, se colocaron bases de aluminio de 30 x 45 cm provistos de malla metálica que protege el compartimiento para la recolección en recipientes plásticos de los lixiviados parciales producidos. Sobre este estante y malla

metálica se colocaron canastillas plásticas con perforaciones donde se ubicó el lecho de lombrices de tierra en la base de la estructura metálica. En las patas de la estructura que tocaba al suelo, se colocaron recipientes plásticos conteniendo aceite y detergente para evitar el acceso de hormigas a las canastillas de las lombrices. Las materias primas utilizadas fueron: broza de café, estiércol vacuno y desechos de banano y plátano que fueron recogidas del sector de investigaciones y granja de la finca “La Montaña” del CATIE, en sitios de procesamiento de desechos en cada cultivo o en labores de criadero de ganado.

3.2. Elaboración de compost de broza de café y de estiércol vacuno

Para el compost de broza de café, se utilizaron 800 kg proveniente de fincas de manejo orgánico, con este material se formó un montículo de un metro de alto, para alcanzar la temperatura adecuada para eliminar los microorganismos existentes y semillas de malezas. Se registró la temperatura diariamente para determinar el momento adecuado de realizar el volteo de los materiales en la pila para permitir una aireación y control eficientemente de la temperatura.

Durante los primeros ocho días, se volteó una vez al día el material, posteriormente este movimiento se hizo cada cuatro días, de acuerdo con la temperatura del material. Se le adicionó agua para mantener la humedad y se hizo la comprobación mediante la prueba de puño, que consiste en tomar el material en la mano y aplastar, observando que la humedad del material no se elimine entre los dedos formando un terrón estable que no se desmorona. El proceso finalizó con la obtención del material maduro cuyas características físicas de textura fueron muy diferentes a las originales tanto en olor como en color.

En el caso del estiércol vacuno, se utilizaron 200 litros de estiércol provenientes de ganado Pardo suizo cuya alimentación fue a base de forrajes y alimento balanceado. Se adicionó aserrín de madera al 5% con la finalidad de reducir el exceso de humedad de inicio y permitir que el material alcance la temperatura deseada. Se realizó el mismo procedimiento de lecturas de temperatura, movimiento de material y adición de agua que la realizada a la broza de café.

3.3. Elaboración de lombricompost de broza de café, estiércol vacuno y desechos de banano y plátano

Broza de café: se utilizaron 80 kg de broza de café, los cuales se colocaron en una canoa de madera, recubierta de plástico negro y con una ligera inclinación para eliminar el exceso de humedad, el líquido fue recolectado en un recipiente plástico y reincorporado nuevamente al material durante todo el proceso de pre-composteo. Con el fin de aumentar la actividad microbiana, se adicionó una dilución al 1% de melaza. El material fue movido y adicionado agua con el objetivo de mantener la humedad por encima de 80%, ideal para evitar el apareamiento de depredadores de la lombriz.

Estiércol vacuno: se utilizó 50 litros de estiércol vacuno fresco, al cual se le adicionó 5% de aserrín de madera y una dilución al 1% de melaza. Este material se colocó, también en una canoa de madera recubierta de plástico y con una ligera inclinación para recolectar en un recipiente plástico el exceso de humedad, la cual fue reincorporado al material.

Desechos de banano y plátano: se utilizaron 20 kg, que fueron picados en pequeños trozos, colocados en un sacó de fibra y enterrados a 60 cm del suelo durante cuatro semanas, con la finalidad de eliminar látex, sustancias fenólicas y quinonas propias de la oxidación de estos materiales que son tóxicas para las lombrices. Una vez terminado este proceso, el material se colocó en una canoa de madera recubierta de plástico, se le adicionó 5% de estiércol vacuno y una dilución al 1% de melaza para acelerar el proceso de descomposición, estos materiales estuvieron en pre-composteo por 15 días con el objetivo de alcanzar las condiciones ideales para que las lombrices inicien la descomposición del material.

Tanto la broza de café como el estiércol vacuno y los desechos de banano y plátano estuvieron en un proceso de pre-composteo por 15 días con el objetivo de eliminar elementos tóxicos para las lombrices y favorece la descomposición del material en una forma eficiente.

3.4. Preparación de lixiviados

Lixiviados preparados con compost maduro: el material se colocó en canoas de madera similares a las previamente descritas, se le adicionó agua suficiente y el líquido recogido fue adicionado nuevamente al material con la finalidad de lavar y recolectar la mayor cantidad de nutrientes y microorganismos del material durante cinco días seguidos. Luego, los lixiviados fueron almacenados a temperatura ambiente en frascos de vidrio estériles recubiertos con papel aluminio, para evitar la exposición a la luz. Se sellaron con lámina de parafina, se rotularon y se almacenaron en un lugar fresco y seco por 14 días.

Lixiviados preparados con lombricompost terminado: una vez obtenido el material pre-compostado, se procedió a realizar las siguientes actividades:

1. En la canastilla con malla de zarán, para evitar la salida o fuga de las lombrices, se adicionaron 10 cm de este material y posteriormente se incorporaron 350 lombrices de tierra californianas (*Eisenia foetida*) cuyo pie de cría se obtuvo de la finca de ganadería de CATIE.
2. Se mantuvo un control diario de humedad (aproximadamente un 80%), adicionándole agua al material con un rociador. El lixiviado se recogió en el recipiente colocado en la parte inferior de la canastilla.

3. El líquido obtenido de la descomposición fue reciclado nuevamente en el material para concentrarlo. Este proceso se realizó continuamente hasta observar que el lixiviado no presentara ningún tipo de olor desagradable o del material original. Se removió el material sin ocasionar ningún daño y estrés en las lombrices con la finalidad de lograr una mejor descomposición y aireación del material necesario para la lombriz y su progenie.

Los lixiviados finalmente obtenidos fueron almacenados en recipientes de vidrio cubiertos con papel aluminio para evitar el efecto directo de la luz del sol. Luego se almacenó en un lugar oscuro, seco y fresco por 14 días para la posterior realización de diferentes pruebas, entre ellas la de fitotoxicidad antes de utilizarla a nivel de campo e invernadero.

3.5. Análisis físico-químico e inocuidad de los lixiviados del compost y lombricompost

El análisis de físico-químico de los abonos se realizó en el laboratorio de suelos, tejido vegetal y aguas del CATIE, usando 50 gramos de muestra por producto, para los siguientes análisis:

Macroelementos, elementos secundarios y biomasa microbial: Se realizó la digestión húmeda con mezcla de ácido nítrico-perclórico 5:1. Se determinó por absorción atómica los elementos: Ca, Mg, K, Cu, Zn, Mn, Fe. El fósforo se determinó por el método colorimétrico del extracto de digestión nítrico-perclórica. La determinación de Carbono y Nitrógeno Totales se realizó por combustión, en el equipo analizador de C, N total Thermofinigan.

Para la determinación de CO₂, se colocó la muestra en incubación por 24 horas a 25°C y humedad de campo. Para la recolección de CO₂, en la muestra se colocó 20 ml de NaOH 0.10N en un frasco sellado por 24 horas en incubación aeróbica a 25°C. El equivalente a CO₂ se determinó por titulación con HCl 0.05 N.

Se determinó la biomasa microbial, según la técnica de fumigación-incubación con cloroformo por 48 horas. La extracción de las muestras en tiempo inicial y tiempo final se realizó con Sulfato de Potasio 0.5 M. La determinación de carbono orgánico se realizó por método de Nelson y Sommers para extractos.

El análisis de inocuidad se realizó en los laboratorios de Microbiología Agrícola del Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA) de la Universidad de Costa Rica (UCR), en donde se realizó análisis de coliformes totales, coliformes fecales y *Escherichia coli*. Para la ejecución de los ensayos se utilizó el procedimiento CIA-SC09-03-P02: Determinación de Coliformes totales, Coliformes fecales y

Escherichia coli en aguas, metodología desarrollada de acuerdo al “Standard Methods for the Examination of water and wastewater”.

4. Resultados y discusión

En las Fig. 3 y 4, se ilustra la temperatura diaria obtenida en el proceso de compostaje de broza de café y estiércol vacuno, se observa la presencia de cuatro periodos dependiendo de la evolución de la temperatura, similar a lo reportado por Aubert (1998).

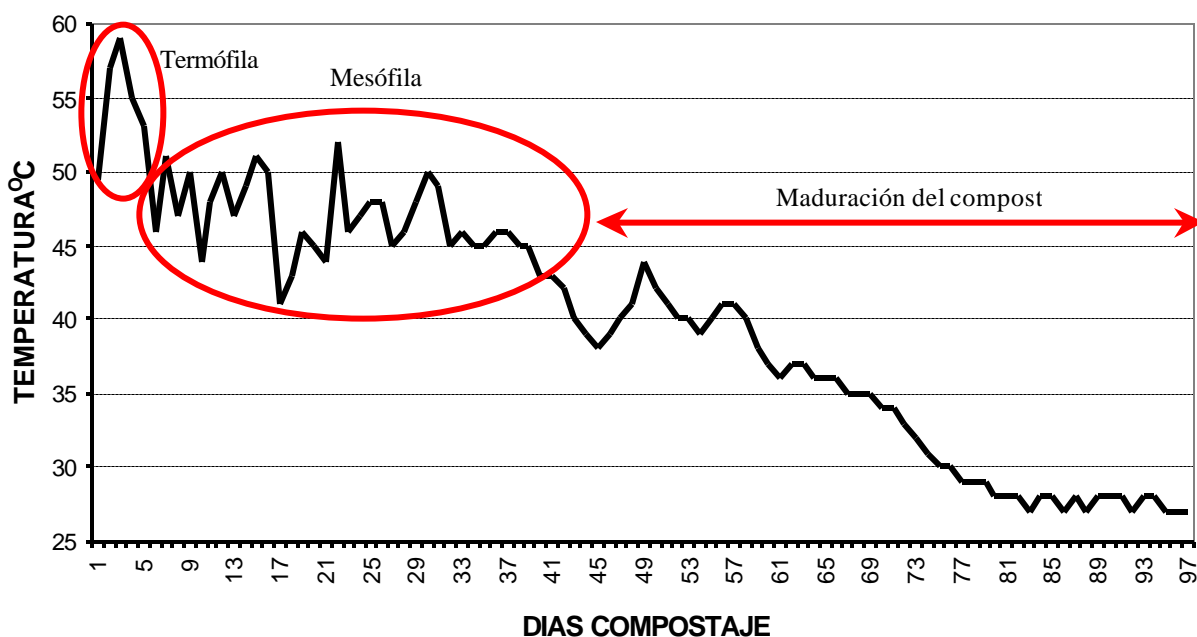


Figura 3. Comportamiento de la temperatura diaria en el proceso de composteo de broza de café.

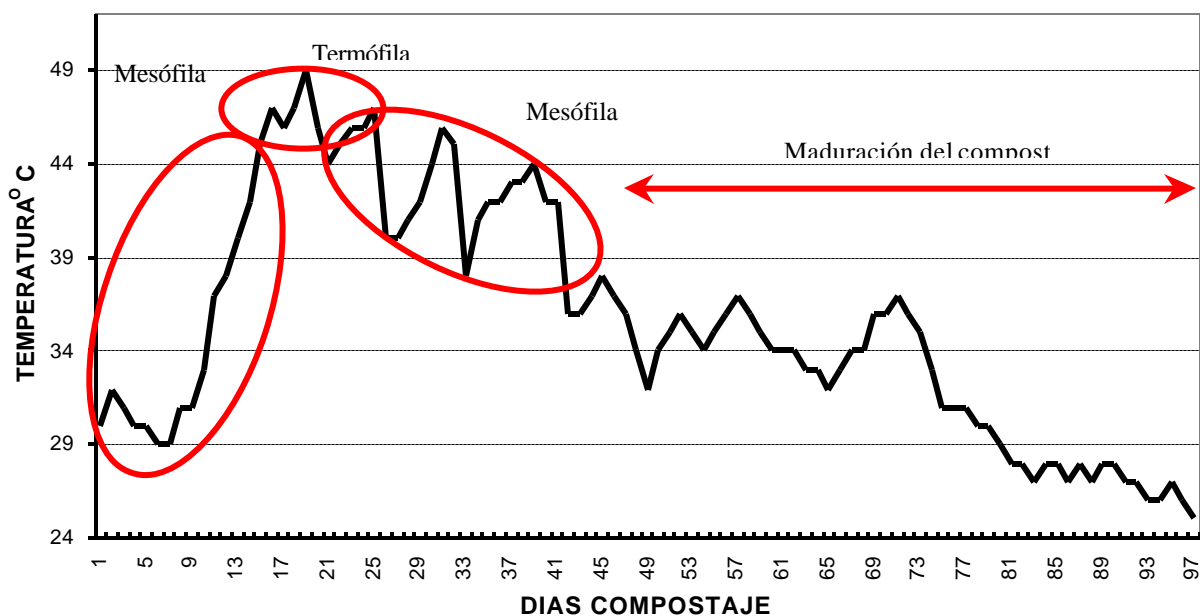


Figura 4. Comportamiento de la temperatura diaria en el proceso de composteo de estiércol vacuno

El compost de broza de café (Fig. 3), no presentó la fase inicial mesofítica, muy probablemente debido a que este material fue recolectado con cierto grado de madurez y no fresco, lo que adelantó la evolución de la etapa de degradación de materiales. El estado del material obedeció a que la época de cosecha de café terminó dos meses antes del inicio de la investigación.

De acuerdo a Hoitink *et al* (1997a) en la etapa inicial (24-48 horas) la temperatura sube hasta alcanzar los 40-50°C, lo que corrobora con lo observado en el primer y segundo día del proceso, donde la temperatura ascendió y se mantuvo en un rango desde 50-55°C, y se caracteriza por la actividad de microorganismos termófilos. En el tercer día la temperatura llegó a los 57°C descendiendo nuevamente a niveles de 50°C los siguientes dos días, esto debido a las condiciones de humedad del material y ambientales en la zona de compost. Entre el día 7 al 40, el material entró en un periodo de reducción y estabilización de temperatura, observándose (Fig. 3) variaciones entre los 40°C y 50°C influenciado por las condiciones ambientales, según datos tomados de la Estación meteorológica CATIE, con un 89% de humedad relativa, precipitación muy variable del orden de 1.1 mm y 15 mm. Estas temperaturas fueron muy similares a las reportadas por Klamer and Søchting (1998), donde fluctuó entre los 35°C y 45°C lo que les permito observar el crecimiento de hongos y basidiomicetos, por lo que ésta etapa fue considerada la etapa mesófila.

Después del día 40 se observó una disminución de la temperatura hasta los 27°C, a ésta etapa Coger *et al.*(2001) la denominó de curación, y asegura que se presenta cuando la temperatura del material se encuentra entre los 26°C y 43°C, muy similares a los encontrados en el compost producido en esta investigación.

A diferencia del montículo de compost de broza, el estiércol vacuno (Fig. 4), presentó en forma clara las cuatro etapas. Se observó una etapa mesófila inicial donde la temperatura comienza a ascender desde los 30°C a los 45°C. Posteriormente, el proceso llega a una etapa termófila donde alcanza temperaturas entre los 45°C y 48°C por 10 días, lo que consideró Aubert (1998) temperaturas óptimas para conseguir la eliminación de patógenos, parásitos y semillas de malas hierbas. Estos resultados son muy similares a las reportadas por Coger *et al.* (2001) en donde se determinó que para la destrucción de patógenos se requiere que la temperatura debe sobrepasar los 54°C y mantener una adecuada ventilación; mientras que Droffner and Brinton (1995) y Pfaller *et al.*(1994), indican que durante el proceso de preparación del abono se requiere temperaturas de 60°C durante por tres semanas para conseguir la eliminación de microbios, en especial patógenos para el ser humano. De acuerdo a Suslow (1997), cuando la temperatura del material alcanza los 60°C se requiere de una hora para provocar la mortalidad de una población inicial de un millón de células de *Escherichia coli* o *Salmonella* en un gramo de estiércol.

Terminada la etapa termofílica, en la (Fig. 4) se observa variaciones de temperaturas entre los 35°C y 45°C influenciado por las condiciones climáticas en la zona, lo que permitió establecer una nueva etapa mesofílica, en donde se empieza a observar cambios de coloración y olor del material. Finalmente, este material entra en una etapa de maduración en donde la temperatura fluctúa entre los 35°C y 25°C, en donde el material se enriquece de microorganismos benéficos para las plantas.

4.1. Análisis Físico-Químico e Inocuidad

En el cuadro 3, se presentan los resultados de los análisis físico-químico del compost y lombricompost obtenidos durante éste estudio. No se pudo observar diferencias notables entre los macroelementos comparados con otros estudios realizados, así tenemos que el mayor porcentaje de nitrógeno se observó en el compost de broza de café con un 3.9%, muy similar al demostrado por Blandon *et al.*(1998) en CENICAFE, Colombia, donde reportan 4.2%. La menor cantidad de nitrógeno se encontró en el lombricompost de estiércol vacuno con 1.24%.

Cuadro 3. Porcentaje de nutrientes existentes en los materiales al final el proceso de compostaje.

Material	Ca	Mg	K	P	Carbono total	N	C:N	Cu	Zn	Mn	Fe
	----- % -----						-----mg/kg-----				
Compost Broza de Café	2.41	0.39	4.16	0.43	33.9	3.88	9:1	88	156	293	9424
Compost Estiercol de Ganado	2.21	1.08	1.36	1.51	28.2	2.31	12:1	110	386	1217	11981
Lombricompost Broza Café	1.54	0.28	1.56	0.37	29.6	2.39	12:1	94	167	888	28514
Lombricompost Estiercol de Ganado	1.37	0.70	0.58	0.87	20.0	1.24	20:1	122	282	1578	34334
Lombricompost Banano Platano	2.07	0.94	1.39	1.04	31.1	2.14	15:1	93	253	1170	12081

En el cuadro 3, aparece el carbono total y cantidad de nitrógeno de cada uno de los materiales analizados lo que nos permitió calcular la relación C:N la cual es muy baja evidenciando la madurez o estabilidad del material. Si los resultados anteriores lo comparamos con los del cuadro 4, se aprecia que a nivel de la biomasa microbial y del CO₂, podemos concluir que en función de biomasa microbial el compost de estiércol vacuno y en el lombricompost de banano y plátano, son los de mayor valor debido a la falta de maduración del material por parte de las lombrices, ya que el material de banano y plátano fue mezclada con estiércol para ayudar a la descomposición del material.

Cuadro 4. Cantidad de biomasa microbial y CO₂ existente en los materiales al final del proceso de compostaje

Producto	Biomasa Microbial C.O.(mg/kg)	CO ₂ mg CO ₂ *kg ⁻¹ /24 h
Compost Broza de Café	8568	2443
Compost Estiercol de Ganado	15433	4727
Lombricompost Broza Café	8610	4680
Lombricompost Estiercol de Ganado	8210	2984
Lombricompost Banano Platano	13418	7032

Realizando el análisis de CO₂ (cuadro 4) se observó asimismo que el lombricompost de banano y plátano presenta mayor producción de CO₂ por kilogramo, que comparando lo que establece la United State Composting Council es considerado un producto estable, terminado, con una limitada fitotoxicidad (Uribe 2003a).

En el cuadro 5, aparecen los resultados del análisis de inocuidad de los diferentes lixiviados elaborados que pueden ser aplicados a nivel de campo e invernadero para la supresión de enfermedades.

Cuadro 5. Análisis de inocuidad de los lixiviados de compost y lombricompost con 14 días de fermentación.

Producto	Resultados obtenidos		
	Salmonella	Coliformes Totales NMP/100mL	Escherichia coli NMP/100mL
Lixiviado lombricompost estiércol	Negativo	>2400	12
Lixiviado compost estiércol	Negativo	>2400	2
Lixiviado compost broza café	Negativo	350	5
Lixiviado lombricompos banano-platano	Negativo	17	<2
Lixiviado lombricompost compost broza café	Negativo	70	<2

Estos resultados demuestran la ausencia de *Salmonella* en los lixiviados lo cual es muy importante y es requisito indispensable de las organizaciones internacionales de salud como control para la utilización de estos productos. Se observa una baja población de *Escherichia coli*, en donde el lixiviado de lombricompost de estiércol vacuno presenta el mayor valor con 12 NMP/100 ml y el resto de productos con menor cantidad, lo que desvirtúa lo indicado por Ingham (2001) en donde reportaban que la producción de lixiviados anaeróbicos promocionaba la proliferación de microorganismos patógenos a niveles peligrosos para la salud humana. Comparando los resultados con los estándares dados por la EPA en donde el valor máximo permitido es de 25 NPM/100 ml sugiere la utilización de estos productos, tomando todas las medidas de seguridad y protección como todo producto biológico (Uribe 2003b; EPA 2002)

5. Conclusiones y perspectivas

- ?? Con este trabajo se cumplió con el objetivo propuesto de estandarizar una metodología fácil y eficiente en la obtención de lixiviados de compost y lombricompost, en un mínimo espacio con materiales reciclables de la finca.
- ?? Un producto terminado no está dado por el tiempo que requiera el material mantenerlo apilado; sino por, las condiciones de manejo y características específicas definidas por: temperatura, humedad, biomasa microbiana, cantidad de CO₂ y la relación C:N.
- ?? Los resultados de los análisis de inocuidad en esta investigación indican, que los productos obtenidos en los procesos de compostaje y lombricompostaje cumplen todas las normativas

internacionales de seguridad alimentaria y pueden ser utilizados en programas de protección de cultivos.

6. Bibliografía

- Aubert, C. 1998. El huerto biológico. Barcelona, ES. Ed. Integral Barcelona. 252 p.
- Blandón, G; Rodríguez, N y Dávila, M. 1998. Caracterización microbiológica y físico-química de los subproductos del beneficio de café en proceso de compostaje. *Cenicafé*. 49(3): 169-185.
- Coger, C; Sullivan, D; Kropf, A. 2001. Cómo hacer y usar compost: La compostación rápida (caliente). Trad. The Oregon-Washington Master Gardener Handbook. Washington, US. Oregon State University. 12p.
- Collins, J. 1990. Lombriz de tierra: Una fuente de concentrado para la ganadería. *Boletín Agropecuario*. Bogotá, CO. p. 3-9.
- Droffner, M and Brinton, W. 1995. Survival of *Escherichia coli* and *Salmonella* populations in aerobic thermophilic compost as measured with DNA gene probes. *Zentralblatt fuer Hygiene und Umweltmedizin*. no197: 387-397.
- Environmental Protection Agency (EPA). 2002. Guide to field storage of biosolids and other organic By-products used in Agricultura and for soil resource management. Appendix B. (en línea). US. Consultado el 14 de octubre 2004. Disponible en <http://www.epa.gov/owm/mtb/biosolids/fsguide/>
- Fraile, J y Obando, R. 1993. Lombricultura: alternativa para el manejo racional de los desechos de banano. San José, CR, CORBANA. p. 17-22.
- Herbert, M. 1999. Compost as a Disease Suppressing Tool. (en línea). Alaska, US. Consultado 22 Junio 2003. Disponible en <http://home.corecom.net/~gardener/NewsLetter/May99/Compost.html>
- Hoitink, H; Stone, A; Han, D. 1997a. Supresión de enfermedades mediante el uso de compost. *Manejo Integrado de Plagas*. no. 43: 31-39.
- Hoitink, H; Zhang, W; Han, D and Dick, W. 1997b. Making compost to suppress plant disease. *BioCycle*. Abril, 1997: 40-42.
- Iannotti, D; Grebus, M; Toth, B; Madden, L; Hoitink, H. 1994. Oxygen respirometry to assess stability and maturity of composted municipal soil waste. *Journal Environmental Quality*. 23: 1177-1183.
- Ingham, E. 2001. Compost Tea : Promises and Practicalities article: Part 1. (en línea). Oregón, US. Soil Foodweb Incorporated. 10 de Junio 2003. Disponible en www.soilfoodweb.com/phpweb/userpage.php?op=view&uid=179
- Juneta, V; Snyder, O and Marmer, B. 1997. Thermal destruction of *Escherichia coli* O157:H7 in beef and chicken: determination of D-and z-values. *International Journal Food Microbiology*. (35): 231-237.

- Kaufman, E. 1997. Composting for soil renewal (en línea). Consultado el 7 junio 2003. Disponible en <http://www.jerusalemcityfarmers.org/howtocompost.html>
- Klamer, M and Søchting, U. 1998. Fungi in a controlled compost system –with special emphasis on the thermophilic fungi. Serie Acta Horticulturae, Wageningen. 469: 405-413.
- Martínez, C. 1996a. Potencial de la lombricultura: Elementos básicos para su desarrollo. Texcoco, MX. Lombricultura Técnica Mexicana. 140 p.
- Martínez, C. 2000. Lombricultura y agricultura sustentable: Lombricultura, alternativa en la Agricultura Sustentable. Primera Edición. México D.F. MX. p.135-153.
- Montero, M. 1992. Elaboración de biabono (abono orgánico) a partir de pulpa de café. In Simposio sobre Caficultura Latinoamericana. MX. IICA-PROMECAFE. p. irr.
- Morales, Y y Campos, B. 1993. Algunas consideraciones sobre la protección del medio ambiente en Cuba. VII Forum de Ciencia y Técnica. p. 15-18.
- Paul, J. 2000. Improving Soils – Manure or Compost? (en línea). BC Organic Grower Magazine. Consultado el 07 de Junio 2003. Disponible en <http://www.certifiedorganic.bc.ca/Booksand/BCOrganicGrower/Spring2000.htm>
- Pfaller, S; Vesper, S and Moreno, H. 1994. The use of PCR to detect thermal liquid manure disinfection. J.Vet. Med. no.38: 561-574.
- Porta, J; López-Acevedo, M; Roquero, C. 1994. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Madrid, ES. Ed. Mundi-Prensa. 807 p.
- Riggle, D. 1996. Scaling up for commercial vermiculture. BioCycle. Febrero: 39-44.
- Romero, Ma. Del Rocío. 2000. Lombricultura y agricultura sustentable: Agricultura orgánica. Elaboración y aplicación de abonos orgánicos. Ed. C Martínez y L Ramírez. Primera Edición. MX. p. 125-134.
- Rovesti, L. 2004. Lombricultura. Manual Práctico. CU. 99 p.
- Siles, J. 1997. Producción de abono orgánico con pulpa de café mediante el lombricompostaje. Tesis Mag.Sc. Turrialba, CR, CATIE. 93 p.
- Soldier, W and Strauch, D. 1991. Kinetics of death of Salmonellae during thermal liquid manure disinfection. Journal Veterinary Medical. (38): 561-574.
- Suslow, T. 1997. Los abonos de estiércol: una perspectiva de seguridad alimentaria microbiana. California, US. p 1-6.
- Tim, R. 1980. Compost engineering. Principles and Practice: Temperature-time relationships. Primera edición. Lancaster, Pennsylvania, EU. Technomic Publishing Company. p.138-141.
- Uribe, L. 2003a. Inocuidad de abonos orgánicos. En Taller de abonos orgánicos (2003, San José, CR). Memoria. p. 122- 137.
- Uribe, L. 2003b. Calidad microbiológica e inocuidad de los abonos orgánicos. En Abonos Orgánicos: principio, aplicaciones e impacto en la agricultura. (2003, San José, CR). Memoria. p. 150-165.

Urribarri, G. 2003. Compost-Vermicompost: sobre la necesidad de Regular su Producción y Calidad. (en línea). Buenos Aires, AR. Consultado el 15 de Abril 2004. Disponible en: <http://www.ilustrados.com/publicaciones/EpyZpkZyplFzyDIVBY.php>

Werner, M y Ramón, J. 1996. Vermiculture in Cuba. BioCycle. (6): 7-62.

6. Capítulo 2. Nuevas opciones al manejo de la Sigatoka negra.

Lixiviados de compost y lombricompost, una alternativa para el control biológico de la Sigatoka negra en plátano en condiciones de invernadero¹.

Resumen

La utilización de los lixiviados de compost y lombricompost es una nueva herramienta aplicada en la supresividad de enfermedades a nivel agrícola en donde se ha reportado una disminución en la incidencia de enfermedades. El objetivo del presente trabajo fue el de evaluar el uso de estos productos proveniente de desechos de broza de café, banano-plátano y estiércol vacuno con la finalidad de reducir la incidencia de la Sigatoka negra en plantas de plátano susceptible cultivados en invernadero. Los productos fueron evaluados en forma preventiva y curativa, se comparó con productos químicos Propiconazole, Clorotalonil, un adherente y agua. Para la inoculación artificial del patógeno se usó una suspensión conidial con una concentración de 2×10^5 conidias/ml. La enfermedad se evaluó mediante la escala de Fouré y se estimó la curva de progreso de la enfermedad en función del tiempo. En la etapa “preventiva” se observó que el lixiviado de lombricompost de broza de café y lixiviado de compost de estiércol vacuno retardó el desarrollo de la enfermedad entre 13 y 18 días en comparación con los testigos. A nivel post-sintomático se observó que el lixiviado de compost de estiércol vacuno y de broza de café conjuntamente con los lixiviados de lombricompost de broza de café y de estiércol vacuno retardaron la enfermedad entre 6 y 10 días comparados con el testigo.

Palabras claves: Sigatoka negra, supresividad de enfermedades, broza de café, estiércol vacuno, desechos de banano y plátano, clorotalonil, propiconazole, Musa.

Compost and lombricompost leachates, an alternative for black Sigatoka biological control.

Summary

Utilization of compost and lombricompost leachates is a new tool applied to suppress diseases at agricultural levels where a disease incidence reduction has been reported. The purpose of this work was to evaluate the use of products resulting from coffee brosse, banana-plantain wastes and livestock manure in order to reduce black Sigatoka incidencia under greenhouse conditions. These products were evaluated in a preventive and curative way comparing them with Propiconazole, Chlorothalonil (chemicals), an adherent and water. To conduct the pathogen's artificial inoculation a conidial

¹ Presentado en el Congreso Latinoamericano de Bioplaguicidas y Abonos Orgánicos. Anexo A1

suspension with a concentration of 2×10^5 conidium/ml was used. The disease was evaluated using Fouré's scale and the disease progress curve was estimated in time. During the "preventive" stage it was observed that the coffee brosse lombricompost leachate and the livestock manure compost leachate delayed disease development between 13 and 18 days compared to the checks. At post-symptomatic level, it was observed that the manure and coffee brosse leachates together with the coffee brosse and livestock manure lombricompots delayed the disease between 6 to 10 days compared to the checks.

Keywords: black Sigatoka, disease suppressiveness, coffee brosse, livestock manure, banana and plantain wastes, chlorothalonil, propiconazole, *Musa*

1. Introducción

A nivel mundial el cultivo de plátano para el año 2003, registró una superficie cultivada de 5.2 millones de hectáreas con 32.9 millones de toneladas métricas producidas; siendo las regiones más productoras en el mundo África, América Latina y el Caribe. Este cultivo es producido casi en su totalidad para el consumo local y tiene gran relevancia como producto en la dieta básica de los agricultores (FAO 2004).

Entre los principales problemas fitosanitarios que afectan la producción del cultivo de plátano se menciona enfermedades y plagas, siendo la Sigatoka negra la enfermedad que mayor pérdida económica presenta. Esta es causada por el hongo *Mycosphaerella fijiensis* Morelet, la cual produce necrosis del tejido foliar, reduciendo la producción en algunos casos sobre un 50% en fincas de pequeños productores que no pueden cubrir los altos costos de productos químicos para el control de la enfermedad.

El control químico y la selección de plantas resistentes han sido las estrategias más utilizadas para el control de la enfermedad, provocando el uso desmedido de fungicidas que ha causado enormes daños ambientales a la salud humana y animal (Guzmán 2003).

Existen muchos centros de investigación que actualmente emplean métodos alternativos de control, basados en mecanismos naturales que utilizan las plantas y buscando un beneficio económico sin el alto costo ambiental que se reportan con los métodos tradicionales.

Se ha investigado la utilización de microorganismos antagonistas como bacterias quitinolíticas y glucanolíticas los cuales ha permitido observar cierto control de la enfermedad en condiciones de laboratorio e invernadero (Arango 2000). Asimismo se están investigando inductores de resistencia endógenos y exógenos; entre ellos, se han estudiado inductores exógenos de origen biótico como

filtrados del cultivo de esporas del hongo *M. fijiensis* en incubación (Riveros y Lepoivre 1998; Riveros 1995).

En algunas experiencias realizados con lixiviados obtenidos a partir de la descomposición de subproductos de cosechas, estiércol de animales mezclados con materiales como: aserrín y residuos vegetales, han dado resultados positivos en la disminución en la severidad de Sigatoka negra tanto a nivel de campo como de invernadero (García y Apezteguia 2001).

El objetivo del presente trabajo fue el de determinar si el uso de lixiviados de compost y lombricompost, permite reducir la incidencia de la Sigatoka negra en cultivos de plátano a nivel de invernadero, con el fin de presentar una tecnología de fácil aplicación para el pequeño agricultor que le permita mejorar el rendimiento de la producción.

2. Materiales y métodos

2.1. Localización

Este trabajo de investigación se realizó entre los meses de enero y agosto del 2004, en el invernadero de Musáceas del proyecto FONTAGRO/BID/IICA/INIBAP del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), en Turrialba, provincia de Cartago, Costa Rica, ubicado a 09°52' de latitud N y 83°38' de latitud O y a una altura de 602 msnm. La precipitación media anual es de 2600 mm y la temperatura oscila entre los 22-28°C.

2.2. Material Vegetal

Para la evaluación de los lixiviados de compost y lombricompost se sembraron 400 cormos del cultivar Curraré (AAB) en macetas conteniendo suelo esterilizado. Estos cormos provenientes de la finca “La Montaña” (CATIE) fueron seleccionados de plantas vigorosas de alta productividad y con excelentes condiciones fitosanitarias, las cuales fueron desinfectadas y posteriormente sembradas.

2.3. Obtención del lixiviado de compost

Se evaluaron lixiviados obtenidos de compost de dos tipos de desechos: broza de café y estiércol vacuno. En el proceso de descomposición se registró a diario la temperatura, llegando a obtener entre 50 y 60°C los cuales son adecuados para la eliminación de microorganismos patógenos para la salud humana. El proceso de composteo tuvo una duración de tres meses, durante este periodo se realizó movimiento del material y adición de agua, cuando se requería. Una vez que el material alcanzó un promedio de 25°C, se trasladó a canoas en donde se comenzó a adicionar agua y a recircular el

lixiviado por cinco días para su posterior recolección en frascos de vidrio opacos y que fueron herméticamente cerrados, los cuales fueron almacenados en el proceso de fermentación, en un lugar oscuro, seco y sin agitación por 14 días, para su posterior uso en invernadero y análisis en laboratorio.

2.4. Obtención del lixiviado de lombricompost

Para la obtención de estos productos se utilizaron desechos de broza de café, estiércol vacuno y de banano-plátano. Fue necesario un proceso de pre-composteo para facilitar el trabajo de las lombrices y evitar ó reducir la mortalidad de las mismas por sustancias tóxicas. Posteriormente, se adicionaron 350 lombrices y se asperjó agua para mantener húmedo el material. El excedente del líquido fue recogido en un recipiente plástico colocado en la base de la canastilla, para su posterior recirculación. Cuando el lixiviado perdió el olor del material original, se recolectó en frascos de vidrio opacos y se cerraron herméticamente. De la misma manera que en el ítem 2.3. para la fermentación se almacenó el producto en un lugar oscuro, seco y sin agitación por 14 días, para su posterior uso en invernadero y análisis de laboratorio.

2.5. Evaluación de los lixiviados de compost y lombricompost a nivel Pre-sintomático

Se seleccionaron plantas con cinco hojas funcionales y la hoja número dos fue marcada en el pseudopecíolo y fue aquí en donde se llevaron a efecto las aplicaciones. Las aplicaciones tanto del inóculo como de los bioproductos se realizaron en el envés de las hojas, utilizando un nebulizador Devilbiss. En el caso de la suspensión conidial de *M. fijiensis* se utilizó una concentración de 2×10^5 conidios/ml. Este procedimiento de inoculación consistió en dos aplicaciones de inóculo con 15 minutos de intervalo y realizadas en las horas de la tarde. Inmediatamente después de la inoculación y cuando las hojas se habían secado, se colocaron las plantas en una cámara de humedad durante 72 horas, a una humedad relativa del 95% con nebulizaciones cada dos horas, para favorecer la germinación de la conidia y penetración de los tubos germinativos. Posteriormente, se mantuvieron en la cámara húmeda por ocho días consecutivos con dos nebulizaciones por la tarde únicamente.

A partir del séptimo día de realizada la inoculación se realizaron cuatro aplicaciones de los tratamientos a intervalos de dos días. Después de la inoculación (7, 9 y 11 días) se tomaron dos discos por hoja, los cuales fueron colorados por el envés con una gota de azul de algodón. Se dejaron por 30 minutos para lograr una buena coloración y seguidamente se lo llevó el disco a un portaobjeto con una gota de glicerina y una vez cubierto con un cubreobjeto, se observaron en un microscopio de luz con objetivo de 10x. Por cada planta se analizaron dos discos y por cada disco cuatro campos microscópicos donde se registró: número de conidios germinados/campo microscopio y número de estomas penetrados/campo microscopio.

A partir del día 18, iniciaron las lecturas de los síntomas en las hojas inoculadas de acuerdo a la escala de Fouré (1985) finalizando las mismas cuando la hoja presentó el estado 6 de la enfermedad; estas lecturas se realizaron cada 7 días.

2.6. Evaluación de los lixiviados de compost y lombricompost a nivel Post-sintomático

Esta sección del experimento fue dividida en dos partes: 1) lixiviados de compost y 2) lixiviados de lombricompost, ambos se compararon con fungicidas comerciales y testigos absolutos. Se realizó el mismo procedimiento que en el ensayo pre-sintomático para efectos de inoculación. Cuando las hojas presentaron lesiones en estado 3 (escala de Fouré 1985), se dibujó con un marcador de tinta indeleble un recuadro para lectura de 4 x 4 cm donde se marcaron tres estrías en estado 3.

Las variables evaluadas fueron el largo (mm) y el ancho (mm) de las estrías marcadas. Las mediciones se hicieron en un periodo de 25 días, durante los días 1, 3, 8, 13, 17, 21, 25. Los lixiviados evaluados fueron los mismos que en el ensayo pre-sintomático y se aplicaron por cinco días consecutivos; mientras que, los productos químicos se aplicaron por tres días consecutivos. En el primer día de la aplicación se realizó la primera lectura.

Tanto en el experimento pre-sintomático como el post-sintomático, se realizó un diseño de bloques completamente aleatorizado, en donde cada cámara de humectación era el bloque y los tratamientos evaluados durante esta fase fueron los siguientes: lixiviados de compost de broza de café (CBR) y de estiércol vacuno (CE); lixiviados de lombricompost de broza de café (LBR), estiércol vacuno (LE) y desechos de banano y plátano (LBP), a dos dosis (v:v) de 1:2 (D1) y 1:4 (D2) diluido en agua más adherente, aplicados en el envés de la hoja de plátano; además se utilizó como controles absolutos agua (AGT4), agua más adherente (NP7[®]) (ADT3) y como controles químicos se utilizó un fungicida comercial sistémico, Tilt[®] 25 EC (Propiconazole) en la dosis de 4000 ppm (PT1) y un protectante Bravo[®] 72 SC (Clorotalonil) en la dosis de 30000 ppm (CT2) (Syngenta 2004).

2.7. Análisis epidemiológico del área bajo la curva de progreso de la lesión (ABCPL)

El ABCPL se calculó a partir de los promedios de las variables largo y ancho en mm a nivel post-sintomático. Usado la formula propuesta por Tredway *et al.* (2003).

$ABCPL = \sum_{i=1}^{n-1} [(y_i + y_{i+1})/2] (t_{i+1} - t_i)$; donde,

$i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, \dots$

y_i = es el área foliar afectada en mm de la i -ésima medida

t_i = es el día de la i -ésima lectura

2.8. Análisis epidemiológico del área bajo la curva de progreso de la lesión relativa (ABCPL_R)

El análisis del ABCPL_R se calculó a partir de los promedios de las variables largo y ancho en mm² a nivel post-sintomático. Usando la fórmula propuesta por Stein y Kira (2002).

$$\text{ABCPL_R} = \sum_{i=0}^{\text{final}} [(T_i - T_{i-1})(P_{i-1}) + (T_i - T_{i-1})(P_i - P_{i-1})/2] / (T_{\text{final}} - T_0) (100)$$

Donde:

T_0 = fue el día de la primera lectura

T_i = fue el i-ésimo día después de la primera lectura y cuando se realizó una lectura más de la variable de respuesta

T_{final} = fue el total de días de respuesta

P_i = fue el área foliar afectada en mm² o la longitud o ancho de la lesión en mm en T_i

Para todos los parámetros parciales resultantes se realizó el análisis de varianza y la prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) para establecer diferencias significativas, utilizando el programa estadístico SAS para Windows.

2.9. Tasa de crecimiento del área lesionada y T_{50} .

Para la realización de este análisis se usaron los datos ajustados de la regresión lineal del Ln (PAL/1-PAL) donde, PAL es la proporción del área foliar lesionada y 1-PAL es el área evaluada que aún no presenta lesiones (sana). Los parámetros obtenidos por este análisis fueron validados por el coeficiente de regresión R^2 , que permite determinar la tasa de crecimiento de la lesión. Una vez obtenidas las regresiones lineales de cada uno de los catorce tratamientos, se realizó un análisis con el fin de determinar el momento en el que el área foliar evaluada alcanza el 50% de área lesionada. Este parámetro fue calculado a partir de $Y = a + bx$ transformada a $\ln(Y/1-Y)$ donde Y es la proporción de área lesionada que equivale el 50%, a es el intercepto, b es la pendiente de la recta y x es el T_{50} (Rivas 1993).

3. Resultados y discusión

3.1. Pre-sintomático: El análisis estadístico de los discos de hojas observados en microscopio detectó diferencias altamente significativas ($p < 0.001$) en el número de conidias germinadas y estomas penetrados a los 7, 9 y 11 días. Los tratamientos con productos químicos (propiconazole y clorotalonil) presentaron una mínima germinación de las conidias y ausencia en la penetración de los tubos terminativos vía estomas (cuadro 6). Resultados similares fueron reportados por Ramos (2002), quien determinó que el Clorotalonil detiene la germinación de las conidias, no así los lixiviados de compost enriquecidos con cal dolomítica evaluados. En el cuadro 6, señala que no existen diferencias numéricas

entre las medias de los diferentes lixiviados y el adherente, lo que se expresa claramente en los análisis cuando se realice las evaluaciones macroscópicas de la sintomatología de la enfermedad.

Cuadro 6. Conidias germinadas de *Mycosphaerella fijiensis* y estomas penetrados observados en microscopio de luz a 10x a los 7, 9 y 11 días después de la inoculación en plantas de plátano.

Tratamiento	Conidias Germinadas			Estomas Penetrados		
	Días después de la germinación			Días después de la germinación		
	7	9	11	7	9	11
Compost broza café D1	5.8 ± 1.7	5.8 ± 1.5	7.5 ± 1.4	7.5 ± 1.7	8.8 ± 3.4	10.1 ± 3.1
Compost broza café D2	5.1 ± 1.1	6.1 ± 1.2	6.5 ± 1	7.5 ± 1.7	6.2 ± 1.2	7.7 ± 1.7
Compost estiércol D1	4.1 ± 0.8	5.5 ± 1.6	7.5 ± 1.7	6.8 ± 1.6	7.3 ± 1.3	8.6 ± 0.9
Compost estiércol D2	5.3 ± 1.1	7.2 ± 3.1	8.5 ± 2.2	6.7 ± 1.2	9.6 ± 4.4	10.8 ± 4.5
Lix.lombr.banano y plátano D1	4.1 ± 0.9	6.3 ± 1.7	7 ± 1.6	6.1 ± 1.3	6.7 ± 1.8	8.2 ± 1.4
Lix.lombr.banano y plátano D2	4.6 ± 1.1	5.7 ± 1.3	7.5 ± 1.3	5.5 ± 1.2	7.7 ± 2.2	8.6 ± 3.2
Lix.lombr. broza café D1	3.8 ± 0.6	6.3 ± 1	7.6 ± 1.5	11.5 ± 5.1	5.8 ± 1.5	8.3 ± 1.8
Lix.lombr. broza café D2	3.6 ± 0.7	4.3 ± 0.9	4.7 ± 1	9.8 ± 3.1	8.0 ± 1.3	9.1 ± 1.1
Lix.lombr. estiércol D1	4.6 ± 1.0	4.5 ± 0.9	5.7 ± 1.5	6.8 ± 1.6	6 ± 1.3	7.3 ± 1.3
Lix.lombr. estiércol D2	4.5 ± 0.9	4.7 ± 1.0	7.1 ± 1.8	7.7 ± 1.9	7.2 ± 1.6	8.7 ± 1.04
Propiconazole	0.1 ± 0.3 (a)	0 (a)	0.13 ± 0.3 (a)	0 (a)	0 (a)	0 (a)
Clorotalonil	0 (a)	0.13 ± 0.3 (a)	0.6 ± 0.7 (a)	0 (a)	0 (a)	0 (a)
Adherente (NP7)	8.3 ± 2.2 (b)	7.3 ± 3 (b)	8.5 ± 3 (b)	16.2 ± 3.2 (d)	12.1 ± 3.7 (b)	15 ± 6.1 (b)

Al analizar los datos macroscópicos que se obtuvieron en la fase pre-sintomática, se vio un comportamiento muy similar entre los diferentes tratamientos a excepción del fungicida comercial propiconazole que presentó un menor grado de desarrollo de la enfermedad. El cuadro 7, muestra los cálculos del T₆, que es el tiempo en que se demora la enfermedad en alcanzar el estadio 6 de acuerdo a la escala de Fouré (1985); aquí se observa como el propiconazole alcanza éste estadio a los 158 días de

Cuadro 7. Parámetros epidemiológicos de la Sigatoka negra en los tratamientos lixiviados de compost y lombricompost en la etapa pre-sintomática, en invernadero.

TRATAMIENTO	a	b	R ²	T ₆
Lix.lombr.broza cafe D1	-0.438	0.076	0.96	84.7
Lix.lombr.broza café D2	-0.866	0.085	0.98	80.8
Lix.lombr.banano-plátano D1	-0.612	0.088	0.99	75.1
Lix.lombr.banano-plátano D2	-0.237	0.085	0.96	73.4
Lix.lombr.estiércol D1	0.031	0.081	0.96	73.7
Lix.lombr.estiércol D2	-0.2	0.085	0.95	72.9
Compost broza café D1	-0.3907	0.088	0.97	72.6
Compost broza café D2	-0.355	0.088	0.93	72.2
Compost estiércol D1	-0.231	0.083	0.97	75.1
Compost estiércol D2	-0.511	0.076	0.98	85.7
Propiconazole	0.47	0.035	0.93	157.9
Clorotalonil	-0.033	0.077	0.97	78.4
Adherente	0.831	0.072	0.89	71.8
Agua	0.705	0.078	0.89	67.9

a es el intercepto por donde pasa la recta

b es la pendiente de la recta de regresión $Y=a+bx$, donde $Y=\ln(0.50/1-0.50)$ y es considerada la tasa de crecimiento del área de lesión

R² es el coeficiente de regresión

T₅₀ es considerado el día de lectura en que la enfermedad alcanzó el 50% del área lesionada

realizada la inoculación en comparación a los testigos agua y adherente en donde se presentó a los 68 y 72 días, respectivamente. Los lixiviados el CED2 y el LBRD1 (cuadro 7) presentaron un retraso de la enfermedad de 17 días y con el LBRD2 de 12 días. Observando en el cuadro 7 el comportamiento de los lixiviados de compost y lombricompost frente al fungicida químico clorotalonil se pudo observar los tratamientos de lixiviados de CED2, LBRD1 y LBRD2, presentaron mayor tiempo para que el desarrollo de la curva de la enfermedad alcanzara el estadio 6. Este resultado es muy similar a lo observado a nivel de campo por Polanco (2004), en donde determinó la poca efectividad de este producto protestante en el control de la enfermedad.

3.3. Post-sintomático

El diseño no detectó diferencias estadísticas entre los tratamientos por lo que se tuvo que trabajar con el área bajo la curva del progreso de la lesión (Fig.5), observándose que los lixiviados de lombricompost no se presentaron diferencias significativas ($p>0.05$) para ninguno de los productos. Sin embargo, se debe resalta la diferencia con el fungicida propiconazole que según los cálculos de parámetros epidemiológicos (cuadro 8) el producto presenta el más bajo ABCPL seguido por el LBRD1, el LED1 y el clorotalonil. Se determinó que el propiconazole alcanzó una proporción de área lesionada de 0.50 en 62 días con respecto al control absoluto (adherente), cuyo valor es de 49 días después de la inoculación de la enfermedad. Se observó un retraso en el desarrollo de la enfermedad de 9 a 10 días cuando se aplicó el LED1 y el LBRD1 en comparación con el adherente (cuadro 8).

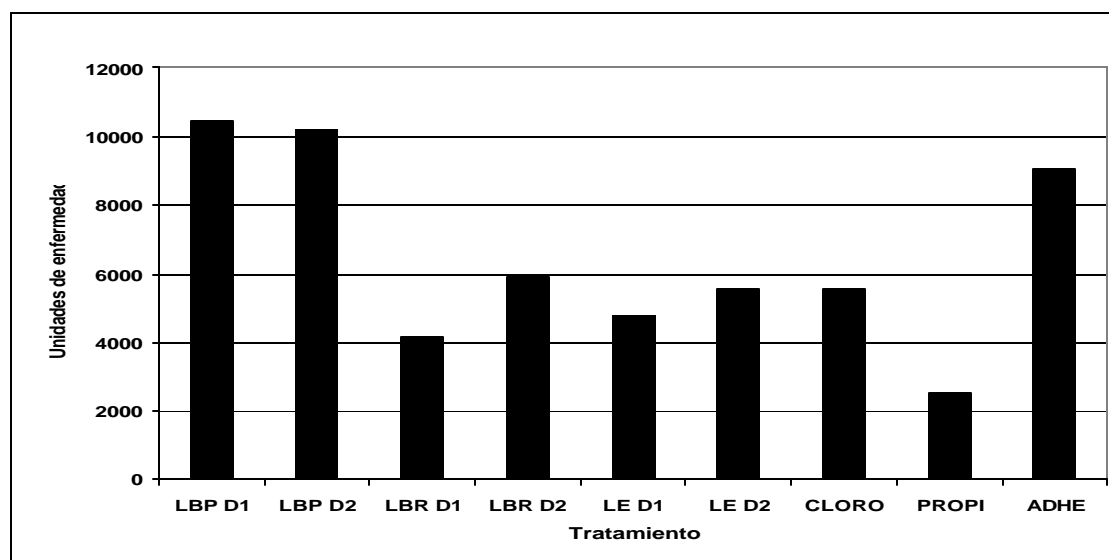


Figura 5. Área bajo al curva del progreso de la lesión para lixiviados de lombricompost aplicados a nivel post-sintomático para el control de Sigatoka negra, en invernadero.

Cuadro 8. Parámetros epidemiológicos de la Sigatoka negra en los tratamientos lixiviados de lombricompost en la etapa post-sintomática, en invernadero

TRATAMIENTO	a	b	R ²	T ₅₀	ABCPL	ABCPL_R
Lix.lombr.banano-plátano D1	-18.54	0.35	0.93	52.97	10468.96	1.00
Lix.lombr.banano-plátano D2	-20.06	0.38	0.95	52.79	10188.49	0.97
Lix.lombr.broza café D1	-16.02	0.27	0.90	59.33	4156.63	0.40
Lix.lombr.broza café D2	-16.85	0.30	0.94	56.17	5918.86	0.57
Lix.lombr.estiércol D1	-15.29	0.26	0.97	58.81	4770.02	0.46
Lix.lombr.estiércol D2	-17.6	0.31	0.95	56.77	5558.02	0.53
Clorotalonil	-14.61	0.26	0.97	56.19	5573.55	0.53
Propiconazole	-12.47	0.20	0.83	62.35	2515.68	0.24
Adherente	-22.89	0.46	0.85	49.76	9043.9	0.86

a es el intercepto por donde pasa la recta

b es la pendiente de la recta de regresión $Y=a+bx$, donde $Y=Ln(0.50/1-0.50)$ y es considerada la tasa de crecimiento del área de lesión

R² es el coeficiente de regresión

T₅₀ es considerado el día de lectura en que la enfermedad alcanzó el 50% del área lesionada

Analizando estadísticamente el ABCPL de los datos obtenidos con lixiviados de compost no se observaron diferencias estadísticas significativas ($p>0.05$) para ninguno de los productos, pero se observa el mismo comportamiento del propiconazole mencionado en el caso del lombricompost (Fig. 6). A nivel de parámetros epidemiológicos el producto que presenta el más bajo ABCPL es el propiconazole seguido en su orden por los lixiviados de CBRD1 y CED1 (cuadro 9).

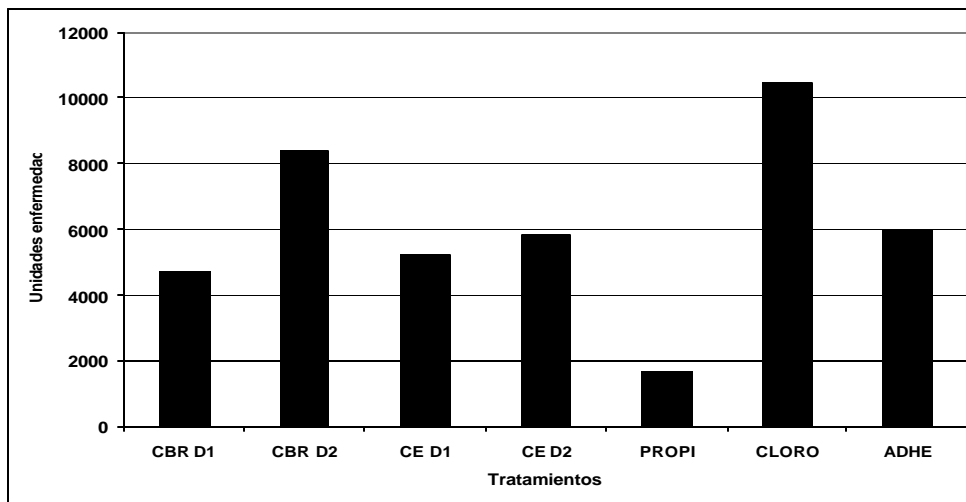


Figura 6. Área bajo la curva del progreso de la lesión para lixiviados de compost aplicados a nivel post-sintomático para el control de Sigatoka negra, en invernadero

De igual manera, en el cuadro 9, se puede observar que el propiconazole alcanza el T₅₀ en 52 días en comparación al adherente que llega a los 46 días después de la presión de inóculo de la enfermedad. Se observó que el fungicida clorotalonil presentó el mayor ABCPL alcanzando el T₅₀ de la enfermedad en

41 días, estableciendo que éste tipo de fungicida tiene poca efectividad para el control de la enfermedad (cuadro 9)

Cuadro 9. Parámetros epidemiológicos de la Sigatoka negra en los tratamientos lixiviados de compost en la etapa post-sintomática, en invernadero

TRATAMIENTO	a	b	R2	T50	ABCPL	RABCPL
Compost broza café D1	-20.53	0.43	0.83	47.74	4724.64	0.45
Compost broza café D2	-29.4	0.71	0.85	41.41	8413.79	0.80
Compost Estiércol D1	-21.48	0.46	0.84	46.70	5262.17	0.50
Compost Estiércol D2	-21.42	0.47	0.91	45.57	5819.48	0.56
Propiconazole	-17.62	0.34	0.94	51.82	1652.36	0.16
Clorotalonil	-30.27	0.74	0.91	40.91	10469.14	1.00
Adherente	-21.83	0.47	0.89	46.45	5995.38	0.57

a es el intercepto por donde pasa la recta

b es la pendiente de la recta de regresión $Y=a+bx$, donde $Y=\ln(0.50/1-0.50)$ y es considerada la tasa de crecimiento del área de lesión

R^2 es el coeficiente de regresión

T_{50} es considerado el día de lectura en que la enfermedad alcanzó el 50% del área lesionada

4. Conclusiones y perspectivas

- ?? Los lixiviados de compost de estiércol (CED2) y lixiviado lombricompost de broza de café (LBRD1 y LBRD2), presentaron las mejores características para ser considerados como protectantes y que se pueden combinar o sustituir a productos químicos como el Clorotalonil cuando se aplica en forma preventiva o pre-sintomático, debido posiblemente a los microorganismos que existe ó metabolitos que se puedan liberar durante el proceso y que afectan al patógeno.
- ?? Los lixiviados de compost de estiércol (CED1), broza de café (CBRD1) y lixiviado de lombricompost de broza de café (LBRD1) y de estiércol vacuno (LED1), presentaron características, en sus modos de acción, que pueden ser considerados como protectantes y que podrían reemplazar a productos químicos como el Clorotalonil cuando se aplica en forma curativa o post-sintomática.
- ?? Es prioritario, realizar pruebas a nivel de campo, en donde se presente mayor presión natural de inóculo y las condiciones climáticas sean favorables para el patógeno con el fin de determinar la eficacia de estos productos seleccionados como “promisorio” en el invernadero.
- ?? El lograr un retraso en el desarrollo de la enfermedad de la Sigatoka negra con la aplicación de los lixiviados de compost y de lombricompost, se debería realizar investigaciones sobre la alternancia de fungicidas sistémicos y de contacto con los lixiviados de compost y de lombricompost podría ser una buena alternativa a incluir dentro de un programa de manejo integral del cultivo.

5. Bibliografía

- Arango, M. 2000. Manejo de sustratos para el control biológico de Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) en el cultivo de Banano (Musa AAA). Tesis M.Sc. Turrialba, CR. CATIE. 102p.
- FAO. 2004. Base de datos estadísticos. Consultado el 30 de Agosto de 2004. Disponible en <http://faostat.fao.org/default.jsp?language=ES>
- Fouré, F. 1985. Black leaf streak disease of banana and plantains (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) study of the symptoms and stages of the disease in Gabon. IRFA. París.
- García, E; Apezteguía H. 2001. Estudio del Lixiviado de Compost y su efecto sobre el control de Sigatoka Negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) y el crecimiento del cultivo de Banano (Musa AAA). Tesis Lic. Ing. Agr. Guácimo CR, EARTH. 66 p.
- Guzmán, A. 2003. Situación de la Sigatoka negra en banano y plátano en el trópico americano. Memoria. Taller manejo convencional y alternativo de la Sigatoka negra, nematodos y otras plagas asociadas al cultivo de Musáceas. 11-13 Agosto 2003. Guayaquil. EC.
- Polanco, D. 2004. Validación en campo del potencial antifúngico de extractos de plantas sobre *Mycosphaerella fijiensis*, agente causal de la Sigatoka negra, en el cultivo de banano. Tesis Mag. Sc. Ibagué, CO. Universidad del Tolima. 138 p.
- Ramos, B. 2002. Uso de extractos de compost como una alternativa biológica para el control de *Mycosphaerella fijiensis* en la producción de banano orgánico. Tesis Lic. Agr. HO. Escuela Agrícola El Zamorano. 60p.
- Rivas, G. 1993. Detección de geminivirus en tomate mediante la hibridación de ácidos nucleicos y manejo de semilleros para reducir la incidencia de virosis transmitida por *Hemisia tubaci* (Gennadius) en el campo. Tesis de Mag.Sc. Turrialba, CR. CATIE. 92 p.
- Riveros, AS. 1995. Etude d'elicoteurs associés á la résistance du cultivar de bananier Yangambi Km 5 á *Mycosphaerella fijiensis* Morelet. Thése de Docteur en Sciences Agronomiques. Falculté Univrsitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux. Gembloux, BE.
- Riveros, AS. y Lepoivre, P. 1998. Mecanismos de defensa asociados con la resistencia total en la interacción *M. fijiensis* – musa. Memoria: I Seminario Internacional sobre la producción de plátano. Armenia, Quindío, CO. p 56-62.
- Stein, J and Kirk, W. 2002. Containment of existing potato late blight (*Phytophthora infestans*) foliar epidemics with fungicides. Crop Protection. 21:575-582.
- Syngenta Web site. 2004. Bravonil 500. Syngenta productos para la protección de cultivos (en línea). BR. Consultado el 18 de Septiembre de 2004. Disponible en <http://www.syngenta.com.br/pt/produtos/guia1.asp>

Syngenta Web site. 2004. Tilt. Syngenta productos para la protección de cultivos (en línea). BR. Consultado el 18 de Septiembre de 2004. Disponible en <http://www.syngenta.com.br/pt/produtos/guia1.asp>

Tredway, L; Stevenson, K and Burpee, L. 2003. Components of resistance to *Magnaporthe grisea* in “Coyote” and “Coronado” tall fescue. The American Phytopathological Society. Plant Disease. 87(8):906-912.

7. Nuevas opciones al manejo de la Sigatoka negra

Eficacia de lixiviados de compost y lombricompost en la supresividad de la Sigatoka negra en plantaciones de plátano en condiciones de campo.

Resumen

Actualmente el uso de los lixiviados de compost y lombricompost es considerado una nueva herramienta utilizada en la supresividad de enfermedades a nivel agrícola en donde se ha demostrado una disminución en la incidencia de enfermedades. El objetivo del presente trabajo fue el evaluar el uso de estos productos proveniente de desechos de broza de café, banano-plátano y estiércol vacuno con la finalidad de estudiar la incidencia y severidad de la Sigatoka negra en campo. Estos productos fueron evaluados en forma preventiva y curativa, se comparó con los productos químicos Propiconazole, Clorotalonil, un adherente y agua. Se evaluó mediante la determinación de la sintomatología de acuerdo a la escala de Fouré (1985) y el desarrollo de la enfermedad en función del tiempo. El método preventivo mostró que el lixiviado de lombricompost de banano-plátano y lixiviado de compost de estiércol vacuno retardaron el desarrollo de la enfermedad entre 7 y 8 días en comparación con los testigos. Mientras que, el sistema post-sintomático, reveló que los lixiviados de lombricompost de broza de café y de estiércol vacuno conjuntamente con el lixiviado de compost de estiércol vacuno retardan la enfermedad entre 14 y 18 días respecto a los testigos.

Palabras claves: Musa, supresividad de enfermedades, *Mycosphaerella fijiensis*, clorotalonil, propiconazole, Sigatoka negra.

Efficiency of compost and lombricompost leachates to suppress black Sigatoka in plantain exploitations

Summary

Currently, use of compost and lombricompost leachates is considered a new tool employed to suppress diseases at agricultural level where it has been demonstrated a disease incidence reduction. The purpose of this work was to evaluate the use of these products coming from coffee brosse, banana and plantain wastes and livestock manure to reduce black Sigatoka incidence and severity in the field. Products were evaluated in a preventive and curative way comparing them with Propiconazole, Chlorothalonil (chemicals), an adherent and water. The disease was evaluated measuring its symptoms by using Fouré's scale (1985). In a preventive way, it was observe that banana and plantain lombricompost leachate and the manure leachate delayed the disease development between 7 to 8 days

compared to the checks. After disease symptom appeared, it was observed that coffee brosse and manure lombricompost leachates together with the livestock manure compost leachate delayed the disease between 14 to 18 days compared to the checks.

Keywords: Musa, diseases suppressiveness, *Mycosphaerella fijiensis*, chlrothalonil, propiconazole, black Sigatoka.

1. Introducción

La Sigatoka negra causada por el hongo *Mycosphaerella fijiensis* Morelet, es el principal problema fitosanitario que afecta la producción de plátano en el mundo. Esta enfermedad produce necrosis del tejido foliar, disminuyendo la labor fotosintética y afectando con esto el llenado normal de los frutos, lo cual reduce sensiblemente la producción hasta en un 50% en fincas de pequeños productores.

El control químico y la selección de plantas resistentes han sido, las estrategias más utilizadas para el control de esta enfermedad. El uso intensivo e irracional de fungicidas, muchas veces superando las 50 aplicaciones en ciertas localidades, causa enormes daños ambientales para la salud humana y animal. Los pequeños y medianos cultivadores no pueden cubrir los altos costos que demanda el manejo de esta enfermedad en las condiciones actuales de evolución del patógeno.

Una de las preocupaciones de los productores, es la búsqueda de alternativas diferentes al uso de agroquímicos que puedan implementarse en programas de manejo integrado del cultivo. En este sentido, algunos centros de investigación se encuentran estudiando métodos basados en el uso de extractos naturales proveniente de plantas, en microorganismos antagonistas o sustratos que aplicados a nivel foliar puedan incrementar flora epifítica con relativo poder inhibitorio frente al patógeno (Polanco *et al.* 2004; Arciniegas *et al.* 2002). Asimismo, se están investigando inductores de resistencia endógenos y exógenos para el control de la Sigatoka negra; entre ellos, se han estudiado inductores exógenos de origen biótico como el filtrado de esporas de *M. fijiensis* en germinación (Riveros y Lepoivre 1998; Riveros 1995).

La utilización de lixiviados obtenidos de la descomposición de desechos de subproductos de cosechas como la broza de café, caña de azúcar, hojas y raquis de banano; así como, el uso de estiércol de animales en conjunto con otro tipo de materiales como el aserrín y residuos vegetales, han reportado resultados positivos en cuanto a la disminución en la severidad de Sigatoka negra, en plantaciones de banano bajo condiciones de invernadero (García y Apezteguia 2001).

Con la finalidad de reducir el uso de agroquímicos y de contribuir con una tecnología limpia, amigable con el ambiente y de fácil adopción por los pequeños productores de plátano de América Latina y el Caribe, se planteó como objetivo de este estudio el desarrollar y evaluar en condiciones de campo lixiviados de compost y lombricompost, como una nueva alternativa en el manejo de la Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*) en plátano

2. Materiales y Métodos

2.1. Localización

La investigación se realizó en la finca experimental “La Montaña” del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), ubicado en el cantón de Turrialba en la provincia de Cartago, Costa Rica. Ubicado a 09°52´ de latitud N y 83°38´ de latitud O y a una altura de 602 msnm. Con una precipitación media anual de 2600 mm y una temperatura que oscila entre 22 a 28°C.

2.2. Material vegetal

Para la siembra del cultivo se utilizaron cormos (1-2 kg) del cultivar “Curraré” obtenidos de plantas vigorosas y con excelentes condiciones fitosanitarias, los cuales fueron desinfectados y posteriormente sembrados. El sistema de siembra utilizado fue el de doble surco con 2 m entre plantas y 2.5 metros entre surco para una densidad de 2000 plantas/ha. Esta plantación de plátano recibió inóculo natural de *M. fijiensis* desde parcelas de banano Cavendish plantadas alrededor del ensayo a las cuales no se les realizó ninguna aplicación de fungicida químico, realizándose únicamente deshojas fitosanitarias.

A partir del cuarto mes de desarrollo de las plantas en campo, siguiendo el método pre-sintomático o preventivo (ensayo 1), se marcaron hojas sanas de plantas que presentaron hojas candela en estado 8 de acuerdo a la escala de Brun (1963), la cual fue marcada con cinta de color para identificar los diferentes tratamientos y repeticiones. Se trazó con marcador indeleble una cuadrado de 8 x 8 cm sobre el ápice izquierdo del haz de la hoja 1, en donde se realizó las aplicaciones de los productos y sus posteriores evaluaciones. En el caso del ensayo 2, con el sistema post-sintomático o curativo, fueron marcadas hojas que presentaban síntomas de la enfermedad en estado tres de acuerdo a la escala de Fouré (1985), los que recibieron las aplicaciones y evaluaciones programadas en el diseño. Los tratamientos fueron aplicados en horas tempranas de la mañana para evitar efectos de radiación solar y temperaturas sobre la actividad de los productos, para ello se empleó el método de ventana de inoculación a partir de Tapia (1988) y modificado por Polanco (2004).

2.3. Bioproductos alternativos para el manejo de la Sigatoka negra

Para la preparación de los bioproductos se utilizó la metodología citada en Larco *et al.* (2004) para evaluaciones en invernadero. Se utilizaron cinco lixiviados de las materias primas para el proceso de descomposición y la metodología citada para la obtención de lixiviados de compost y lombricompost.: lixiviado de lombricompost de estiércol vacuno (LE); lixiviado de lombricompost de broza de café (LBR); lixiviado de lombricompost de banano-plátano (LBP); lixiviado de compost de broza de café (CBR) y lixiviado de compost de estiércol vacuno (CE); además, se utilizaron como controles absolutos agua más adherente NP7[®] de Bayer a 0.001% (ADT3) y agua (AGT4); y como controles relativos, un fungicida comercial sistémico (Propiconazole, Tilt[®] 25 EC, Syngenta 2004) en la dosis de 4.000 ppm (PT1) y otro protectante (Clorotalonil, Bravo[®] 72 SC, Syngenta 2004) en la dosis de 30.000 ppm (CT2).

Antes de su utilización, los lixiviados fueron pasados por un doble filtro de etamina para evitar el paso de residuos gruesos y taponamiento de los aspersores. Previamente, se realizaron pruebas de fitotoxicidad y se establecieron las dosificaciones a utilizar desde el lixiviado puro (v:v) 1:2 (D1) y 1:4 (D2). Para la dilución se usó el NP7[®] de Bayer a 0.001%. Los productos en fresco diluidos, fueron dispensados en aspersores oscuros y transportados al campo para su inmediata aplicación. En ambos ensayos las aplicaciones se hicieron en el haz de la hoja de plátano.

2.4. Ensayo 1: en el método pre-sintomático, la primera aplicación se realizó en el mismo día de la selección de la hoja en la cual se reforzó con una aplicación adicional al día siguiente. Luego se realizaron tres aplicaciones más en los días 4, 6, 8 para un total de cinco aplicaciones. Las lecturas de los síntomas se hicieron a intervalos de ocho días iniciando en la semana de la última aplicación y durante seis semanas consecutivas. Para esto, sobre la misma ventana de aplicación, se delimitó un recuadro de 6 x 6 cm, lo que representó el área evaluada de 3600 mm². Los productos químicos comerciales, fueron aplicados solamente los días 1, 2 y 4 para evitar problemas de fitotoxicidad por aplicación continua del producto.

La variable evaluada fue el área foliar lesionada (mm²) siendo el mínimo valor cero y máximo 3600 mm² y se continuaron las mediciones con la metodología utilizada por Polanco (2004), considerándose el área lesionada total como la suma de las áreas de las lesiones desde el estado 1 al estado 6 según Fouré (1985).

Tanto en el experimento uno como en el dos, fueron conducidos bajo un diseño de bloques completamente al azar (DBCA). En cada bloque se tuvo los 14 tratamientos, el factor de bloqueo fue el día de lectura, habiendo un solo día de diferencia entre los dos bloques. Los tratamientos evaluados

surgen de una combinación de los factores tipo de extracto (5) con dosis (2) más 4 testigos, ubicados a la posición del haz de la hoja.

Los datos de las variables de respuesta fueron analizados mediante un análisis de varianza. Los promedios fueron comparados mediante una prueba de rangos múltiples de Duncan ($p < 0.05$).

2.5. Ensayo 2: en el sistema post-sintomático, las aplicaciones se realizaron sobre un recuadro de 14x14cm como ventana de inoculación, se aplicaron por cinco días consecutivos y los testigos se aplicaron tres días consecutivos; posteriormente, se trazó un recuadro de 6x6 cm dentro del cual se realizó la lectura, además se marcaron tres estrías dentro de cada cuadro, para darle seguimiento en el tiempo del pasar del E3 al E6 de síntoma más avanzado de la enfermedad.

Las variables que se evaluaron fueron el largo (mm) y el ancho (mm) de las estrías marcadas. Las mediciones se hicieron cada dos días por un periodo de 22. En el primer día de aplicación se realizó la primera lectura.

Los datos de las variables de respuesta fueron analizados mediante un análisis de varianza. Los promedios fueron comparados mediante una prueba de rangos múltiples de Duncan ($p < 0.05$). Todos los análisis estadísticos fueron procesados con el programa SAS System for Windows.

2.6. Análisis epidemiológico

Para el análisis de los resultados obtenidos en la fase pre-sintomática como pos-sintomática se utilizaron análisis epidemiológico y Ln de las áreas foliares lesionadas por *Sigatoka* negra.

2.6.1. Análisis del área bajo la curva de progreso de la lesión (ABCPL): éste análisis fue calculado a partir de los promedios totales y parciales de las áreas foliares afectadas en mm^2 para el ensayo en hojas sanas, y los promedios de las variables largo y ancho en mm en el ensayo de las hojas enfermas. Usado la fórmula propuesta por Tredway *et al.* (2003).

2.6.2. Análisis del área bajo la curva de progreso de la lesión relativa (ABCPL_R): se calculó a partir de los promedios totales y parciales de las áreas foliares afectadas en mm^2 en el ensayo de hoja sana; y de los promedios de las variables largo y ancho en mm^2 para el ensayo de la hoja enferma. Usando la fórmula propuesta por Stein y Kirk(2002).

Para los parámetros parciales resultantes se utilizaron análisis de varianza y una prueba de Duncan para establecer diferencias significativas con el programa SAS para Windows.

2.6.3. Determinación de la tasa de crecimiento del área de lesión y T_{50} : se usaron los datos ajustados de la regresión lineal del Ln (PAL/1-PAL) donde, PAL es la proporción del área foliar lesionada y 1-PAL es el área evaluada que aún no presenta lesiones (sana). Los parámetros obtenidos por este análisis están validados por el coeficiente de regresión R^2 y que permite determinar la tasa de crecimiento de la lesión. Posteriormente se estimó el T_{50} que es el tiempo en el que el área foliar evaluada alcanza el 50% de área lesionada, este parámetro fue calculado usando la fórmula de la pendiente $Y = a + bx$ transformada a $\ln(Y/1-Y)$ donde Y es la proporción de área lesionada (0.50) que equivale el 50%, a es el intercepto, b es la pendiente de la recta y x es el T_{50} (Rivas 1993).

3. Resultados y discusión

3.1. Ensayo 1: Utilización de lixiviados de compost y de lombricompost a nivel pre-sintomático para el control de Sigatoka negra, en el campo

Según los datos obtenidos en esta fase, el comportamiento de los productos en las primeras semanas fue muy homogéneo, esto se debe a la acción de los productos posiblemente como protectantes contra el patógeno. La acción protectante del producto se fue perdiendo por la discontinuidad del uso de los lixiviados. Los primeros síntomas o pizcas se pudieron observar a partir de los 18 días de haberse iniciado la aplicación de los productos. Sin embargo a partir de los 25 días se observó un comportamiento diferente entre los tratamientos y los testigos. Se obtuvo una menor área lesionada con el propiconazole y se observó una diferencia notable con LBRD2, CED1 y CT2 que fueron los productos con menor lesión foliar al final de la evaluación como se muestra en la Fig. 7.

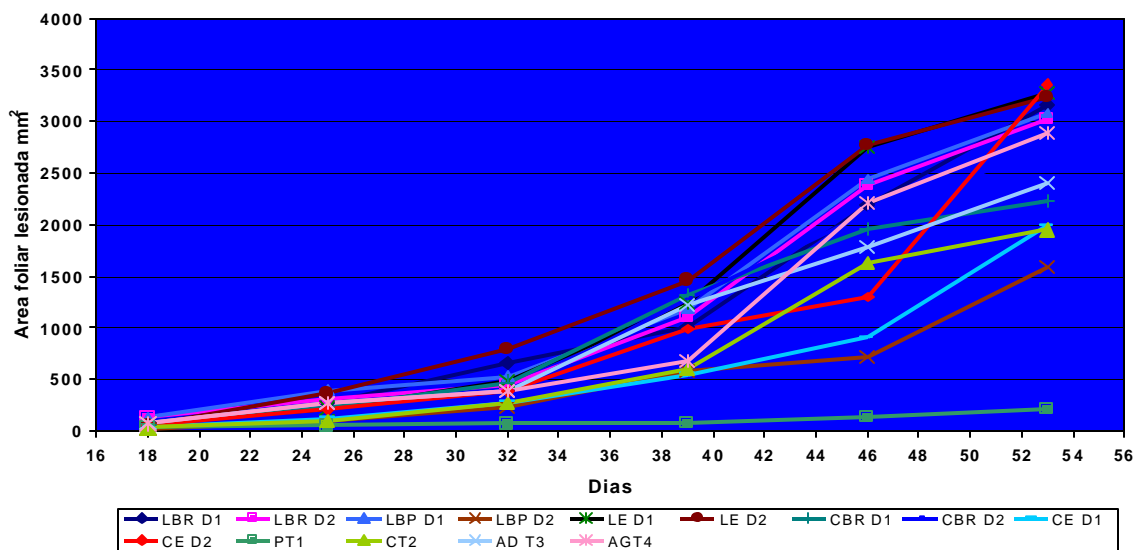


Figura 7. Área foliar lesionada (mm^2) debido a la Sigatoka negra en los tratamientos lixiviados de compost y lombricompost, en campo

Los resultados observados estadísticamente para la variable área foliar lesionada (mm^2), no se detectó diferencias estadísticas entre los tratamientos ($p > 0.05$), sin embargo el análisis del área bajo la curva de progreso de la lesión (Fig. 10), si muestra diferencias altamente significativas entre los diferentes tratamientos con un $p = 0.0002$ y se comprueba en la prueba de Duncan ($\alpha: 0.05$).

Se observa un comportamiento muy similar entre los diferentes lixiviados, y una gran diferencia con el producto propiconazole, en la dosis de 4000 ppm, el cual tiene un mecanismo de acción sistémico (Fig.8).

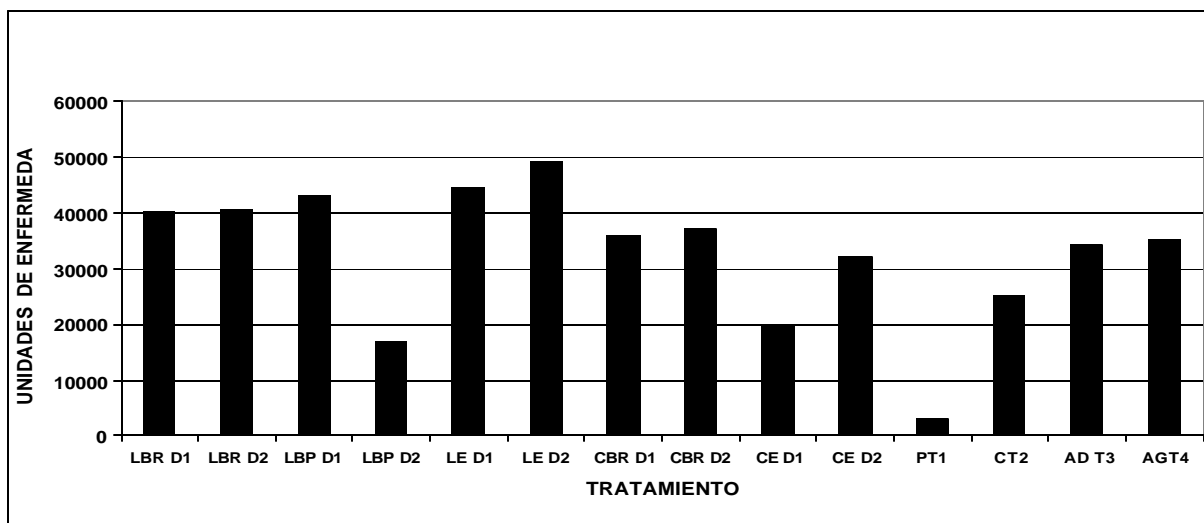


Figura 8. Unidades de enfermedad debidas a la Sigatoka negra en los tratamientos lixiviados de compost y lombricompost en la etapa pre-sintomática, en campo.

Con respecto al comportamiento del fungicida clorotalonil, no presentó diferencias estadísticas con los controles absolutos (AGT4 y ADT3). Estos resultados concuerdan por los registrados por Stover (1990) y Polanco (2004), quienes han demostrado que los fungicidas protectantes como el ditiocarbamato y el clorotalonil no ejercen un control adecuado de la Sigatoka negra cuando las condiciones ambientales son altamente favorables para el patógeno para la producción de abundantes ascosporas.

Los tratamientos que tuvieron menor ABCPL, ABCPL_R y menor tasa de crecimiento de lesión, fueron el fungicida comercial propiconazole (4000 ppm), el lixiviado LBP D2 y el lixiviado de CE D1, con valores en ABCPL_R de 0.06, 0.34 y 0.41, respectivamente (cuadro 10). Estos tratamientos también presentaron los valores de T_{50} más altos, observándose que los CE D1 y el LBP D2 presentan el 50% de daño foliar a los 50 y 51 días de iniciado la evaluación los cuales retrasan entre 7 y 8 días respectivamente en comparación con el agua que fue de 43 días. Si lo comparamos con el clorotalonil observamos que los lixiviados de CE D1 y LBP D2 tienen un T_{50} muy similar existiendo una diferencia de 3 a 4 días en el retraso de la enfermedad a favor de los lixiviados (cuadro 10)

Cuadro 10. Parámetros epidemiológicos de la Sigatoka negra en los tratamientos lixiviados de compost y lombricompost en la etapa pre-sintomática, en campo

TRATAMIENTO	a	b	R ²	T ₅₀	ABCPL	ABCPL_R
Lix.lombr.broza cafe D1	-6.04	0.15	0.98	40.3	40207.83	0.82
Lix.lombr.broza cafe D2	-5.52	0.14	0.97	39.4	40636.37	0.82
Lix.lombr.banano-plátano D1	-5.39	0.14	0.98	38.5	43082.72	0.87
Lix.lombr.banano-plátano	-6.63	0.13	0.96	51.0	16954.7	0.34
Lix.lombr.estiércol D1	-6.48	0.17	0.98	38.1	44557.45	0.90
Lix.lombr.estiércol D2	-6.23	0.17	0.98	36.6	49278.78	1.00
Compost Broza café D1	-5.69	0.13	0.96	43.8	35876.22	0.73
Compost Broza café D2	-6.53	0.16	0.99	40.8	37195.725	0.75
Compost Estiércol	-6	0.12	0.99	50.0	20079.33	0.41
Compost Estiércol D2	-6.8	0.17	0.92	40.0	32068.93	0.65
Propiconazole	-5.48	0.05	0.97	109.6	3139.71	0.06
Clorotalonil	-6.71	0.14	0.98	47.9	25100.95	0.51
Adherente	-5.44	0.12	0.98	45.3	34262.9	0.70
Agua	-6.03	0.14	0.96	43.1	35213.5	0.71

a es el intercepto

b es la pendiente de la recta de regresión $Y = a + bx$, donde $Y = \ln(0.50/1 - 0.50)$ y es considerada la tasa de crecimiento del área de lesión

R^2 es el coeficiente de regresión

T_{50} es considerado el día de lectura en la que el 50% del área estudiada presenta lesión

ABCPL es el área bajo la curva de progreso de la lesión

ABCPL_R es el área bajo la curva de progreso de la lesión relativa

3.2. Ensayo2: Utilización de lixiviados de compost y lombricompost a nivel Post-sintomático para el control de Sigatoka negra, en campo

En este ensayo se evaluó el crecimiento de estrías en estado tres de acuerdo a la escala de Fouré (1985) a las cuales se les midió el largo (mm) y el ancho (mm). A partir de estos datos se calculó el valor del área foliar lesionada (mm^2), en donde pudo observar que los tratamientos PT1, LED2, LBRD1 y CED2 presentaron los menores valores de lesiones en la hoja al final de la evaluación, como se ilustra en la Fig.9.

Al analizar los datos de área foliar lesionada registra diferencias estadísticas significativas ($p=0.0609$) lo que nos indica que hay diferencia por lo menos de un tratamiento con los demás, estas diferencias también son observadas al realizar la prueba de Duncan (α de 0.05).

Cuadro 11. Parámetros epidemiológicos de la Sigatoka negra en los tratamientos lixiviados de compost y lombricompost en la etapa post-sintomática, en campo.

TRATAMIENTO	a	b	R2	T ₅₀	ABCPL	ABCPL_R
Lix.Broza café D1	-7.99	0.21	0.98	38.0	543.26	0.03
Lix.Broza café D2	-6.4	0.38	0.87	16.8	18551.76	1.00
Lix.Banano-Plátano D1	-8.2	0.4	0.97	20.5	8584.34	0.46
Lix.Banano-Plátano D2	-8.2	0.41	0.97	20.0	10503.02	0.57
Lix.Estiercol D1	-7.8	0.38	0.96	20.5	9385.59	0.51
Lix.Estiercol D2	-8.24	0.21	0.98	39.2	461.84	0.02
Compost Broza café D1	-7.59	0.34	0.98	22.3	6825.83	0.37
Compost Broza café D2	-7.69	0.37	0.98	20.8	8686.89	0.47
Compost Estiercol D1	-7.55	0.29	0.95	26.0	3969.84	0.21
Compost Estiercol D2	-8.09	0.23	0.94	35.2	915.93	0.05
Propiconazole	-6.79	0.10	0.74	67.9	333.59	0.02
Clorotalonil	-7.69	0.37	0.97	20.8	9305.68	0.50
Adherente	-7.98	0.38	0.97	21.0	8631.88	0.47
Agua	-8.32	0.39	0.96	21.3	7863.99	0.42

a es el intercepto por donde pasa la recta

b es la pendiente de la recta de regresión $Y = a + bx$, donde $Y = \ln(0.50/1 - 0.50)$ y es considerada la tasa de crecimiento del área de lesión

R² es el coeficiente de regresión

T₅₀ es considerado el día de lectura en la que el 50% del área estudiada presenta lesión

ABCPL es el área bajo la curva de progreso de la lesión

ABCPL_R es el área bajo la curva de progreso de la lesión relativa

El análisis de ABCPL, ABCPL_R y T₅₀ (cuadro 11) se observó que el PT1, los lixiviados de LED2, LBRD1 y el CED2 presentan un T₅₀ de 68, 39, 38 y 35 días respectivamente que comparándolo con el T₅₀ del control agua AGT4 de 21 días, se vé una diferencia de retraso de la enfermedad entre 14 y 18 días (cuadro 11). En cuanto al fungicida CT2 no presenta ningún tipo de control de la enfermedad cuando la planta ya presenta sintomatologías, observándose que tienen el mismo comportamiento con

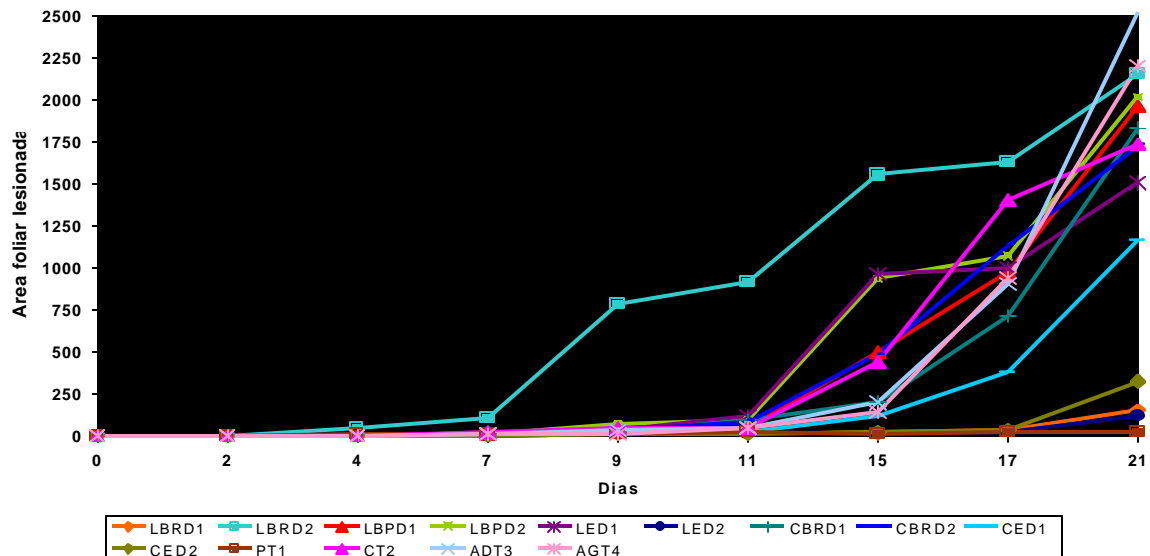


Figura 9. Área foliar lesionada (mm²) en los tratamientos lixiviados de compost y lombricompost a nivel post-sintomático para el control de Sigatoka negra, en campo.

agua tanto en ABCPL, ABCPL_R y T₅₀. Esto debido a que el clorotalonil es un producto protectante que no tiene ningún tipo de control cuando el hongo se encuentra en el interior de la planta (cuadro 11). De igual manera, en el caso pre-sintomático podemos observar que los lixiviados de compost y de lombricompost presentan una acción protectante por 11 días después de la aplicación del producto en donde el patógeno no desarrolla la sintomatología de la enfermedad, posterior a éste tiempo se ve una diferenciación de los diferentes tratamientos a excepción del LED2, LBRD1 y el CED2 los cuales mantienen una tendencia baja en la severidad de la enfermedad por 17 días después de la aplicación del producto

4. Conclusiones y perspectivas

- ?? El lixiviado de lombricompost de Banano y plátano (LBDP2) y el lixiviado de compost de estiércol (CED1) presentaron las mejores características para ser considerados como protectantes, cuando aplicamos en forma preventiva ó pre-sintomática en campo, pudiendo lograr un retraso de la enfermedad de 4 días y de 8 días con el agua.
- ?? Los lixiviados de lombricompost de broza de café (LBRD1) y el de estiércol (LED2), así como el lixiviado de compost de estiércol (CED2), presentan las mejores resultados para poder reemplazar a los productos químicos protectantes como el clorotalonil, cuando se aplica a nivel post-sintomático en campo permitiendo un retraso adicional de 14 días de la enfermedad.
- ?? Es aconsejable llevar estos bioproductos a una escala semicomercial y aplicarlos en plantaciones con agroecosistemas y presiones de selección diferentes para ver si mantiene su efecto antifúngico.

5. Bibliografía

- Arciniegas, A; Riveros, AS, Loaiza, J. 2002. Efecto de extractos vegetales sobre el desarrollo *in vitro* de *Mycosphaerella fijiensis*, agente causal de la Sigatoka negra en Musáceas. *In XV Reunión Internacional ACORBAT (2002, Cartagena, CO). Memorias.* p. 242.
- Brun, J. 1963. La cercosporiare du bananier these Doctoral d Etat Universite de París.
- Fouré, F. 1985. Black leaf streak disease of banana and plantains (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) study of the symptoms and stages of the disease in Gabon. IRFA. París.
- García, E; Apezteguia H. 2001. Estudio del Lixiviado de Compost y su efecto sobre el control de Sigatoka Negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) y el crecimiento del cultivo de Banano (Musa AAA). Tesis Lic. Ing. Agr. Guácimo CR, EARTH. 66 p.
- Polanco, D. 2004. Validación en campo del potencial antifúngico de extractos de plantas sobre *Mycosphaerella fijiensis*, agente causal de la Sigatoka negra, en el cultivo de banano. Tesis Mag. Sc. Ibagué, CO. Universidad del Tolima. 138 p.

- Polanco, D; Riveros, AS; Guzmán, M. 2004. Evaluación en campo del potencial antifúngico de extractos de plantas sobre *Mycosphaerella fijiensis* en Banano. In XVI Reunión Internacional ACORBAT (2004, Oaxaca, MX). Memorias. p. 179-183.
- Rivas, G. 1993. Detección de geminivirus en tomate mediante la hibridación de ácidos nucleicos y manejo de semilleros para reducir la incidencia de virosis transmitida por *Hemisia tubaci* (Gennadius) en el campo. Turrialba, CR. Tesis de Maestría. CATIE. 92 p.
- Riveros, AS. 1995. Etude d'elicoteurs associés á la résistance du cultivar de bananier Yangambi Km 5 á *Mycosphaerella fijiensis* Morelet. Thèse de Docteur en Sciences Agronomiques. Falculté Univrsitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux. Gembloux, BE. Resumen en: Musarama Junio 1997. Vol. 10(1): 19.
- Riveros, AS. y Lepoivre, P. 1998. Mecanismos de defensa asociados con la resistencia total en la interacción *M. fijiensis* – musa. Memoria: I Seminario Internacional sobre la producción de plátano. Armenia, Quindío, CO. p 56-62.
- Stein, J and Kirk, W. 2002. Containment of existing potato late blight (*Phytophthora infestans*) foliar epidemics with fungicides. Crop Protection. 21:575-582.
- Stover, R. 1990. Sigatoka leaf spots: thirty years of changing control strategies. Sigatoka Leaf spots diseases of banana, INIBAP. Fullerton R, Stover R (Eds).Montpellier FR. pp 66-74.
- Syngenta Web site. 2004. Bravonil 500. Syngenta productos para la protección de cultivos (en línea). BR. Consultado el 18 de Septiembre de 2004. Disponible en <http://www.syngenta.com.br/pt/produtos/guia1.asp>
- Syngenta Web site. 2004. Tilt. Syngenta productos para la protección de cultivos (en línea). BR. Consultado el 18 de Septiembre de 2004. Disponible en <http://www.syngenta.com.br/pt/produtos/guia1.asp>
- Tapia, A. 1988. Evaluación del desarrollo de síntomas de Sigatoka Negra *Mycosphaerella fijiensis* (difformis) en banano, bajo diferentes tratamientos de fungicidas. Tesis Lic. Agr. Turrialba, CR. UCR. 63p.
- Tredway, L; Stevenson, K and Burpee, L. 2003. Components of resistance to *Magnaporthe grisea* in “Coyote” and “Coronado” tall fescue. The American Phytopathological Society. Plant Disease. 87(8): 906-912.

8. Discusión general

El análisis global de la utilización de los lixiviados de compost y lombricompost, nos permitió evidenciar la necesidad de realizar un adecuado manejo de los materiales a ser composteados llevando un control riguroso de la temperatura, con el fin de evitar la presencia de microorganismos nocivos para la salud humana y prohibidos por la OMS y la OPS en la normativa de regulación de la seguridad alimentaria, tales como: *Salmonella*, *E. coli*, entre otros. Otro detalle interesante a tener en cuenta, es el de evitar considerar al tiempo como parámetro de madurez del material, ya que un buen producto final está dado por las características físicas y químicas que este presenta y determinado por: CO₂ y biomasa microbial, las cuales deben ser siempre valores bajos al finalizar el proceso de maduración. En conclusión, se debe tener cuidado con éste tipo de bioproductos, ya que un mal manejo en la etapa de composteo, como mencionamos arriba, provocaría la presencia de patógenos no deseados.

La utilización de estos productos nos permitió medir el efecto protectante, que permitió la prolongación en tiempo del desarrollo de síntomas de la enfermedad, comparándolo con los testigos cloratolonil, agua y adherente. Este no fue el caso cuando lo analizamos frente al control relativo, propiconazole, químico que por su acción sistémica es muy difícil de ponerlo a competir con un producto biológico, con fines de reemplazarlo. Los resultados de microscopia, revelaron que los lixiviados no afecta significativamente la germinación de conidias y penetración vía estomática del tubo germinativo de *Mycosphaerella fijiensis*, esto se consigno en el capítulo 2, cuadro 6, en comparación con los testigos.

Comparando estos datos de microscopia con los datos de evaluación mas avanzada en el desarrollo de los síntomas, a nivel de invernadero, podemos decir que existe concordancia en los resultados, en donde podemos ver que los lixiviados con menor valor en la germinación de conidias y penetración de estomas, son los que tienen un mayor tiempo en el desarrollo de la enfermedad. No obstante, el clorotalonil, siendo un producto químico clasificado como protectante, pierde su efecto de control una vez que el patógeno ingresa a la planta, coloniza los espacios intercelulares y produce la sintomía, haciendo inútil su aplicación posterior en fases post-sintomáticas, para el control.

Al examinar los resultados obtenidos a nivel de invernadero y de campo, podemos ver que en la etapa pre-sintomática el lixiviado de compost de estiércol de vacuno presenta en las dos fases un control del patógeno. Caso muy similar, se presenta en la fase post-sintomática en donde lixiviados provenientes del estiércol vacuno y de desechos de broza de café, se observa una reducción de la severidad de la enfermedad, concordando con investigaciones realizadas en diferentes países con el uso de diferentes lixiviados y concluyendo que los lixiviados provenientes de estiércol de animales son los mejores para

el control de enfermedades (Diver 2002a), muy probablemente esto se explica como respuesta a la carga microbial que estos presentan ó quizás, debido a la liberación de metabolitos, que de alguna manera intervienen en el proceso de protección.

9. Conclusiones generales

- ?? Para la elaboración de compostaje, es importante tomar en cuenta factores como: temperatura, humedad, pH y aireación, a los cuales es fundamental darles seguimiento. Esto con el fin de evitar la liberación de sustancias tóxicas y llevarlos a los umbrales de temperatura, adecuados para eliminar microorganismos patógenos para los seres humanos.
- ?? Los lixiviados compost de estiércol (LCD2) vacuno y broza de café (LBRD1 y D2), presentan características para ser considerados como protectantes y pueden ser utilizados para reemplazar productos químicos como el clorotalonil, cuando se aplica en forma preventiva o pre-sintomático, en invernadero.
- ?? Los lixiviados de compost estiércol dosis 1, compost broza de café dosis 1, lixiviado broza de café dosis 1 y el lixiviado estiércol dosis 1, presentan características, en sus modos de acción, que pueden ser considerados como protectantes y que pueden reemplazar a productos químicos como el clorotalonil cuando se aplica en forma de curativa o post-sintomática en invernadero.
- ?? Los lixiviados de lombricompost de banano-plátano dosis 2 y de compost de estiércol vacuno dosis 1 presentaron las mejores características para ser considerados como protectantes cuando se aplicaron en forma preventiva ó pre-sintomática en campo y, pueden, igualmente, reemplazar productos químicos como el clorotalonil.
- ?? Los lixiviados de lombricompost de broza de café dosis 1 y el de estiércol vacuno dosis 2, así como el lixiviado de compost de estiércol dosis 2, presentan las mejores características para reemplazar a los productos químicos protectantes como el clorotalonil cuando se aplica a nivel post-sintomático en campo.

10. Recomendaciones

- ?? Para obtener una buena calidad de los lixiviados de compost y lombricompost se recomienda aumentar el número de lombrices de tierra por canastilla, para disminuir el tiempo de descomposición y mejorar el grado de estabilidad del material.
- ?? Estudiar la compatibilidad de los lixiviados “promisorios” con fungicidas comerciales sistémicos y/o protectantes con el fin de incluirlos en programas de manejo integral de la enfermedad.
- ?? Evaluar otros tipo de desechos orgánicos de origen vegetal, animal o forestal para conocer si presenta efecto antifúngico para el control de la Sigatoka negra, previa pruebas de inocuidad para descartar problemas de seguridad alimentaria.
- ?? Continuar estudiando los mejores bioproductos “promisorios”, vía identificación de metabolitos secundarios en lixiviados y la presencia o ausencia de microorganismos mayoritarios en los sustratos o productos finales maduros.
- ?? Enriquecer los lixiviados “promisorios” con bacterias y/o hongos antagonistas a *M. fijiensis* como alternativa biológica de manejo combinado de la enfermedad.
- ?? Utilizando la misma metodología de evaluación de incidencia y severidad a la Sigatoka negra y, el mismo sistema de compost y lombricompost, desarrollar investigaciones con lixiviados fermentados anaeróbicamente adicionando fuente de energía y aquellos con fermentación aeróbica con y sin fuente de energía.

11. Referencias bibliográficas

- Adam, C. 1998. Is Japan ready for a new era in waste management ?.BioCycle. December. 78-79.
- Altieri, M. 1999. Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable. New York, US. Editorial Nordan-Comunidad. 338 p.
- Arango, M. 2000. Manejo de sustratos para el control biológico de Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) en el cultivo de Banano (Musa AAA). Tesis M. Sc. Turrialba, CR. CATIE. 102 p.
- Arciniegas, A; Riveros, AS, Loaiza, J. 2002. Efecto de extractos vegetales sobre el desarrollo *in vitro* de *Mycosphaerella fijiensis*, agente causal de la Sigatoka negra en Musáceas. In XV Reunión Internacional ACORBAT (2002, Cartagena, CO). Memorias. p. 242
- Aubert, C. 1998. El huerto biológico. Barcelona, ES. Ed. Integral Barcelona. 252 p.
- Belalcázar *et al.* 1998. Sistemas de producción. En Memorias Seminario Internacional sobre la producción del plátano. Armenia, CO. Mayo 1998. CORPOICA p 137-146.
- Benzing, A. 2001. Agricultura orgánica – fundamentos para la región andina: Abono orgánico. Villingen-Schwenningen, DE. Schnelldruck Fürth. 682 p.
- Blandon, G; Dávila, A; Rodríguez, V.1999. Caracterización microbiológica y Físico química de la pulpa de café sola y mucílago, en proceso de lombricompostaje. CENICAFE. 50(1): 5-23
- Blandón, G; Rodríguez, N y Dávila, M. 1998. Caracterización microbiológica y físico-química de los subproductos del beneficio de café en proceso de compostaje. Cenicafé. 49(3): 169-185.
- Brinton, W and Tränkner, A. 1996. Investigations into liquid compost extracts (“teas”) for the control of plant pathogenic fungi. Biocycle Vol. 11. 68
- Brun, J. 1963. La cercosporiare du bananier these Doctoral d Etat Universite de París.
- Carlier, J; Hayden, H; Rivas, G; Zapater, M.-F; Abadie, C; Aitken, E. 2003. Genetic differentiation in *Mycosphaerella* leaf spot pathogens. In Jacome, L; Lepoivre, P; Marín, D; Romero, R y Escalant, J. eds. Proceeding of the 2nd International workshop on *Mycosphaerella* leaf spot diseases held (2002, San José, CR). p. 123-129.
- Chalker, L. 2001. Compost. Utilization-Compost tea. Consultado 07 de Junio 2003. Disponible en www.whatcom.wsu.edu/ag/compost/cascadecuts.html
- Coger, C; Sullivan, D; Kropf, A. 2001. Cómo hacer y usar compost: La compostación rápida (caliente). Trad. The Oregon-Washington Master Gardener Handbook. Washington, US. Oregon State University. 12p.
- Collins, J. 1990. Lombriz de Tierra: Una fuente de concentrado para la ganadería. Boletín Agropecuario. Bogotá, CO. p. 3-9.

- Diver, S. 2002a. Compost Teas: A tool for Rhizosphere + Phyllosphere Agriculture slide notes. (en línea). Fayetteville, US. Universidad of Arkansas. 02 de Junio 2003. Disponible en <http://attra.ncat.org/attra-pub/compostteashow/compost-tea-slides/sld001.htm>
- Diver, S. 2002b. Notes on Compost Teas: A supplement to the ATTRA Publication "Compost Teas for Plant Disease Control". (en línea). Fayetteville, US. Universidad of Arkansas. 02 de Junio 2003. Disponible en <http://attra.ncat.org/attra-pub/PDF/compost-tea-notes.pdf>
- Droffner, M and Brinton, W. 1995. Survival of *Escherichia Coli* and *Salmonella* populations in aerobic thermophilic compost as measured with DNA gene probes. Zentralblatt fuer Hygiene und Umweltmedizin. no197: 387-397.
- Environmental Protection Agency (EPA). 2002. Guide to field storage of biosolids and other organic By-products used in Agricultura and for soil resource management. Appendix B. (en línea). US. Consultado el 14 de octubre 2004. Disponible en <http://www.epa.gov/owm/mtb/biosolids/fsguide/>
- FAO. 2004. Base de datos estadísticas. Consultado el 30 de Agosto de 2004. Disponible en <http://faostat.fao.org/default.jsp?language=ES>
- Fouré, F. 1985. Black leaf streak disease of banana and plantains (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) study of the symptoms and stages of the disease in Gabon. IRFA. París.
- Fraile, J y Obando, R. 1993. Lombricultura: Alternativa para el manejo racional de los desechos de banano. San José, CR, CORBANA. p. 17-22.
- García, E; Apezteguia H. 2001. Estudio del Lixiviado de Compost y su efecto sobre el control de Sigatoka Negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) y el crecimiento del cultivo de Banano (Musa AAA). Tesis Lic. Ing. Agr. Guácimo CR, EARTH. 66 p.
- Gliessman, S. 2002. Agroecología. Procesos ecológicos en Agricultura sostenible. Turrialba, CR. CATIE, 2002.
- Guzmán, A. 2003. Situación de la Sigatoka negra en banano y plátano en el trópico americano. Memoria. Taller manejo convencional y alternativo de la Sigatoka negra, nematodos y otras plagas asociadas al cultivo de Musáceas. 11-13 Agosto 2003. Guayaquil. EC.
- Hagen, M.2000. Using Your Compost. (en línea). Manchester, UK. 07 de Junio 2003. Disponible en <http://ceinfo.unh.edu/Agriculture/usecomp.pdf>
- Hébert, M. 1999. Compost as a Disease Suppressing tool. (en línea). Tanana, US. 07 de Junio 2003. Disponible en <http://home.corecom.net/~gardener/NewsLetter/May99/Compost.html>
- Herbert, M. 1999. Compost as a Disease Suppressing Tool. (en línea). Alaska, US. Consultado 22 Junio 2003. Disponible en <http://home.corecom.net/~gardener/NewsLetter/May99/Compost.html>
- Hoitink, H; Stone, A; Han, D. 1997(a). Supresión de enfermedades mediante el uso de compost. Manejo Integrado de Plagas. No.43. 31-39.

- Hoitink, H; Zhang, W; Han, D and Dick, W. 1997(b). Making compost to suppress plant disease. *BioCycle*. Abril, 1997: 40-42.
- Iannotti, D; Grebus, M; Toth, B; Madden, L; Hoitink, H. 1994. Oxygen respirometry to assess stability and maturity of composted municipal solid waste. *Journal Environmental Quality*. 23: 1177-1183.
- Ingham, E. 2001. Compost Tea : Promises and Practicalities article: Part 1. (en línea). Oregón, US. Soil Foodweb Incorporated. 10 de Junio 2003. Disponible en www.soilfoodweb.com/phpweb/userpage.php?op=view&uid=179
- Izquierdo, 1996. Agricultura orgánica # 1- 2. Proyecto piloto de zonas de reserva campesina. Cundinamarca, CO. IICA. 60 p.
- Juneta, V; Snyder, O and Marmer, B. 1997. Thermal destruction of *Escherichia coli* O157:H7 in beef and chicken: determination of D-and z-values. *International Journal Food Microbiology*. (35): 231.237.
- Kaufman, E. 1997. Composting for soil renewal (en línea). Consultado el 7 junio 2003. Disponible en <http://www.jerusalemcityfarmers.org/howtocompost.html>
- Klamer, M & Söchting, U. 1998. Fungi in a controlled compost system –with special emphasis on the thermophilic fungi. *Serie Acta Horticulturae*, Wageningen. 469: 405-413.
- Larco, E; Riveros, A.S; Rosales, F; Pocasangre, L; Rivas, G; Polanco, D. 2004. Lixiviados de compost y lombricompost, una alternativa para el control biológico de la Sigatoka negra en plátano. *In Memorias Congreso Latinoamericano de Bioplaguicidas y Agricultura Orgánica*. 18 al 20 de Octubre 2004, San José, Costa Rica. Disco compacto, 8 mm
- Maciel, CZJ.; Pries de Matos, A y S de Oliveira-Silva. 1998. La Sigatoka negra en Brasil. *INFOMUSA* 7 (1):31-32.
- Marin, D; Romero, R; Guzmán, M; Sutton, T. 2003. Black Sigatoka: an increasing threat to Banana cultivation. *Plant Disease*. 87(3): 208-222.
- Martinez, C. 1996a. Potencial de la lombricultura: Elementos básicos para su desarrollo. Texcoco, MX. *Lombricultura Técnica Mexicana*. 140 p.
- Martínez, C. 2000. Lombricultura y agricultura sustentable: Lombricultura, alternativa en la Agricultura Sustentable. Primera Edición. México D.F. MX. p.135-153.
- Martínez, G; Pargas, R; Muñoz, D. 1999. La Sigatoka negra y su avance en el territorio Venezolano. *Implicaciones socioeconómicas*. CENIAP.
- Meredith, D. 1970. Banana leaf spot disease (Sigatoka) caused by *Mycosphaerella musicola* leach. Surrey, UK. CABI. p. 117.
- Meridith, D and Lawrence, J. 1969. Black leaf streak disease of bananas: (*Mycosphaerella fijiensis*): symptoms of disease in Hawaii, and notes on the conidial state of the causal fungus. *Trans. Br. mycol. Soc.* 52,459-476.

- Mojica, E. 1994. Atlas agropecuario de Costa Rica. Suelos de Costa Rica. Eds. Cortés, G. Primera edición. San José. CR. Universidad Estatal a Distancia p 29-30.
- Montero, M. 1992. Elaboración de biabono (abono orgánico) a partir de pulpa de café. In Simposio sobre Caficultora Latinoamericana. MX. IICA-PROMECAFE. p. irr.
- Morales, Y y Campos, B. 1993. Algunas consideraciones sobre la protección del medio ambiente en Cuba. VII Forum de Ciencia y Técnica. p. 15-18.
- Mourichon, X and Fullerton, R. 2000. Geographical distribution of two species *Mycosphaerella musicola* Leach (*Cercospora musae*) and *Mycosphaerella fijiensis* Morelet (*Cercospora fijiensis*), respectively agents of Sigatoka disease and Black Leaf Streak Disease in bananas and plantains. *Fruits* 45:213-218.
- Patiño, L. 2001. Efecto de una fuente de energía, tres inductores de resistencia y un sustrato foliar sobre Sigatoka Negra en banano. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 91 p.
- Paul, J. 2000. Improving Soils – Manure or Compost? (en línea). BC Organic Grower Magazine. Consultado el 07 de Junio 2003. Disponible en <http://www.certifiedorganic.bc.ca/Booksand/BCOrganicGrower/Spring2000.htm>
- Pfaller, S; Vesper,S and Moreno, H. 1994. The use of PCR to detect thermal liquid manure disinfection. *J.Vet. Med.* no.38: 561-574.
- Ploetz, RC and Mourichon. 1999. First report of Black Sigatoka in Florida. *Plant Disease* 83:300.
- Polanco, D. 2004. Validación en campo del potencial antifúngico de extractos de plantas sobre *Mycosphaerella fijiensis*, agente causal de la Sigatoka negra, en el cultivo de banano. Tesis Mag. Sc. Ibagué, CO. Universidad del Tolima. 138 p.
- Polanco, D; Riveros, AS; Guzmán, M. 2004. Evaluación en campo del potencial antifúngico de extractos de plantas sobre *Mycosphaerella fijiensis* en Banano. *In* XVI Reunión Internacional ACORBAT (2004, Oaxaca, MX). Memorias. p. 179-183.
- Porta, J; López-Acevedo, M; Roquero, C. 1994. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Madrid, ES. Ed. Mundi-Prensa. 807 p.
- Ramos, B. 2002. Uso de extractos de compost como una alternativa biológica para el control de *Mycosphaerella fijiensis* en la producción de banano orgánico. Tesis Lic. Agr. HO. Escuela Agrícola El Zamorano. 60p.
- Rhodes, P. 1964. A new banana disease in Fidji. *Commonw Phytopathol. News* 10:38-41
- Riggle, D. 1996. Scaling up for commercial vermiculture. *BioCycle*. Febrero: 39-44.
- Rivas, G. 1993. Detección de geminivirus en tomate mediante la hibridación de ácidos nucleicos y manejo de semilleros para reducir la incidencia de virosis transmitida por *Hemisia tubaci* (Gennadius) en el campo. Tesis de Mag.Sc. Turrialba, CR. CATIE. 92 p.

- Rivas, G; Zapater, MF; Abadie, C. 2004. Founder effects and stochastic dispersal at the continental scale of the fungal pathogen of bananas *Mycosphaerella fijiensis*. *Molecular Ecology* 13, 471-482.
- Riveros, AS ; Giraldo, A and Gamboa, A. 2003. Microbiological control of black leaf streak diseases in *Mycosphaerella* leaf spot diseases of bananas: present status and outlook. INIBAP. San José, CR. 20-23 Mayo 2002. 287-297 p.
- Riveros, AS. 1995. Etude d'éliciteurs associés á la résistance du cultivar de bananier Yangambi Km 5 a *Mycosphaerella fijiensis* Morelet. Thèse du Docteur en Sciences Agronomiques. Falculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux, Gembloux, BE.
- Riveros, AS. y Lepoivre, P. 1998. Mecanismos de defensa asociados con la resistencia total en la interacción *M. fijiensis* – Musa. *In Memorias: I Seminario Internacional sobre la producción de plátano*. Armenia, Quindío, CO. p 56-62.
- Romero, Ma. Del Rocío. 2000. Lombricultura y agricultura sustentable: Agricultura orgánica. Elaboración y aplicación de abonos orgánicos. Ed. C Martínez y L Ramírez. Primera Edición. MX. p. 125-134.
- Rosales, FE y Pocasangre, LE. 2002. Mejoramiento convencional de banano y plátano: estrategias y logros. *In Memorias de la XV Reunión Internacional ACORBAT*. Augura, CO. p. 31-43
- Rovesti, L. 2004. Lombricultura. Manual Práctico. CU. 99 p.
- Rowe, P and Rosales, FE. 2000. Conventional Banana Breeding in Honduras. Ed. DR Jones. UK. CABI. p. 435-499
- Schönbeck, F. 1982. Zur Wirksamkeit induzierter Resistenz unter praktischen Anbaubedingungen. I. Echter Mehltau an Reben, Gurken und Weizen. *Z. Pfl.krh.Pfl.sch.* 89, 177-184.
- Siles, J. 1997. Producción de abono orgánico con pulpa de café mediante el lombricompostaje. Tesis Mag.Sc. Turrialba, CR, CATIE. 93 p.
- Singh, AV. 2000. Interest “brewing” about compost teas. (en línea). Alberta, CA. Organic Agriculture Center of Canada. 02 de Junio 2003. Disponible en http://www.organicagcentre.ca/na_comp_tea.html
- Soldier,W and Strauch, D. 1991. Kinetics of death of Salmonellae during thermal liquid manure disinfection. *Journal Veterinary Medical.* (38): 561-574.
- Soto, G. 2002. Abonos orgánicos para la producción sostenible de tomate. Ed. L. Pérez. Turrialba, CR. CATIE. 16 p.
- Stein, J and Kirk, W. 2002. Containment of existing potato late blight (*Phytophthora infestans*) foliar epidemics with fungicides. *Crop Protection.* 21:575-582.
- Stover, R and Simmonds,N. 1987. Bananas. Longman Scientific and Technical. Third edition. England, UK. 467 p.

- Stover, R. 1980. Sigatoka Leaf Spots of Bananas and Plantains. Plant Disease report 64(8): pp.750-756.
- Stover, R. 1990. Sigatoka leaf spots: thirty years of changing control strategies. Sigatoka Leaf spots diseases of banana, INIBAP. Fullerton R, Stover R (Eds).Montpellier FR. pp 66-74.
- Suslow, T. 1997. Los abonos de estiércol: Una perspectiva de seguridad alimentaria microbiana. California, US. p 1-6.
- Syngenta Web site. 2004. Bravonil 500. Syngenta productos para la protección de cultivos (en línea). BR. Consultado el 18 de Septiembre de 2004. Disponible en <http://www.syngenta.com.br/pt/produtos/guia1.asp>
- Syngenta Web site. 2004. Tilt. Syngenta productos para la protección de cultivos (en línea). BR. Consultado el 18 de Septiembre de 2004. Disponible en <http://www.syngenta.com.br/pt/produtos/guia1.asp>
- Tapia, A. 1988. Evaluación del desarrollo de síntomas de Sigatoka Negra *Mycosphaerella fijiensis* (difformis) en banano, bajo diferentes tratamientos de fungicidas. Tesis Lic. Agr. Turrialba, CR. UCR. 63p.
- Tazán L. 2002. Producción Platanera en Ecuador. Republica Dominicana. *In* Memorias III Reunión MUSALAC en Santo Domingo, Republica Dominicana.
- Tejerina, JC. 1998. First report of Black Sigatoka in Bolivia. Plant Dis. 81(11): 1332.
- Tim, R. 1980. Compost engineering. Principles and Practice: Temperature-time relationships. Primera edición. Lancaster, Pennsylvania, EU. Technomic Publishing Company. p.138-141.
- Tränkner, A; Brinton, W. 2000. Compost practices for control of grape powdery mildew (*Uncinula necator*). (en línea) Bonn, DE. 05 de Junio 2003. Disponible en <http://www.woodsend.org/pdf-files/will2.pdf>
- Tredway, L; Stevenson, K and Burpee, L. 2003. Components of resistance to *Magnaporthe grisea* in “Coyote” and “Coronado” tall fescue. The American Phytopathological Society. Plant Disease. 87(8):906-912.
- Uribe, L. 2003a. Inocuidad de abonos orgánicos. *In* Taller de abonos orgánicos (2003, San José, CR). Memoria. p. 122- 137.
- Uribe, L. 2003b. Calidad microbiológica e inocuidad de los abonos orgánicos. *In* Abonos Orgánicos: principio, aplicaciones e impacto en la agricultura. (2003, San José, CR). Memoria. p. 150-165.
- Urribarri, G. 2003. Compost-Vermicompost: Sobre la necesidad de Regular su Producción y Calidad. (en línea). Buenos Aires, AR. Consultado el 15 de Abril 2004. Disponible en: <http://www.ilustrados.com/publicaciones/EpyZpkZyplFzyDIVBY.php>
- Vidal, A. 1992. Sigatoka negra en Cuba. Nuevos focos de plagas y enfermedades. Boletín Fitosanitario de la FAO. 40. (1-2): 46.

- Villalta, R. 2001. Combate químico de la Sigatoka negra. Memoria. Taller internacional sobre capacitación e investigación para el manejo integrado de la Sigatoka negra en plátano en América Latina y el Caribe. 17 al 25 de Julio. CATIE. San José. CR.
- Werner, M y Ramón, J. 1996. Vermiculture in Cuba. BioCycle. (6): 7-62.
- Wickland, L; Murray, T; Jimerson, J. 2001. Brewing up solutions to pest problems. (en línea). Tempe, US.BioCycle. Journal of Composting & Organics. 07 de Junio 2003. Disponible en www.jgpress.com/BCArticles/2001/030164.html

2. ANEXOS

A1. LIXIVIADOS DE COMPOST Y LOMBRICOMPOST, UNA ALTERNATIVA PARA EL CONTROL BIOLÓGICO DE LA SIGATOKA NEGRA EN PLÁTANO

Erick Larco², Alba Stella Riveros², Franklin Rosales³, Luis E. Pocasangre⁴, Galileo Rivas⁵, Diana Polanco⁶.

Larco, E; Riveros, A.S; Rosales, F; Pocasangre, L; Rivas, G; Polanco, D. 2004. Lixiviados de compost y lombricompost, una alternativa para el control biológico de la Sigatoka negra en plátano. *In* Memorias Congreso Latinoamericano de Bioplaguicidas y Agricultura Orgánica. 18 al 20 de Octubre 2004, San José, Costa Rica. Disco compacto, 8 mm.

RESUMEN

La utilización de los lixiviados de compost y lombricompost es una nueva herramienta aplicada en la supresión de enfermedades tanto de cultivos agrícolas como forestales en donde se ha reportado una disminución en la incidencia de enfermedades. El objetivo del presente trabajo fue el de desarrollar y evaluar el uso de los lixiviados de compost y lombricompost proveniente de desechos de cosechas (broza de café, estiércol vacuno y desechos de banano y plátano) que nos permitieran reducir la incidencia de la Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) a nivel de invernadero en el cultivo de plátano Curraré. Los productos fueron evaluados en dos etapas: en forma preventiva (pre-sintomático) y en forma curativa (post-sintomático) comparados con un producto químico sistémico (Propiconazole), un protectante (Clorotalonil), un adherente (NP7) y agua. Se utilizó la técnica de inoculación artificial del patógeno con una concentración de 2×10^5 conidias/ml aplicados mediante un nebulizador Devilbiss. Se evaluó mediante la determinación de la sintomatología de acuerdo a la escala de Fouré (1985) y crecimiento de la enfermedad en función del tiempo. Los resultados fueron obtenidos mediante un análisis de regresión y análisis epidemiológico utilizando área bajo la curva del

² Escuela de Posgrado. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Cand. MSc Agricultura Ecológica. Turrialba, Costa Rica. E-mail: elarco@catie.ac.cr.

² Investigadora Asociada, Unidad de Fitoprotección, Departamento de Agroforestería y Agricultura, Convenio Universidad del Tolima-CATIE. Turrialba, Costa Rica. E-mail: asriveros@catie.ac.cr

³ Coordinador Regional para América Latina y el Caribe INIBAP, CATIE. Turrialba, Costa Rica. Email: frosales@catie.ac.cr

⁴ Asistente Coordinación Regional para América Latina y el Caribe INIBAP, CATIE. Turrialba, Costa Rica. Email: lpoca@catie.ac.cr

⁵ Coordinador del Grupo de Musáceas Tecnologías limpias. CATIE-INIBAP. Turrialba, Costa Rica. E-mail: grivas@catie.ac.cr

⁶ Asistente de investigación, Laboratorio de Diagnostico, Departamento de Agroforestería y Agricultura CATIE. E-mail: dianapolancocheverry@yahoo.com

progreso de la lesión (ABCPL), área bajo la curva del progreso de la lesión relativa (ABCPL_R) y T₅₀. A nivel pre-sintomático se observó que el lixiviado de lombricompost de broza de café en la dosis 1:4 (LBRD2) retardó el desarrollo de la enfermedad a estado 6 de acuerdo a Fouré (1985) por 13 días y que los lixiviados de lombricompost de broza de café dosis 1:2 (LBRD1) y el lixiviado de compost de estiércol dosis 1:4 (CED2) retardaron la enfermedad en 18 días al mismo estado en comparación con los testigos agua y adherente. A nivel post-sintomático se observó que el lixiviado de compost de estiércol dosis 1:2 (CED1) y lixiviado de compost de broza dosis 1:2 (CBRD1) retardo la enfermedad en 6 días al comparar con el químico protectante clorotalonil; asimismo el lixiviado de lombricompost dosis 1:2 (LBRD1) y el lixiviado de lombricompost de estiércol dosis 1:2 (LED1) retardó la enfermedad en 10 días comparando con el testigo adherente (NP7).

PALABRAS CLAVES: supresividad de enfermedades, broza de café, estiércol vacuno, desechos de banano y plátano, clorotalonil, propiconazole, Musa.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial el cultivo de plátano para el año 2003, registró una superficie cultivada de 5.2 millones de hectáreas con 32.9 millones de toneladas métricas producidas; siendo las regiones más productoras en el mundo África, América Latina y el Caribe. Este cultivo es producido casi en su totalidad para el consumo local y su relevancia como producto en la dieta básica de los agricultores (FAO 2004).

Entre los principales problemas fitosanitarios que afectan la producción del cultivo de plátano podemos mencionar enfermedades y plagas, siendo la Sigatoka negra la enfermedad que mayor daño presenta. Esta es causada por el hongo *Mycosphaerella fijiensis* Morelet, la cual produce necrosis del tejido foliar, reduciendo de esta manera la producción sobre un 50% en fincas de pequeños productores que no pueden cubrir los altos costos de productos químicos para el control de la enfermedad.

El control químico y la selección de plantas resistentes han sido hasta estos momentos, las únicas estrategias utilizadas para el control de la enfermedad provocando el uso irracional de fungicidas que ha causado enormes daños ambientales, a la salud humana y animal (Guzmán 2003).

Existen muchos centros de investigación que actualmente buscan métodos alternativos de control, los cuales están basados en mecanismos naturales que utilizan las plantas, métodos que pretenden tener un beneficio económico, sin tener un alto costo para el medio ambiente como se ha tenido con los métodos tradicionales.

Se ha investigado la utilización de microorganismos antagonistas los cuales ha permitido observar cierto control de la enfermedad en condiciones de laboratorio e invernadero mediante evaluaciones de bacterias quitinolíticas y glucanolíticas (Arango 2000, citado por Riveros *et al.* 2003).

Asimismo se está investigando inductores de resistencia tanto endógenos como exógenos como una alternativa para el control de la Sigatoka negra; entre ellos, se han estudiado inductores exógenos de

origen biótico liberados, como filtrados del cultivo desde esporas del hongo *M. fijiensis* en incubación (Riveros y Lepoivre 1998; Riveros 1995).

En algunas experiencias reportadas sobre la utilización de lixiviados que se obtuvieron a partir de la descomposición de subproductos de cosechas, estiércoles de animales en conjunto con otro tipo de material como el aserrín y residuos vegetales, se ha observado resultados positivos en cuanto a la disminución en la incidencia de Sigatoka negra a nivel de plantaciones de banano como en condiciones bajo invernadero (García y Apezteguia 2001).

El propósito del presente trabajo fue el de determinar si el empleo de lixiviados de compost y lombricompost, nos permitían reducir la incidencia de Sigatoka negra en plátano a nivel de invernadero, evitando con esta manera el uso desmedido de agroquímicos rutinariamente utilizados, con el fin de presentar una tecnología de fácil aplicación por parte del pequeño agricultor mejorando el rendimiento de la producción.

MATERIALES Y METODOS

Localización

Este trabajo de investigación se realizó entre los meses de Enero y Agosto del 2004, en el invernadero de Musáceas del proyecto FONTAGRO/BID/IICA/INIBAP del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), en el cantón de Turrialba en la provincia de Cartago, Costa Rica. Ubicado a 09°52' de latitud Norte y 83°38' de latitud Oeste y a una altura de 602 m.s.n.m. Con una precipitación media anual de 2600 mm y una temperatura que oscila entre los 22.5°C y 28°C.

Cultivo de plátano. Para realizar la validación de los lixiviados de compost y lombricompost se sembró 400 plantas de Curraré a nivel de macetas previa preparación y esterilización del suelo. Se utilizaron cormos del cultivar Curraré obtenidos de la plantación de la finca "La Montaña" perteneciente a CATIE. Estos cormos fueron seleccionados de plantas vigorosas, de alta productividad y con excelentes condiciones fitosanitarias, las cuales fueron desinfectadas y posteriormente sembradas un corno por maceta.

Se realizó todas las actividades agronómicas para el cultivo como son fertilización edáfica, foliar y prácticas culturales recomendadas para el control de hormigas u otras plagas del cultivo. No se realizó ninguna aplicación de tratamiento químico, realizándose únicamente labores fitosanitarias especializadas.

Obtención del lixiviado de compost. Para la obtención de estos productos se utilizó desechos de broza de café y estiércol vacuno los cuales tuvieron un proceso de descomposición en donde se registró a diario la temperatura, llegando a obtener entre los 50 y 60° C los cuales son adecuados para la eliminación de microorganismos patógenos para la salud humana. Este proceso de composteo tuvo una duración de 3 meses donde se realizó el movimiento del material y adición de agua cuando ésta la requería. Una vez que el material alcanzó en promedio los 25° C, se trasladó a canoas previamente elaboradas en donde se comenzó a adicionar agua y a recircular el lixiviado por 5 días para su posterior

recolección en frascos de vidrio opacos y herméticamente cerrados los cuales fueron almacenados en un lugar oscuro, seco y sin agitación por 14 días, para su posterior uso en invernadero y análisis en laboratorio.

Obtención del lixiviado de lombricompost. Para la obtención de estos productos se utilizó desechos de broza de café, estiércol vacuno y desechos de banano y plátano, a los cuales se les realizó un proceso previo de pre-composteo para facilitar el trabajo por parte de las lombrices y evitando mortalidad de las mismas por sustancias tóxicas. Una vez listo el material se adicionó 350 lombrices y alimento en la canastilla plástica, asperjando agua cada vez que requiera para mantener húmedo el material, el excedente fue recogido en un recipiente plástico en la base de la canastilla para su posterior recirculación, cuando el lixiviado perdió el olor del material original, se recolectó en frascos de vidrio opacos y herméticamente cerrados los cuales fueron almacenados en un lugar oscuro, seco y sin agitación por 14 días, para su posterior uso en invernadero y análisis de laboratorio. Los tratamientos probados durante esta fase fueron los siguientes: lixiviados de compost de broza de café (CBR) y de estiércol vacuno (CE); lixiviados de lombricompost de broza de café (LBR), estiércol vacuno (LE) y desechos de banano y plátano (LBP), a dos dosis (v:v) de 1:2 (D1) y 1:4 (D2), aplicados en el envés de la hoja de plátano; además se utilizó como controles absolutos agua (AGT4), agua más adherente (NP7[®]) (ADT3) y como controles químicos se utilizó un fungicida comercial sistémico, Tilt[®] 25 EC (Propiconazole) en la dosis de 4000 ppm (PT1) y un protectante Bravo[®] 72 SC (Clorotalonil) en la dosis de 30000 ppm (CT2) (Syngenta 2004).

Evaluación de los lixiviados de compost y lombricompost a nivel Pre-sintomático

Se escogió plantas que presentaron 5 hojas funcionales, seleccionando la hoja en estado 1 de acuerdo a la escala de Brun (1963) las cuales fueron identificadas de acuerdo a los respectivos tratamientos y dosificaciones, se realizó la primera aplicación de los tratamientos en el envés de las hojas. Se utilizó un nebulizador Devilbiss donde se colocó la suspensión conidial de *M.fijiensis* ajustadas a una concentración de 2×10^5 conidios/ml, se realizó dos presiones de inóculo con 15 minutos de intervalo, realizándose este procedimiento en las horas de la tarde. Inmediatamente después de la inoculación y cuando las hojas se hayan secado, se colocó las plantas en una cámara de humedad donde se las mantuvo por 72 horas a una humedad relativa sobre los 95% con nebulización cada 2 horas, mientras se presenta los primeros pasos de germinación de la conidia y penetración de los tubos terminativos, posteriormente se mantuvo en la cámara húmeda por 8 días consecutivos con nebulización por 2 ocasiones en la tarde. Las aplicaciones de los tratamientos se realizaron a partir de los 7 días de realizada la inoculación, por 4 ocasiones cada dos días. A partir del día 18, se comenzó las lecturas de los síntomas de acuerdo a la escala de Fouré (1985) finalizando las mismas, cuando la hoja presentó un estado 6 avanzado de la enfermedad, estas lecturas se realizaron a intervalos de 8 días.

Evaluación de los lixiviados de compost y lombricompost a nivel Post-sintomático

Este experimento fue dividido en dos partes: lixiviados de lombricompost y lixiviados de compost, cada uno se comparó con fungicidas comerciales y testigos absolutos. Se seleccionó plantas que presentaban hoja en estado 1 de acuerdo a la escala de Brun (1963), a los cuales se les realizó la inoculación de *M. fijiensis* siguiendo el mismo procedimiento que en el ensayo del pre-sintomático. Cuando las hojas presentaron lesiones en estado 3 de acuerdo a escala de Fouré (1985), se dibujó con un marcador de tinta indeleble un recuadro de 4 cm x 4 cm la cual es la ventana de lectura donde se marcó tres estrías en estado 3 dentro de cada cuadro.

Las variables evaluadas fueron el largo (mm) y el ancho (mm) de las estrías marcadas. Las mediciones se hicieron en un periodo de 25 días, durante los días 1, 3, 8, 13, 17, 21, 25. Los lixiviados evaluados fueron los mismos que en el ensayo del pre-sintomático y se aplicó por cinco días consecutivos, mientras que para los productos químicos se aplicó tres días consecutivos en el ensayo. En el primer día de la aplicación se realizó la primera lectura.

Análisis epidemiológico del área bajo la curva de progreso de la lesión (ABCPL)

El ABCPL se calculó a partir de los promedios de las variables largo y ancho en mm en el ensayo de las hojas enfermas. Usado la fórmula propuesta por Tredway *et al.* (2003).

$$\text{ABCPL} = \sum_{i=1}^{n-1} [(y_i + y_{i+1})/2] (t_{i+1} - t_i); \text{ donde,}$$

$$i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, \dots$$

y_i = es el área foliar afectada en mm de la i -ésima medida

t_i = es el día de la i -ésima lectura

Análisis del área bajo la curva de progreso de la lesión relativa (ABCPL_R)

Para el análisis del ABCPL_R se calculó a partir de los promedios de las variables largo y ancho en mm^2 para el ensayo de la hoja enferma. Usando la fórmula propuesta por Stein y Kirk (2002).

$$\text{ABCPL}_R = \sum_{i=0}^{\text{final}} [(T_i - T_{i-1})(P_i) + (T_i - T_{i-1})(P_i - P_{i-1})/2] / (T_{\text{final}} - T_0) (100)$$

Donde:

T_0 = fue el día de la primera lectura

T_i = fue el i -ésimo día después de la primera lectura y cuando se realizó una lectura más de la variable de respuesta

T_{final} = fue el total de días de respuesta

P_i = fue el área foliar afectada en mm^2 o la longitud o ancho de la lesión en mm en T_i

Para todos los parámetros parciales resultantes se realizó el análisis de varianza y la prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$) para establecer diferencias significativas, para esto se utilizó el programa estadístico SAS para Windows.

Determinación de la tasa de crecimiento del área y T_{50} .

Para la realización de este análisis se usó los datos ajustados de la regresión lineal del $\ln(PAL/1-PAL)$ donde, PAL es la proporción del área foliar lesionada y 1-PAL es el área evaluada que aún no presenta lesiones (sana). Los parámetros obtenidos por este análisis están validados por el coeficiente de regresión R^2 y que permite determinar la tasa de crecimiento de la lesión. Una vez obtenidos las regresiones lineales para cada uno de los catorce tratamientos se realizó un análisis con el fin de determinar el momento en el que el área foliar evaluada alcanza el 50% de área lesionada (T_{50}), este parámetro fue calculado usando la fórmula de la pendiente $Y=a + bx$ donde Y es la proporción de área lesionada (0.50) que equivale el 50%, a es el intercepto, b es la pendiente de la recta y x es el T_{50} (Rivas 1993).

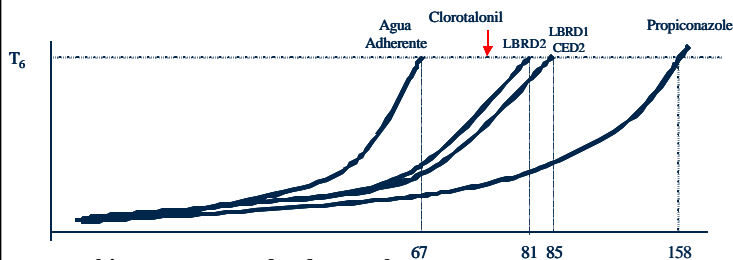
Resultados y discusión

Pré-sintomático: Al analizar los datos obtenidos en esta fase, se observó un comportamiento homogéneo entre los diferentes tratamientos a excepción del fungicida comercial propiconazole que es el que presentó menor grado de desarrollo de la enfermedad. Se realizó una regresión lineal de los tratamientos para conocer la ecuación de la recta ($Y=a+bx$), donde b es la pendiente de la recta y nos

permite establecer la rapidez con la que se presentan los síntomas de la enfermedad en la hoja. Como podemos observar en la tabla 2, en donde se calculó el T_6 que es el tiempo en que se demora la enfermedad en alcanzar el estadio 6 de acuerdo a la escala de Fouré (1985). Al analizarlo podemos darnos cuenta que el propiconazole presenta éste estadio a los 158 días de realizada la inoculación en comparación al agua y agua + adherente que se presenta a los 68 días. Comparando con los lixiviados el CED2 y el LBRD1 alcanza el estadio a los 85 días, y el LBRD2 alcanzan el estadio 6 de la enfermedad a los 80 días. Con respecto al comportamiento de los lixiviados de compost y lombricompost frente al fungicida

Tabla 2. Parámetros de regresión lineal de los lixiviados de compost y lombricompost para el control de Sigatoka negra sobre hojas sanas de plantas de plátano.

Tratamiento	a	b	R^2	T_6
LBR D 1	-0.438	0.076	0.96	84.71
LBR D 2	-0.866	0.85	0.98	80.78
LBP D 1	-0.612	0.88	0.99	75.14
LBP D 2	-0.237	0.085	0.96	73.38
LE D 1	0.031	0.081	0.96	73.69
LE D 2	-0.2	0.085	0.95	72.94
CBR D 1	-0.391	0.088	0.97	72.63
CBR D 2	-0.355	0.088	0.93	72.22
CED 1	-0.231	0.083	0.97	75.07
CED 2	-0.511	0.076	0.98	85.67
PT 1	0.47	0.035	0.93	15.8
CT 2	-0.033	0.077	0.97	78.35
ADT 3	0.831	0.077	0.89	67.13
AGT 4	0.705	0.078	0.89	67.88



a es el intercepto por donde pasa la recta
 b es la pendiente de la recta de regresión $Y= a+bx$, donde $Y= \ln(0.50/1-0.50)$
 y es considerada la tasa de crecimiento del área de lesión
 R^2 es el coeficiente de regresión
 T_6 es considerado el día de lectura en la que la enfermedad alcanzó el estadio 6 de acuerdo a la escala de Fouré (1985)

químico clorotalonil en la dosis de 30000 ppm se puede observar que el CED2 y los LBRD1 – LBRD2,

presentaron menor tiempo en el desarrollo de la enfermedad, corroborando con lo observado a nivel de campo por Polanco (2004), en donde determinó un bajo control del producto a la enfermedad a nivel de campo.

Post-sintomático

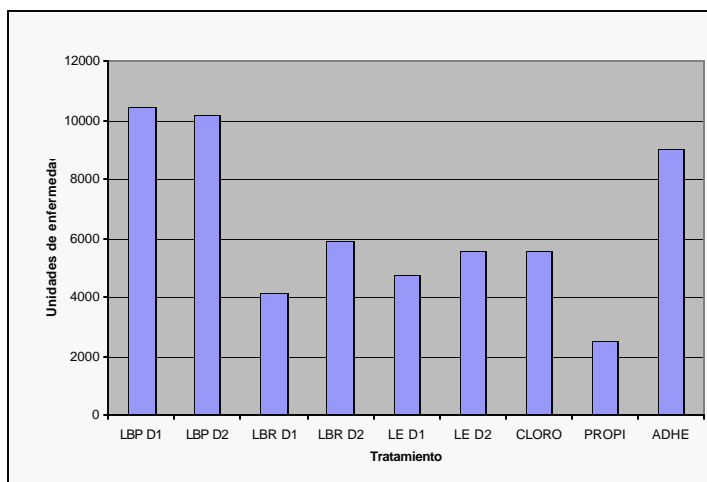
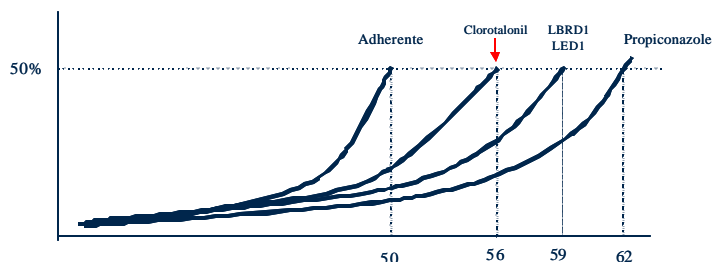


Figura 1. ABCPL para lixiviados de lombricompost aplicados a nivel de invernadero por el envés de hojas enfermas

Tabla 3. Parámetros epidemiológicos para la selección de lixiviados de lombricompost para el control de Sigatoka negra a nivel de invernadero sobre hojas enfermas de plantas de plátano.

TRATAMIENTO	a	b	R ²	T ₅₀	ABCPL	ABCPL_R
LBP D1	-18.54	0.35	0.93	52.97	10468.96	1.00
LBP D2	-20.06	0.38	0.95	52.79	10188.49	0.97
LBR D1	-16.02	0.27	0.90	59.33	4156.63	0.40
LBR D2	-16.85	0.30	0.94	56.17	5918.86	0.57
LE D1	-15.29	0.26	0.97	58.81	4770.02	0.46
LE D2	-17.6	0.31	0.95	56.77	5558.02	0.53
CLORO	-14.61	0.26	0.97	56.19	5573.55	0.53
PROPI	-12.47	0.20	0.83	62.35	2515.68	0.24
ADHE	-22.89	0.46	0.85	49.76	9043.9	0.86



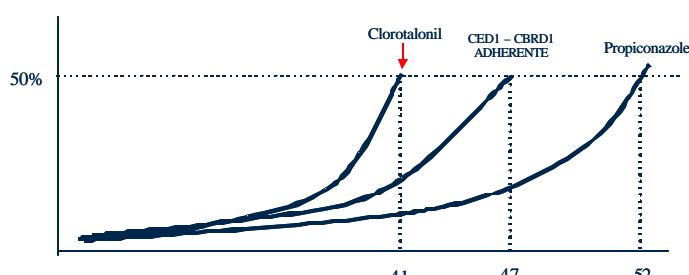
a es el intercepto por donde pasa la recta
b es la pendiente de la recta de regresión $Y = a + bx$, donde $Y = \ln(0.50/1 - 0.50)$ y es considerada la tasa de crecimiento del área de lesión
R² es el coeficiente de regresión
T₅₀ es considerado el día de lectura en la que la enfermedad alcanzó el 50% del área lesionada.

En este ensayo se evaluó la evolución de estrías en estado tres de acuerdo con la escala de Fouré (1985) a las cuales se les midió el largo y el ancho. A partir de estos datos se calculó el valor del área foliar lesionada (mm²). Estadísticamente estos resultados no presentaron diferencias estadísticas por lo que se realizó una transformación a área bajo la curva del progreso de la lesión (figura 1). Al realizar el análisis estadístico de ABCPL de los lixiviados de lombricompost no se observaron diferencias significativas ($p > 0.05$) para ninguno de los productos, pero se observa cierta diferencia con el fungicida propiconazole. Al utilizar parámetros epidemiológicos se observó que el producto que presenta el más bajo ABCPL es el propiconazole seguido en su orden de LBRD1, el LED1 y el clorotalonil en dosis de 30000 ppm. Se observó que el propiconazole alcanza una proporción de área lesionada de 0.50 en 62 días con respecto al control absoluto (adherente), cuyo valor es de 49 días después de la inoculación de la enfermedad; mientras se pudo observar un retraso en el desarrollo de la enfermedad entre 9 y 10 días cuando se aplicó los LED1 Y

LBRD1 a nivel del envés de las hojas, valores que equivalen a 58 y 59 días respectivamente después de la inoculación cuando comparamos con el adherente (Tabla 3).

Tabla 4. Parámetros epidemiológicos para la selección de lixiviados de compost para el control de Sigatoka negra a nivel de invernadero sobre hojas de plantas de plátano

TRATAMIENTO	a	b	R ²	T ₅₀	ABCPL	RABCPL
CBR D1	-20.53	0.43	0.83	47.74	4724.64	0.45
CBR D2	-29.4	0.71	0.85	41.41	8413.79	0.80
CE D1	-21.48	0.46	0.84	46.70	5262.17	0.50
CE D2	-21.42	0.47	0.91	45.57	5819.48	0.56
PROPI	-17.62	0.34	0.94	51.82	1652.36	0.16
CLORO	-30.27	0.74	0.91	40.91	10469.14	1.00
ADHE	-21.83	0.47	0.89	46.45	5995.38	0.57



a es el intercepto por donde pasa la recta
 b es la pendiente de la recta de regresión $Y = a + bx$, donde $Y = \ln(0.50/1 - 0.50)$ y es considerada la tasa de crecimiento del área de lesión
 R^2 es el coeficiente de regresión
 T_{50} es considerado el día de lectura en la que la enfermedad alcanzó el 50% del área lesionada.

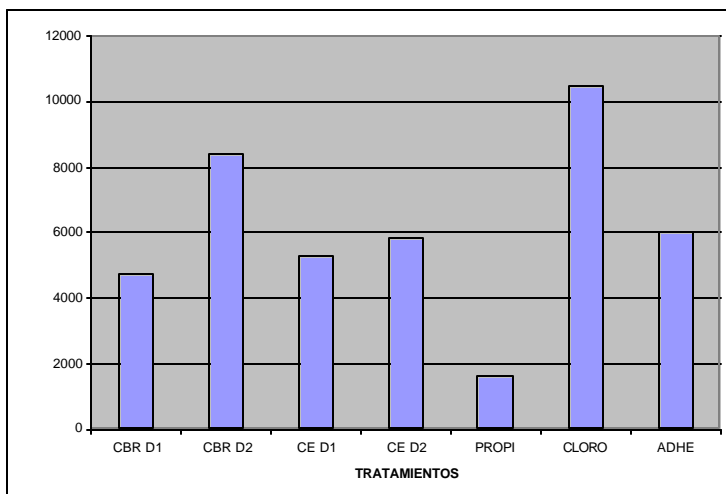


Figura 2. ABCPL para lixiviados de compost aplicados a nivel de invernadero por el envés de hojas enfermas.

Al realizar el análisis estadístico de ABCPL de los lixiviados de compost no se observaron diferencias significativas ($p > 0.05$) para ninguno de los productos, pero se observa una menor incidencia de la enfermedad con el fungicida propiconazole (Figura 2). A nivel de parámetros epidemiológicos el producto que presenta el más bajo ABCPL es el propiconazole seguido en su orden por los lixiviados de CBRD1 y CED1.

Se observó que el propiconazole alcanza una proporción de área lesionada de 0.50 en 52 días con respecto al control absoluto (adherente), cuyo valor es de 46 días después de la inoculación de la enfermedad; mientras que los lixiviados de compostaje no se pudieron observar un retraso en el desarrollo de la enfermedad comparando con el testigo absoluto (adherente). En cuanto al fungicida clorotalonil se observó que presentó el mayor ABCPL y alcanzó el T_{50} de la enfermedad en 41 días, estableciendo que este tipo de fungidas es inadecuado para el control de la enfermedad (Tabla 4)

Conclusiones

?? Los lixiviados de compost de estiércol dosis 1:4 (CED2) y lixiviado lombricompost de broza de café dosis 1:2 y 1:4 (LBRD1 y LBRD2), presentan características para ser considerados como

protectantes y que pueden reemplazar a productos químicos como el Clorotalonil cuando se aplica en forma preventiva o a nivel pre-sintomático.

- ?? Los lixiviados de compost de estiércol dosis 1:2 (CED1), lixiviado de compost de broza de café dosis 1:2 (CBRD1), lixiviado de lombricompost de broza de café dosis 1:2 (LBRD1) y el lixiviado de lombricompost de estiércol dosis 1:2 (LED1), presentan características, en sus modos de acción, que pueden ser considerados como protectantes y que pueden reemplazar a productos químicos como el Clorotalonil cuando se aplica en forma de curativa o post-sintomática.
- ?? Es prioritario realizar pruebas a nivel de campo, en donde nos permita determinar si este tipo de productos presentan resultados similares al de invernadero, realizando previamente pruebas de fitotoxicidad, dosificaciones y de inocuidad de los productos.
- ?? Al presentar un retraso en la sintomatología de la Sigatoka negra debido a la aplicación de estos productos, se los podría alternar con fungicidas sistémicos y de contacto, permitiendo realizar menor número de aplicaciones de estos productos químicos, disminuyendo de esta manera los costos de producción, evitando mayor contaminación ambiental y permitiendo un mejor reciclaje de los desechos de orgánicos que son fuentes de contaminación de aguas subterráneas.

Bibliografía

- Arango, M. 2000. Manejo de sustratos para el control biológico de Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) en el cultivo de Banano (Musa AAA). Tesis M.Sc. Turrialba, CR. CATIE. 102 p.
- Brun, J. 1963. La cercosporiare du bananier these Doctoral d Etat Universite de París.
- FAO. 2004. Base de datos estadísticos. Consultado el 30 de Agosto de 2004. Disponible en <http://faostat.fao.org/default.jsp?language=ES>
- Fouré, F. 1985. Black leaf streak disease of banana and plantains (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) study of the symptoms and stages of the disease in Gabon. IRFA. París.
- García, E; Apezteguia H. 2001. Estudio del Lixiviado de Compost y su efecto sobre el control de Sigatoka Negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) y el crecimiento del cultivo de Banano (Musa AAA). Tesis Lic. Ing. Agr. Guácimo CR, EARTH. 66 p.
- Guzmán, A. 2003. Situación de la Sigatoka negra en banano y plátano en el trópico americano. Memoria. Taller manejo convencional y alternativo de la Sigatoka negra, nematodos y otras plagas asociadas al cultivo de Musáceas. 11-13 Agosto 2003. Guayaquil. EC.
- Polanco, D. 2004. Validación en campo del potencial antifúngico de extractos de plantas sobre *Mycosphaerella fijiensis*, agente causal de la Sigatoka negra, en el cultivo de banano. Tesis Mag. Sc. Ibagué, CO. Universidad del Tolima. 138 p.

- Rivas, G. 1993. Detección de geminivirus en tomate mediante la hibridación de ácidos nucleicos y manejo de semilleros para reducir la incidencia de virosis transmitida por *Hemisia tubaci* (Gennadius) en el campo. Tesis de Mag.Sc. Turrialba, CR. CATIE. 92 p.
- Riveros, AS. 1995. Etude d'elicoteurs associés á la résistance du cultivar de bananier Yangambi Km 5 á *Mycosphaerella fijiensis* Morelet. Thése de Docteur en Sciences Agronomiques. Falculté Univrsitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux. Gembloux, BE. Resumen en: Musarama Junio 1997. Vol 10(1):19.
- Riveros, AS. y Lepoivre, P. 1998. Mecanismos de dẽfensa asociados con la resistencia total en la interacción *M. fijiensis* – musa. Memoria: I Seminario Internacional sobre la producción de plátano. Armenia, Quindío, CO. p 56-62.
- Stein, J and Kirk, W. 2002. Containment of existing potato late blight (*Phytophthora infestans*) foliar epidemics with fungicides. Crop Protection. 21:575-582.
- Syngenta Web site. 2004. Bravonil 500. Syngenta productos para la protección de cultivos (en línea). BR. Consultado el 18 de Septiembre de 2004. Disponible en <http://www.syngenta.com.br/pt/produtos/guia1.asp>
- Syngenta Web site. 2004. Tilt. Syngenta productos para la protección de cultivos (en línea). BR. Consultado el 18 de Septiembre de 2004. Disponible en <http://www.syngenta.com.br/pt/produtos/guia1.asp>
- Tredway, L; Stevenson, K and Burpee, L. 2003. Components of resistance to *Magnaporthe grisea* in “Coyote” and “Coronado” tall fescue. The American Phytopathological Society. Plant Disease. 87(8):906-912.

A 2. Análisis de varianza para los lixiviados de compost y lombricompost utilizados en la etapa pre-sintomática para el control de Sigatoka negra en campo.

Análisis de Varianza The GLM Procedure					
		R-Square	Coeff Var	Root MSE	ABCPE Mean
		0.637653	34.47727	5180.572	15026.05
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
REPET	3	303346258	101115419	3.77	0.0182
Trat	13	1538614336	118354949	4.41	0.0002

A 3. Prueba de Duncan para comparación de medias de los lixiviados de compost y lombricompost utilizados en la etapa pre-sintomática para el control de Sigatoka negra en campo.

Duncan's Multiple Range Test for ABCPE					
		Alpha	0.05		
		Error Degrees of Freedom	39		
		Error Mean Square	26838329		
Means with the same letter are not significantly different.					
Duncan Grouping	Mean	N	trat		
A	21702	4	LED2		
A					
B A	20138	4	LED1		
B A					
B A C	19335	4	LBPD1		
B A C					
B A C	18631	4	LBRD1		
B A C					
B A C	18433	4	LBRD2		
B A C					
B D A C	16567	4	CED2		
B D A C					
B D A C	16381	4	CBRD1		
B D A C					
B D A C	16370	4	AGT4		
B D A C					
B D A C	15384	4	ADT3		
B D A C					
B D A C	15160	4	CBRD2		
B D C					
B D C	11498	4	CT2		
D C					
D C	11256	4	CED1		
D					
D E	8426	4	LBPD2		
E					
E	1084	4	PT1		

A4. Análisis de varianza para los lixiviados de compost y lombricompost utilizados en la etapa post-sintomática para el control de Sigatoka negra en campo.

POST - SINT CAMPO					
Análisis de Varianza y prueba de Duncan.					
The GLM Procedure					
	R-Square	Coeff Var	Root MSE	ABCPE Mean	
	0.4996	18.533	1.4389	7.7639	
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
REPET	3	20.627877	6.875959	3.32	0.0305
Trat	13	51.716945	3.978226	1.92	0.0609

A5. Prueba de Duncan para comparación de medias de los lixiviados de compost y lombricompost utilizados en la etapa post-sintomática para el control de Sigatoka negra en campo

POST - SINT CAMPO					
Prueba de Duncan					
The GLM Procedure					
Duncan's Multiple Range Test for ABCPE					
Alpha				0.05	
Error Degrees of Freedom				36	
Error Mean Square				2.07046	
Harmonic Mean of Cell Sizes				3.733333	
Duncan Grouping	Mean	N	trat		
A	8.967	4	LBRD2		
A					
A	8.901	4	ADT3		
A					
B A	8.631	4	AGT4		
B A					
B A	8.569	4	LBPD1		
B A					
B A	8.348	4	CBRD2		
B A					
B A	8.140	4	LBPD2		
B A					
B A	8.106	4	LED1		
B A					
B A	8.044	4	CT2		
B A					
B A C	7.464	4	CBRD1		
B A C					
B A C	7.442	4	CED1		
B A C					
B A C	6.805	3	CED2		
B A C					
B A C	6.569	3	LBRD1		
B C					
B C	6.273	3	LED2		
C					
C	5.525	4	PT1		

A 6. Análisis de la varianza para los lixiviados de compost y lombricompost en la etapa pre-sintomática para el control de Sigatoka negra en invernadero.

Análisis de Varianza						
	R-Square	Coeff Var	Root MSE	estado	Mean	
	0.951641	12.53496	0.468237	3.735450		
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F	
bloque	2	8.5132	4.25661	19.41	<.0001	
trat	13	115.767	8.90516	40.62	<.0001	
bloque*trat	26	18.3756	0.706756	3.22	<.0001	
dias	8	779.4497	97.4312	444.3	<.0001	
trat*dias	104	44.3280	0.42623	1.94	<.0001	

A 7. Prueba de Duncan para comparaciones de medias de los lixiviados de lombricompost en la etapa pre-sintomática para el control de Sigatoka negra en invernadero

Duncan's Multiple Range Test for estado					
Alpha 0.05					
Error Degrees of Freedom 26					
Error Mean Square 0.706756					
Duncan Grouping	Mean	N	trat		
A	4.5556	27	AGT4		
A					
B A	4.3704	27	ADT3		
B					
B C	4.0370	27	LED1		
B C					
B C	4.0000	27	LED2		
B C					
B C	4.0000	27	CBRD2		
B C					
B C	3.9630	27	LBDP2		
B C					
B C	3.9259	27	CBRD1		
B C					
B C D	3.8519	27	CED1		
C D					
C D	3.7778	27	CT2		
C D					
E C D	3.7037	27	LBDP1		
E D					
E D	3.3333	27	LBRD1		
E D					
E D	3.3333	27	LBRD2		
E D					
E	3.2222	27	CED2		
F	2.2222	27	PT1		

A 8. Análisis de varianza de los lixiviados de lombricompost en la etapa post-sintomática para el control para el control de Sigatoka negra en invernadero.

Análisis de Varianza The GLM Procedure					
	R-Square	Coeff Var	Root MSE	ABCPE	Mean
	0.813651	46.45096	2650.676	5706.397	
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
REPET	2	367532714.0	183766357.0	26.15	<.0001
trat	8	123313422.1	15414177.8	2.19	0.0862

A 9. Prueba de Duncan para comparación de medias de los lixiviados de lombricompost en la etapa post-sintomática para el control de la Sigatoka negra en invernadero.

Duncan's Multiple Range Test for ABCPE				
Alpha				0.05
Error Degrees of Freedom				16
Error Mean Square				7026085
Means with the same letter are not significantly different.				
Duncan Grouping	Mean	N	trat	
A	8601	3	LBDP1	
A				
A	8488	3	ADT3	
A				
A	7962	3	LBDP2	
A				
B A	685	3	LED2	
B A				
B A	5411	3	LBRD2	
B A				
B A	4930	3	CT2	
B A				
B A	4348	3	LED1	
B A				
B A	4050	3	LBRD1	
B				
B	1882	3	PT1	

A 10. Análisis de varianza de los lixiviados de compost en la etapa post-sintomática para el control de Sigatoka negra en invernadero.

Análisis de Varianza y prueba de Duncan The GLM Procedure					
	R-Square	Coeff Var	Root MSE	ABCPE Mean	
	0.301415	100.4599	5882.767	5855.837	
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
REPET	2	44286998.3	22143499.2	0.64	0.5444
Trat	6	134892969.6	22482161.6	0.65	0.6905

A 11. Prueba de Duncan para comparación de medias de los lixiviados de compost en la etapa post-sintomática para el control de Sigatoka negra en invernadero

Duncan's Multiple Range Test for ABCPE			
Alpha	0.05		
Error Degrees of Freedom	12		
Error Mean Square	34606951		
Means with the same letter are not significantly different.			
Duncan Grouping	Mean	N	trat
A	9868	3	CT2
A			
A	8633	3	CBRD2
A			
A	5877	3	ADT3
A			
A	5767	3	CED2
A			
A	4984	3	CED1
A			
A	4209	3	CBRD1
A			
A	1652	3	PT1