



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE EDAFOLOGÍA

SUPRESIÓN DE *Phytophthora cinnamomi* Rands. CON MICROORGANISMOS ANTAGÓNICOS ESTABLECIDOS EN COMPOST

SERGIO ZORRILLA SÁNCHEZ

T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

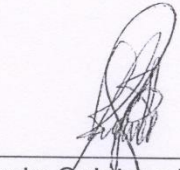
2014

La presente tesis titulada: Supresión de *Phytophthora cinnamomi* Rands. establecidos en compost realizada por el alumno: Sergio Zorrilla Sánchez bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
EDAFOLOGIA

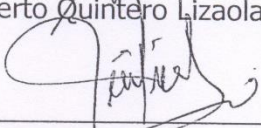
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



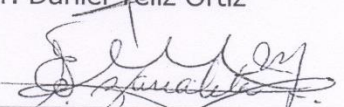
Dr. Roberto Quintero Lizaola

ASESOR



Dr. Daniel Teliz Ortiz

ASESOR



Dra. Emma Zavaleta Mejía

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Agosto de 2014

Contenido

I. INTRODUCCIÓN GENERAL	2
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
II. OBJETIVOS	2
2.1. General	2
2.2. Específicos	2
III. HIPÓTESIS	3
3.1. General	3
3.2. Específicas	3
IV. REVISIÓN DE LITERATURA	3
4.1. Tristeza del aguacatero (<i>Phytophthora cinnamomi</i> Rands.). El patógeno	3
4.1.1. Importancia económica y fitosanitaria de <i>P. cinnamomi</i>	4
4.1.2. Hospederos de <i>P. cinnamomi</i>	4
4.1.3. Clasificación taxonómica de <i>P. cinnamomi</i>	5
4.1.4. Ecología de <i>P. cinnamomi</i>	5
4.1.5. Tristeza del aguacatero. “La enfermedad”	5
4.1.6. Sintomatología de la enfermedad	6
4.2.1. Métodos y agentes de control contra <i>P. cinnamomi</i>	6
4.3. Utilización del compost como método de control biológico	7
4.4. Biotransformación de los materiales orgánicos	8
Factores que influyen en el proceso de biotransformación	8
4.5. El compost como sustrato de agentes de biocontrol	12
4.5.1. Agentes de biocontrol	12
4.6. Propiedades del compost con fines de supresión de fitopatógenos de origen edáfico	13
4.6.2. Químicas	14
V. LITERATURA CITADA	14
VI. Artículo 1. CARACTERIZACIÓN DE COMPOST PARA SUPRESIÓN DE FITOPATÓGENOS EDÁFICOS	17
VII. Artículo 2. MICROORGANISMOS ANTAGONISTAS AISLADOS DE COMPOST PARA LA SUPRESIÓN DE <i>Phytophthora cinnamomi</i> Rands EN AGUACATE.*	37
VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES	48

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Materiales orgánicos para la elaboración del compost	23
2	Características físico y químicas del agua de riego del compost	25
3	Características físico químicas de tres compost para la supresión de fitopatógenos edáficos	30
4	Densidad poblacional de hongos y bacterias encontrada en compost	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Variabilidad espacial de la temperatura en compost para la supresión de fitopatógenos edáficos. E= estiércol, E+A= estiércol + alfalfa, E+A+SFCT= estiércol + alfalfa + superfosfato de calcio triple.	27
2	Densidad de hongos durante el primer y segundo muestreo	45
3	Densidad de bacterias durante el primer y segundo muestreo	45

DEDICATORIA

A mi padre y madre. Ignacio Rafael Zorrilla Lazos y María Odilia Sánchez Sánchez.

A mis hermanos Alberto e Ignacio Rafael, por estar siempre ahí. Los quiero.

A mis hijos, Mario y Leonardo Rafael porque ellos son la razón de mi ser.

A ti mi amor te dedico todos mis logros, tu que has estado tanto en las victorias como en las derrotas. Por saber pertenecer y ser. Porque te amo. A ti Itzel.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco infinitamente a Dios por permitirme lograr una meta más en la vida, a pesar de todas las pruebas puestas en el camino me diste la inteligencia y fuerza necesaria para salir adelante.

Agradezco a mis padres por su apoyo incondicional en todo y palabras de aliento en momentos difíciles.

Agradezco al Colegio de Postgraduados por ser la Institución que permitió alcanzar los objetivos planteados en la investigación, y de esta manera hacer un pequeño aporte al gran background de la ciencia.

Al CONACYT por ser la institución becaria, que permitió la continuación de mis estudios de postgrado.

Al Dr. Roberto Quintero por sus valiosos consejos durante el proceso de formación que se requieren para los estudios de maestría y ser un gran amigo.

Al Dr. Daniel Téliz Ortiz, por su gran apoyo durante todo el desarrollo del trabajo y su gran experiencia en temas de fitopatología.

A la Dra. Emma Zavaleta Mejía, por sus grandes observaciones y aportes para mejorar este escrito tanto por su objetividad e imparcialidad de ver las cosas y gran conocimiento en temas de interacción planta-patógeno.

Al equipo de trabajo del laboratorio de Física de Suelos por todo su apoyo brindado, en especial al M. C. Landeros, a la Sra. Silvia Ayala y María de Jesús Hernández.

Al señor Luis Zamora por apoyar en la logística de la realización del presente trabajo en su fase experimental.

SUPRESIÓN DE *Phytophthora cinnamomi* Rands. CON MICROORGANISMOS ANTAGÓNICOS ESTABLECIDOS EN COMPOST

Sergio Zorrilla Sánchez, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2014.

RESUMEN

Las nuevas tendencias de control biológico proponen alternativas sobre la manera de agregar antagonistas al suelo para garantizar su sobrevivencia y establecimiento en suelos a los que son ajenos; una de estas alternativas sugiere el uso de compost como vehículo de microorganismos antagonistas exóticos a suelos de uso agrícola infestados con microorganismos patógenos, por ejemplo algunos hongos de origen edáfico, como es el caso de *Phytophthora cinnamomi* Rands., el cual es un oomiceto cosmopolita que ataca las raíces de muchas plantas de interés antropocéntrico, entre las que destaca el cultivo del aguacate.

Se estudiaron tres compost de origen diferente para la supresión de *P. cinnamomi* Rands., estos compost tienen la peculiaridad de tratar de atraer microorganismos antagonistas de forma natural debido a la naturaleza de los materiales de origen. Se encontró flora microbiana diferente en cada uno de los materiales estudiados

Palabras clave: *estiércol, alfalfa, fósforo, súper fosfato de calcio triple,*

SUMMARY

New trends in biological control alternatives proposed on how to add antagonists to the ground to ensure their survival and establishment in soils to which they are strangers; one such alternative suggests the use of compost and antagonistic microorganisms exotic vehicle for agricultural use in soil infested with pathogenic microorganisms, such as fungi some edaphic origin, such as *Phytophthora cinnamomi* Rands., which is a cosmopolitan oomycete that attacks the roots of many flat anthropocentric interest, including highlights growing avocados.

Three different source compost for suppression of *P. cinnamomi* were studied. These composts have the peculiarity of trying to attract antagonistic microorganisms naturally due to the nature of the source materials. Different microbial flora was found in each of the materials studied

Keywords: *manure, alfalfa, phosphorus,*

I. INTRODUCCIÓN GENERAL

Uno de los métodos más promisorios y frecuentemente usados para lograr el control biológico de fitopatógenos del suelo es con la ayuda de residuos de plantas y enmiendas orgánicas adicionados al suelo. La reducción de la severidad frecuentemente es obtenida con sustancias desprendidas de estas enmiendas, mediante sus efectos antagonistas, antibiosis, competencia microbiana, u otros mecanismos que de alguna manera terminan siendo perjudicial para el patógeno.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El compostaje es el proceso de descomposición termofílica aerobia de residuos sólidos orgánicos por poblaciones mixtas de microorganismos en condiciones controladas, para producir un material orgánico estabilizado y humificado conocido como compost. El proceso de compostaje se lleva a cabo durante 3 a 4 meses aproximado, tiempo en el cual se alcanza el grado de madurez al realizar el proceso de biotransformación, mineralización o degradación completa de los residuos orgánicos. En las etapas del proceso de compostaje, los microorganismos mesofílicos y termófilos intervienen en la descomposición de la materia orgánica. A través de diferentes tipos de enzimas hidrolíticas estos microorganismos desempeñan la degradación de materiales orgánicos. Para mejorar la composición química y la estructura del compost se adicionan insumos tales como activadores, inoculantes y enriquecedores. La aplicación de activadores orgánicos como mejoradores del proceso de compostaje facilita la biotransformación de los residuos orgánicos. La eficiencia en la degradación de la materia orgánica en el proceso del compostaje depende inicialmente y primordialmente de las comunidades microbianas, las cuales aceleran el proceso de descomposición del material orgánico.

II. OBJETIVOS

2.1. General

- Suprimir el desarrollo de *Phytophthora cinnamomi* Rands. Con microorganismos antagonistas establecidos en compost.

2.2. Específicos

- Determinar las propiedades físico-químicas y biológicas de tres sustratos a compostar.
- Evaluar *in vitro* y en plantas de aguacate infectado las relaciones antagonistas entre *P. cinnamomi* Rands. y los microorganismos antagonistas establecidos en compost.

III. HIPÓTESIS

3.1. General

- La composición química de los sustratos del compost promoverá diferencias en las rutas metabólicas de biotransformación y desarrollo microbiano, así como diferentes niveles de control de *P. cinnamomi*.

3.2. Específicas

- Las propiedades físico químicas de los compost serán indicadores de la calidad y del desarrollo de los microorganismos del compost que suprimen a *P. cinnamomi* Rands.
- El compost a base de estiércol, paja de alfalfa y fósforo promoverá un mejor desarrollo de microorganismos antagónicos y control de *P. cinnamomi* Rands.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Tristeza del aguacatero (*Phytophthora cinnamomi* Rands.). El patógeno.

Los oomicetos fitopatógenos más importantes, son microorganismos que tienen un micelio alargado que carece de septas y que produce oosporas y zoosporangios o zoosporas (esporas sexuales), pertenecen a los órdenes de los Saprolegniales y Peronosporales. De los Saprolegniales, sólo el género *Aphanomyces* tienen importancia como microorganismo fitopatógeno, ya que causa pudriciones de raíz en diversas plantas anuales, entre las que destacan el chícharo y la remolacha (Agrios, 2005).

De acuerdo con Agrios (2005), el orden de los Peronosporales incluye algunos de los fitopatógenos edáficos más importantes que se conocen:

Phytium, la causa de la pudrición de semillas, el ahogamiento de plántulas (*damping off*), la pudrición de raíz de la mayoría de las plantas y de la pudrición blanda de los frutos carnosos y otros órganos vegetales que se encuentran en contacto con el suelo (Agrios, 2005).

Phytophthora, la causa del tizón tardío de la papa y de los tizones y pudriciones de raíz de muchas otras plantas. Varias especies de *Phytophthora*, en particular *P. cinnamomi*, *P. cryptogea*,

P. fragariae y *P. megasperma* producen la pudrición de la raíz de numerosas especies de plantas que incluyen arbustos y árboles ornamentales, forestales y frutales, hortalizas anuales y plantas de ornato (Agris, 2005).

4.1.1. Importancia económica y fitosanitaria de *P. cinnamomi*

Anualmente son considerables los gastos económicos que se producen a escala internacional por concepto de pérdidas en diversos cultivos debido al ataque de plagas y enfermedades, así como también por el uso de productos químicos destinados a prevenirlas y controlarlas. Es importante resaltar el papel que ocupan las enfermedades fungosas dentro del conjunto de afecciones que producen daños en las plantaciones, debido fundamentalmente a su diversidad y a lo difícil que resulta su control (Goodwin, 1997). Un problema fitosanitario bien reconocido lo constituyen las enfermedades causadas por los hongos del género *Phytophthora*.

Phytophthora cinnamomi fue descrito por primera vez en 1922 por Rands, en plantas de canela y desde entonces ha sido encontrado aproximadamente en 70 países de las regiones tropicales y subtropicales, causando enfermedades en diferentes cultivos (Zentmyer y Mitchell, 1986; Echemendia, 2000).

4.1.2. Hospederos de *P. cinnamomi*

El género *Phytophthora* tiene un número amplio de hospederos, entre los que se destacan: en el aguacatero, la pudrición de las raíces causada por *P. cinnamomi* y el cáncer del tronco producido al menos por tres especies de *Phytophthora* (*P. cinnamomi*, *P. heveae* y *P. citricola*); en los cítricos con la podredumbre del cuello de la raíz y parte basal del tallo, la gomosis y el aguado o podredumbre marrón de los frutos, producidas fundamentalmente por *P. citrophthora* y *P. parasitica*; *P. palmivora* es la causa de la pudrición de las yemas en el cocotero, lo cual es un problema común en muchas áreas donde se practica este cultivo (Oeste de la India, América Central, Asia y las Filipinas); en el caso de la guayaba *P. parasítica* provoca la pudrición de los frutos, aunque también han sido aisladas *P. heveae* (en India) y *P. citricola* (en Hawaii); en el mango han sido reportadas dos especies de *Phytophthora* como agentes causales de enfermedades, como es el caso de *P. heveae* (en India) y *P. palmivora* (Ivory Coast), siendo también esta última la responsable de considerables daños en el cultivo de la papaya, en varias

áreas tropicales (Hawaii, Australia, Costa Rica y México) conjuntamente con *P. cinnamomi* (reportada en Perú) (Zentmyer y Mitchell, 1986).

La enfermedad conocida como “tristeza del aguacatero” es causada por *P. cinnamomi*, el cual es un parasito facultativo y cosmopolita, es decir, es un habitante de los suelos de todo el mundo; se alimenta de restos de cosechas en descomposición, pero bajo condiciones favorables puede atacar las raíces vivas y el cuello de más de 600 plantas de interés económico para el hombre, incluyendo la piña, durazno, manzano, mango, macadamia, papaya, azalea, pino, ciprés, eucalipto y encino, entre otras (Mora *et al.*, 2007).

4.1.3. Clasificación taxonómica de *P. cinnamomi*

Dominio: Eukaryota

Reino: Stramenopila

Phylum: Oomycota

Clase: Oomycetes

Orden: Pythiaceae

Género: *Phytophthora*

Especie: *Phytophthora cinnamomi* Rands.

4.1.4. Ecología de *P. cinnamomi*

Esta enfermedad puede producirse bajo un amplio rango de temperaturas del suelo que va desde 21 hasta 30 °C, produciéndose muy poca o ninguna infección a 33 °C y muy poca a temperaturas entre los 9-10 °C. Se presenta mayormente en los suelos con un drenaje deficiente, siendo la presencia del hongo y el exceso de humedad los dos factores que potencian el rápido desarrollo de la enfermedad (Gallo, 1984).

4.1.5. Tristeza del aguacatero. “La enfermedad”

La tristeza causada por *P. cinnamomi* es una de las enfermedades más importantes y devastadoras en el mundo (Mora *et al.*, 2007). En México se ha detectado en las zonas aguacateras de Michoacán, Puebla, Chiapas, Veracruz, Nayarit y Morelos. En Morelos y Puebla se han encontrado incidencias que fluctúan entre los 45 y 90 %. En Michoacán se estima que la tristeza del aguacatero se presenta en aproximadamente 5 % (5,500 ha) de la superficie cultivada (Mora *et al.*, 2007).

4.1.6. Sintomatología de la enfermedad

P. cinnamomi habita en el suelo y pudre las puntas de las raíces alimenticias con diámetro menor de 5 mm produciéndose una coloración café negruzca. Las raíces se quiebran fácilmente. La absorción de agua y su transporte ascendente se reduce originando los síntomas en el follaje. Incluso, es interesante observar que los arboles con tristeza tienen más agua en su alrededor que arboles sanos, debido a que esa agua no es absorbida por las raíces, enviada hacia arriba y transpirada por las hojas (Mora *et al.*, 2007).

Cuando el árbol transpira más agua que la absorbida por un sistema radical podrido, empieza a mostrar los síntomas de marchitamiento de hojas o tristeza. La falta de agua también reduce la capacidad fotosintética que les da el color verde y esto es causa de la clorosis o amarillamiento de las hojas. Las hormonas que controlan la caída de hojas también se afectan por la deficiencia de agua y esto causa la caída prematura de hojas. Los árboles pierden progresivamente su vigor con el avance de la enfermedad, cuando están próximos a morir producen gran cantidad de frutos pequeños que son generalmente abortados antes de llegar a su madurez. En ataques severos el árbol muere (Mora *et al.*, 2007).

4.2.1. Métodos y agentes de control contra *P. cinnamomi*

4.2.1.1. Control legal

La erradicación de un patógeno de suelo es poco probable. Sin embargo, si es factible evitar su introducción en un área nueva de cultivo. El principal medio de dispersión de patógenos en frutales es por el movimiento del suelo infestado por las prácticas mecanizadas de cultivo o por preparación de suelo de vivero (Mora *et al.*, 2007). La regulación de estos movimientos está a cargo de SENASICA y Sanidad Vegetal en México.

4.2.1.2. Control cultural

Para reducir estos riesgos se sugiere desinfectar el sustrato orgánico y los contenedores donde se desarrollarán las plantas, y evitar el uso de agua proveniente de áreas infectadas. No debe usarse semilla que estuvo en contacto con suelo infestado. Para asegurar su sanidad la semilla puede tratarse con agua caliente a 49-50 °C/ 30 min, seguido de un periodo de enfriamiento rápido. Temperaturas mayores pueden afectar a la semilla. La fertilización con calcio mejora el vigor de

las plantas, fortalece las paredes celulares del tejido radical, inhibe la formación de esporangios y estimula organismos antagonistas a *P. cinnamomi* (Mora *et al.*, 2007).

4.2.1.3. Control químico

Las técnicas regionales basadas en la aplicación aislada de métodos de control han sido inefectivas. Se han incluido fungicidas como Aliette® (Phosetyl-Al) y Ridomil® (Metalaxil) solos o combinados con estiércoles, manejo de la nutrición y del agua del riego, plásticos para aumentar la temperatura en el área de goteo, etc. (Mora *et al.*, 2007).

De acuerdo con Mora *et al.* (2007), la erradicación de este patógeno por medio del control químico es irracional por lo difícil, costoso, inefectivo y por los daños al ambiente. Esta situación impone la necesidad de convivir con *P. cinnamomi* por medio de estrategias de manejo integrado de la enfermedad y el cultivo, que den vigor a los árboles y mantengan bajas las poblaciones del organismo para que no cause daños económicos.

4.2.1.4. Control biológico y agentes de biocontrol

Los problemas y limitaciones del control de enfermedades fúngicas mediante el uso de fungicidas hacen que el control biológico de los hongos fitopatógenos se presente como un método de control alternativo (López *et al.*, 1999).

La utilización de inoculantes biológicos ha tenido una amplia difusión en los últimos años, también se ha difundido su efecto positivo sobre el rendimiento de muchos cultivos y en distintas situaciones y la factibilidad de una agricultura orgánica. Se clasifican según su uso en biofertilizantes, agentes de biocontrol, aceleradores del compostaje y biorremediadores; siendo algunas especies de *Trichoderma* y *Bacillus* empleadas dentro de los bioinoculantes como agente de biocontrol, biofertilizante y acelerador del compostaje (Chávez, 2006).

4.3. Utilización del compost como método de control biológico

En gerbera, la incorporación de vermicompost en dosis de 20 % tanto en ausencia como en presencia de fertilizante químico resultó en una menor incidencia de plantas enfermas, menor área bajo la curva del progreso de la enfermedad, y menor tasa de incremento de la pudrición de raíz y corona ocasionada por el complejo *Rhizoctonia solani*, *Phytophthora drechsleri* y *F.*

oxysporum. Así mismo la longitud de las plantas; su contenido de clorofila; el número, longitud y grosor de los pedúnculos florales; y el número y diámetro de las inflorescencias, fueron significativamente más altos con la incorporación de 20 % de vermicompost y sin fertilizante químico, en comparación con todos los tratamientos sin vermicompost (Zavaleta, 2010).

El vermicompost se considera como el mejor abono orgánico, ha sido experimentada con éxito como biofertilizante en diferentes cultivos ornamentales como el geranio, rosa, nochebuena, azucena, crisantemos (Martínez y Gómez, 1995; Seseña, 1998.). Además, con la incorporación de vermicompostas se han disminuido algunas enfermedades inducidas por hongos fitopatógenos como *Phytophthora nicotianae* var. *nicotiananae* en col y *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* en tomate; *Plasmodiophora brassicae* en col y *F. oxysporum* en tomate; *Sclerotinia sclerotiorum* y *S. cepivorum* en el suelo; *F. oxysporum* f. sp. *tulipae* en bulbos de tulipán y *Phytophthora* en *Cupressus* y geranio (Zavaleta, 2010).

4.4. Biotransformación de los materiales orgánicos

Factores que influyen en el proceso de biotransformación

4.4.1.1. Composición de los materiales orgánicos

El uso del análisis de plantas se remonta a los inicios de los años 1800, cuando los químicos comenzaron a trabajar en la composición de cenizas de plantas y a reconocer las relaciones existentes entre la concentración de un determinado nutriente en planta y el crecimiento y/o rendimiento del cultivo. Los primeros trabajos para interpretar los datos de análisis de plantas fueron presentados por Macy en 1936, desde entonces mucho esfuerzo se ha hecho para usar el análisis de plantas como una herramienta de diagnóstico (Barbazán, 1998).

La determinación de los elementos presentes en una matriz orgánica precisa de la destrucción de ésta, a menos que se cuente con instrumentos como aparatos de fluorescencia por bombardeo de rayos X, las fuentes de neutrones, que permiten realizar un análisis no destructivo. La destrucción de la matriz orgánica, es sin embargo, el procedimiento más comúnmente empleado (Etchevers, 1981).

Los modificadores orgánicos están constituidos por numerosos compuestos orgánicos. Los compuestos más abundantes e importantes son (Waksman, 1952).

- a) Grasas, aceites, esteroides y terpenos.

- b) Carbohidratos, incluyendo azúcares simples (mono, di y trisacáridos), almidones, hemicelulosas, poliuronidos (pectinas, gomas y mucilagos) y celulosa.
- c) Ácidos orgánicos, incluyendo ácidos grasos saturados y no saturados.
- d) Aldehídos, cetonas y alcoholes alifáticos, polivalentes y no saturados.
- e) Ligninas.
- f) Compuestos cíclicos, incluyendo hidrocarburos, fenoles, quinonas y taninos.
- g) Alcaloides y bases orgánicas, incluyendo bases púricas y pirimídicas.
- h) Proteínas, polipéptidos, aminoácidos, aminas y otros compuestos nitrogenados.
- i) Hormonas, vitaminas, pigmentos, antibióticos y otros compuestos.

La participación de las lombrices en la biotransformación de la materia orgánica está en estrecha relación con los grupos microbianos presentes en los residuos. Los productos derivados de estos procesos son de amplio uso en la agricultura ecológica (Zavaleta, 2010).

Los procesos de descomposición se llevan a cabo mediante la acción de enzimas secretadas por microorganismos, o las cuales funcionan intracelularmente. Las grandes moléculas poliméricas que constituyen el grueso de los residuos vegetales y animales, deben primero fragmentarse en pequeñas unidades antes de entrar a las células microbianas, y ser más tarde utilizadas para obtener energía y para la síntesis celular. Para lograr esto, el organismo debe primero excretar enzimas, las cuales rompen las grandes moléculas en pequeños fragmentos y en las unidades constitutivas. Los polisacáridos tales como celulosa son fragmentados para formar azúcares simples. Las proteínas se rompen para formar péptidos y aminoácidos. Las grandes moléculas de ácidos grasos son oxidadas mediante β -oxidación que resulta en la liberación de unidades de ácido acético. La lignina al ser descompuesta por hongos (que causan las pudriciones blancas de la madera) da lugar a muchos compuestos fenólicos simples, que posteriormente son degradados a compuestos alifáticos, CO_2 y agua (Waksman, 1952 y Zavaleta, 2010).

La valoración de la actividad biológica se puede realizar mediante la evaluación de actividades que ocurren durante todo el transcurso del proceso de fermentación o descomposición de la materia orgánica (Zavaleta, 2010).

Los microorganismos presentes en el intestino de las lombrices son los mismos que se encuentran en los materiales orgánicos antes que la ingestión haya ocurrido, sin embargo parte de esta microbiota se incrementa, reduce o desaparece, dependiendo del grupo microbiano que se trate (Allievi *et al.*, 1987).

4.4.1.2. Humedad

Se necesita una humedad entre 40 - 60 % (contenido de agua del material) para asegurar una biodegradación óptima. Si es demasiado seco el material, se para el proceso de biodegradación; si es demasiado húmedo, se transforma el proceso en putrefacción anaeróbica incontrolada (Rôben, 2002).

4.4.1.3 Oxígeno

El contenido de O₂ es uno de los factores del suelo que más influye en la determinación de los microorganismos que van a actuar en la degradación de la materia orgánica (Quintero, 2005).

Una circulación suficiente del aire puede asegurarse solamente si está garantizada una dispersión homogénea del cuerpo de desechos. Por eso, la mezcla, revuelta y el movimiento del material son imprescindibles en el sistema de compostaje para evitar la putrefacción anaeróbica (Rôben, 2002).

4.4.1.4. Compostaje

Los materiales orgánicos adicionados al suelo bajo condiciones favorables de humedad y aireación, son atacados por una gran variedad de organismos incluyendo bacterias, hongos, actinomicetos, protozoarios, lombrices y larvas de insectos. Como resultado de la actividad de estos organismos, porciones considerables de algunos de los elementos químicos constituyentes de los residuos, principalmente C, N, P, K, se liberan en formas disponibles para el crecimiento de las plantas (Waksman, 1952).

El proceso de descomposición en un principio es rápido, pero gradualmente se va haciendo lento. Los residuos, así como los diferentes constituyentes de los mismos, se descomponen a diferentes velocidades. Los azúcares simples, ácidos alifáticos, algunas proteínas y algunos polisacáridos se descomponen muy rápidamente y pueden ser completamente utilizados en unas pocas horas o

días. Los materiales más resistentes, tales como ligninas, otras sustancias fenólicas y ceras, se degradan más lentamente requiriendo meses o aún años (Waksman, 1952 y Zavaleta, 2010).

La naturaleza de los productos de la descomposición depende de la composición química del material orgánico sujeto a la degradación, y de los microorganismos involucrados en el proceso degradativo.

Los materiales composteados suelen ser muy heterogéneos, por lo que identificar los rasgos microbiológicos de estos procesos es, en general, complicado. Los antecedentes de los grupos microbianos que participan en los bioprocesos varían entre el compostaje convencional y el vermicompostaje (Quintero, 2005).

El entendimiento de la actividad biológica, y en particular, la enzimática es fundamental para manejar racionalmente y con calidad los procesos bioquímicos que ocurren durante el compostaje y vermicompostaje (Quintero, 2005).

Así por ejemplo, cuando se adiciona al suelo un modificador orgánico con alto contenido de péptidos y aminoácidos, estos compuestos bajo condiciones aeróbicas son rápidamente utilizados por la mayoría de los microorganismos del suelo como una fuente de energía, y durante su descomposición se produce principalmente bióxido de carbono, amoníaco, ácidos orgánicos y alcoholes. En cambio, bajo condiciones anaeróbicas los compuestos nitrogenados producen amoníaco, aminas, índoles, mercaptanos, sulfuro de hidrógeno, hidrógeno, ácidos orgánicos y alcoholes; estos últimos son posteriormente convertidos en metano y bióxido de carbono (Yoshida, 1975).

4.4.1.5. Vermicompostaje

Las lombrices necesitan un ambiente húmedo pero no demasiado húmedo para evitar que se ahoguen. Además es imprescindible asegurar que no ocurran condiciones anaeróbicas a dentro del cuerpo de desechos. Las lombrices no pueden realizar el compostaje bajo condiciones anaeróbicas y se van de una región anaeróbica hacia regiones con oxígeno. Para asegurar que se dispersen homogéneamente por todo el cuerpo de desechos, se recomienda cubrir el área de

vermicompostaje. Eso se puede hacer con plástico o con cartón, además de que las protege de posibles ataques de animales que pueden alimentarse estos anélidos.

Después de precompostados los materiales; simplemente las lombrices se añaden a la superficie de la pila, de donde migran al interior del cuerpo de basura. Los lechos no deben tener una profundidad de más que 50 cm, para evitar que ocurran condiciones anaeróbicas. De la misma manera, deben tener un ancho de no más que 1 m para facilitar el trabajo de los obreros que hacen la cosecha del material y de las lombrices, el mantenimiento y la operación del módulo. El largo de los lechos es técnicamente sin importancia. Se recomienda construir los lechos considerando la producción de basura, para el caso del experimento, estos tendrán un largo de 2.5 m. Para un desagüe fácil de las aguas lixiviadas, se debe construir el lecho con una inclinación de 1 - 2 % y un orificio de desagüe. Con esa medida, se impide la putrefacción del material dentro del lecho (Rôben, 2002).

4.5. El compost como sustrato de agentes de biocontrol

4.5.1. Agentes de biocontrol

4.5.1.1. *Trichoderma harzianum*

Según López *et al.* (1999) y Chávez (2006); el hongo *Trichoderma* sp. es un hongo natural del suelo y puede desempeñarse como saprófito o como parásito de otros hongos, es uno de los inoculantes biológicos más empleados en los últimos años ya que posee buenas cualidades como antagonista de hongos patógenos del suelo, actuando como hiperparásitos competitivos, así mismo debido a su ubicuidad, facilidad de aislamiento y cultivo, su crecimiento rápido en un gran número de sustratos y a que no ataca plantas. Del mismo modo este hongo ha demostrado poseer otras propiedades además de antagonismo, ya que se ha indicado que es capaz de inducir un mayor crecimiento en plantas tratadas, así como respuesta de defensas sistémicas, lo que hace de este, un inoculante recomendable gracias a su amplio rango de acción (Chávez, 2006).

Los mecanismos por los que las cepas del género *Trichoderma* desplazan al fitopatógeno están fundamentalmente asociados a competición directa por el espacio o por los nutrientes, producción de metabolitos antibióticos, ya sea de naturaleza volátil o no volátil y parasitismo directo de determinadas especies de *Trichoderma* sobre los hongos fitopatógenos (Chávez, 2006).

4.5.1.2. *Bacillus subtilis*

Es una bacteria Gram positiva, produce endosporas las que son termorresistentes y también resiste factores físicos perjudiciales como la desecación la radiación los ácidos y los desinfectantes químicos, produce enzimas hidrofílicas extracelulares que descomponen polisacáridos, ácidos nucleicos permitiendo que el organismo emplee estos productos como fuente de carbono y electrones, producen antibióticos como la bacitricina, polimixina, gramicidina y circulina, fermentan la caseína y el almidón, vive dentro de los límites de 55 a 70°C. Es un gran controlador biológico, *Bacillus subtilis* promueve el desarrollo de las plantas y previene las enfermedades del suelo causadas por *Sclerotium rolfii*, *Fusarium* spp., *Verticillium* spp, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Phytophthora capsici*, *Pythium* spp, y el nematodo nodulador de raíces (*Meloidogyne* spp) y *Rhizoctonia solani*, agente causal de la enfermedad denominada “mal del tallito” del algodónero (Cuervo, 2010).

Debido a sus características, *Bacillus subtilis*, microorganismo cuyo hábitat natural es el suelo, se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza. Entre sus principales características se encuentra su capacidad para formar esporas en diversas condiciones de estrés, crecer en un intervalo amplio de temperaturas (desde 15 hasta 55 °C), presentar motilidad, aerotaxis y velocidades de crecimiento altas, sobrevivir en concentraciones salinas (hasta el 7% de NaCl), producir una amplia variedad de antibióticos y enzimas hidrolíticas extracelulares (Nakamura *et al.*, 1999 y Espinosa, 2005).

4.6. Propiedades del compost con fines de supresión de fitopatógenos de origen edáfico

4.6.1. Físicas

4.6.1.1. Tamaño de partícula y superficie de contacto

Para el compostaje de desechos, hay que desmenuzar los trozos más grandes que podrían detener el proceso de biodegradación. La trituración de trozos grandes es especialmente importante para desechos grandes de huertos o parques. La meta de trozar los desechos es de aumentar la superficie específica y, por consecuencia. La capacidad de retener aire y agua para facilitar el proceso de biodegradación realizado por los microorganismos (Rôben, 2002).

Al inicio del proceso, el cuerpo de desechos tiene poros de varias dimensiones que son dispersadas de forma heterogénea. El aire (venido de aireación natural o artificial) pasa por las

aperturas más grandes. Por consecuencia, pueden ocurrir condiciones anaeróbicas en lugares con alta densidad y poros pequeños. La biodegradación anaeróbica no es deseable en una planta de compostaje, por causa de olores fuertes y de impedimento del proceso de biodegradación aeróbico (Rôben, 2002).

4.6.2. Químicas

4.6.2.1. Relación C:N

Para una buena humificación de la materia orgánica es necesaria una buena actividad biológica, una buena aireación del suelo y riqueza de C y N en el medio. La descomposición rápida de la materia orgánica fresca es indispensable para una buena humificación (Jordán, 2005).

La microflora edáfica que actúa en la descomposición y mineralización de la materia orgánica requiere carbono como fuente de energía y nitrógeno como intermediario en la síntesis de proteínas. Si en un suelo, la relación C/N en la materia orgánica es elevada, los microorganismos disponen de C en abundancia, pero carecen de N, con lo cual son pocos los microorganismos que pueden actuar en la degradación de la materia orgánica. Como consecuencia, el proceso de mineralización se ralentiza, y el N amoniacal o los nitratos asimilables por las plantas superiores se encontrarán en baja cantidad en el suelo. De este modo, podemos decir que la relación C/N tiene una gran importancia en la valoración de la fertilidad del suelo (Jordán, 2005).

La relación C/N del suelo varía fundamentalmente en función de la relación C/N de la materia orgánica vegetal existente. Las leguminosas, por ejemplo, poseen una relación C/N de 9 – 10, lo que es muy beneficioso para el suelo (Jordán, 2005). Desde este punto de vista, por lo tanto, se considera que un suelo es fértil cuando la relación C/N se halla en torno a 10. En los estudios de fertilidad del suelo, el parámetro que se utiliza para medir la actividad de la biomasa y la evolución de la materia orgánica del suelo es la relación C/N (Jordán, 2005).

V. LITERATURA CITADA

- Agrios G. N. 2005. Fitopatología. 2ª. ed. LIMUSA. México. pp: 303-324.
- Allievi, L., Citterio, B., Reffari, A. 1987. Vermicomposting of rabbit manure: modification of microflora. *In: De Bertoldi, M. Ferranti, M. P., L'Hermite, P., Zucconi, F. (eds). Compost production, quality and use.* Elsevier, London, pp. 115-126.
- Barbazán M. 1998. Análisis de plantas y síntomas visuales de deficiencia de nutrientes. Facultad de agronomía. Universidad de la Republica Montevideo-Uruguay. 27 p.

- Chávez G. M. P. 2006. Producción de *Trichoderma* sp. Y evaluación de su efecto en cultivo de crisantemo (*Dendranthema grandiflora*). Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Básicas. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.
- Cuervo L. J. P. 2010. Aislamiento y caracterización de *Bacillus* spp. como fijadores biológicos de Nitrógeno y solubilizadores de fosfatos en dos muestras de biofertilizantes comerciales. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Básicas. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.
- Echemendia M. Y. 2000?. *Phytophthora*: Características, diagnóstico y daños que provoca en algunos cultivos tropicales. Medidas de control. Instituto de Investigaciones en Fruticultura Tropical. Cuba.
- Espinosa M. F. J. J. 2005. Caracterización del proceso de crecimiento de *Bacillus subtilis* bajo condiciones anaerobias. Tesis de doctorado. Instituto De Biotecnología. UNAM. México. 106 p.
- Etchevers B. J. D. 1981. Análisis químico de plantas. Colegio de Postgraduados. Texcoco. Estado de México. (Documento mimeografiado).
- Gallo, L.L.L. 1984. Resistencia, patogenicidad y control “in vivo” e “in vitro” de *Phytophthora cinnamomi* Rands, parásito del aguacate. III Congreso de Fitopatología. Consejería de Agricultura y Pesca. Gobierno de Canarias. p-96.
- Goodwin, S.B. 1997. The populations genetics of *Phytophthora*. *Phytopathology* (87): 462-473.
- Jordán L. A. 2005. Manual de edafología. Departamento de cristalografía, mineralogía y química agrícola de la Universidad de Sevilla. 144 p.
- López H. J. C., Pérez J. R. M., Llobel A, Monte V. E., Zea B. T. 1999. Estudios in vitro de *Trichoderma* como agente de biocontrol contra *Phytophthora cinnamomi* y *Rosellinia necatrix* en aguacate. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 5: 261-265.
- Martínez S. D. y Gómez Z. J. 1995. Uso de lombricompostos en la producción comercial del crisantemo. *Acta agronómica (Colombia)* 45: 79-84.
- Mora A. A., Teliz O. D., Mora AG., Etchevers B. J. D. 2007. Tristeza del aguacate (*Phytophthora cinnemomñ* In: El aguacate y su manejo integrado. Teliz O. D. y Mora A. A. (eds.) 2ª. Edición. Ed. Mundi-Prensa. México. pp.192-196.
- Nakamura LK, MS Roberts, FM Cohan 1999. Relationship of *Bacillus subtilis* clades associated with strains 168 and W23: a proposal for *Bacillus subtilis* subsp. *subtilis* subsp. Nov. and *Bacillus subtilis* subsp. *spizizenii* subsp. nov. *Int. J. Syst. Bacteriol.* 49: 1211-1215.
- Róben E. 2002. Manual de compostaje para municipios. Laja, Ecuador.
- Quintero L. R., et al. 2005. Manual para la medición de actividades enzimáticas en compost y vermicompost. Publicaciones Diamante. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México. 51 p.

- Seseña C. N. 1998. Uso de vermicomposta como componente del sustrato y adición de LEDA a la solución fertilizante en nochebuena (*euphorbia pucherrima* Will.) cv. Freedom. Tesis de licenciatura Universidad Autónoma Chapingo. Estado de México, México. 64 p.
- Waksman, S. A 1952. Soil Microbiology. Williams and Wilkins Co. Baltimore, M. D. USA pp 95-190.
- Yoshida, T. 1975. Microbial metabolism of floodedsoils pp. 83-122. In: Soil Biochemistry. Vol. 3. Paul E. A, and McLaren A. D. (eds.) Marcel Dekker, New York; USA. 352 p.
- Zavaleta M. E. 2010. Modificadores orgánicos como estrategia de manejo de enfermedades de la raíz. Ecología de la raíz. Sociedad Mexicana de Fitopatología A. C. Pp. 93 -103.
- Zentmyer, G.A., and Mitchell, D.J. 1986. *Phytophthora* diseases of fruit trees in the tropics. Rev Trop Pl Path (2): 287 – 309.

VI. Artículo 1. CARACTERIZACIÓN DE COMPOST PARA SUPRESIÓN DE FITOPATÓGENOS EDÁFICOS.



**TERRA
LATINOAMERICANA**
Difusión Científica de la Sociedad Mexicana
de la Ciencia del Suelo A.C.

29 de julio de 2014

Ing. Agrónomo Fitotecnia
Sergio Zorrilla Sánchez

Acuso recibo de su trabajo titulado:

CARACTERIZACIÓN DE COMPOST PARA SUPRESIÓN DE FITOPATÓGENOS EDÁFICOS.

El cual ha sido registrado con el número **1940**, actualmente siendo sometido a consideración del Comité Editorial de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C.; para su posible publicación en la Revista TERRA LATINOAMERICANA.

Por favor hacer referencia a este número en la correspondencia subsecuente.

A T E N T A M E N T E

DRA. MARIELA FUENTES PONCE
Editora

<LA REVISTA TERRA LATINOAMERICANA SE ENCUENTRA EN EL ÍNDICE DE REVISTAS DEL CONACYT>
Departamento de Suelos, UACh Carr. México-Texcoco km 38.5 Apartado Postal 45, Estado de México Tel. y Fax 01 (595) 95
21721 e-mail: terra.latin@gmail.com

CARACTERIZACIÓN DE COMPOST PARA SUPRESIÓN DE FITOPATÓGENOS EDÁFICOS.

Characterization of Compost for Phytopathogens Soilborne Suppression.

Sergio Zorrilla-Sánchez¹; Roberto Quintero-Lizaola²; Daniel Teliz-Ortiz³; Emma Zavaleta-Mejía³.

¹Autor responsable (sergio.zorrilla@colpos.mx). Colegio de Postgraduados campus Montecillo; Programa de Edafología. Km. 36.5 carretera México-Texcoco, Montecillo, Texcoco; Edo. de México C.P. 56230.

²Colegio de Postgraduados campus Montecillo; Programa de Edafología.

³Colegio de Postgraduados campus Montecillo; Programa de Fitopatología.

RESUMEN

Los objetivos de este trabajo fue caracterizar las propiedades físico-químicas de tres compost destinados al control de fitopatógenos edáficos, además monitorear la temperatura para determinar el momento oportuno de posibles inoculaciones de antagonistas en compost utilizados como sustrato. Para ello se realizó el compostaje en pilas de tres mezclas diferentes con 3 repeticiones cada una (estiércol, estiércol + alfalfa, estiércol + alfalfa + Súper fosfato de calcio triple (SFCT)); y se midió la variabilidad espacial de la temperatura durante 100 días. La variabilidad de temperatura en los tratamientos mostró correlación con la temperatura ambiental. Concluida la fase de campo se procedió a tomar 15 muestras de cada pila, se secaron a la sombra y se determinó el contenido de humedad; pH, conductividad eléctrica (C.E.), materia orgánica (M.O.), C, N, P y K de los materiales. Con la alfalfa acicalada y molida se incrementó de manera significativa la temperatura en la fase mesófila ascendente del proceso, en este caso la temperatura más alta registrada en las pilas fue de 45 °C; y se alcanzan temperaturas inferiores a los 25 °C a partir del día 35. El pH contradictoriamente subió, este factor se encuentra relacionado con el aumento en CE, lo que indica la presencia de sales en el agua de riego; sin embargo la diferencia significativa que existe está dada por los materiales utilizados en la mezcla. El tratamiento al que se le añadió el fertilizante es el más salino, tiene la concentración más elevada de P y también presentó mayor desprendimiento de CO₂. Al principio del proceso todas las mezclas presentaron diferencias en el contenido de C, lo cual representa diferencias en MO y R C/N; sin embargo con la pérdida de CO₂ que existe se obtuvo al final del proceso una R C/N de 18 en todos los tratamientos.

Palabras clave: *Supresión, alfalfa, estiércol, fósforo, Phytophthora cinnamomi.*

SUMMARY

The objectives of this study was to characterize the physicochemical properties of three compost for phytopathogens soilborne suppression, also monitor the temperature to determine the timing of inoculations potential antagonists in compost used as a substrate. This composting piles was conducted in three different mixtures with three repetitions each one (manure, manure+alfalfa, manure+alfalfa+calcium triple superphosphate CTSP). The spatial variation of the temperature was measured for 100 days and was correlated with environmental temperature. Temperature variability in the treatments showed correlation with the environmental temperature. After the field phase it's proceeded to take 15 samples of each stack, dried in the shade and moisture content was determined; pH, electrical conductivity (EC), organic matter (OM), C, N, P and K of materials for its characterization. With ground alfalfa increased the temperature in the mesophilic stage of the process, in this case the highest temperature recorded in the heap was 45 ° C; and temperatures below 25 ° C after day 35 are reached. The pH rose contradictory, this factor is related to the increase in EC, indicating the presence of salts in the irrigation water; however, the significant difference is given by the materials used in mixtures. The treatment to which was added the fertilizer is saltier, has the highest concentration of P, also showed higher CO₂ release. Early in the process all blends showed differences in the content of C, representing differences in O.M. and C/N ratio; however, with the loss of CO₂ there was obtained at the end of process a 18 C/N ratio in all treatments.

Index words: *Suppressiveness, manure, alfalfa, phosphorus, Phytophthora cinnamomi.*

INTRODUCCIÓN

Anualmente son considerables los gastos que se producen a escala internacional por concepto de pérdidas en diversos cultivos debido al ataque de plagas y enfermedades, así como por el uso de productos químicos destinados a prevenirlas y controlarlas. Un problema fitosanitario bien reconocido lo

constituyen las enfermedades causadas por el género *Phytophthora*. La tristeza del aguacatero causada por *Phytophthora cinnamomi* es una de las enfermedades más importantes y devastadoras en el mundo. En México se ha detectado en las zonas aguacateras de Michoacán, Puebla, Chiapas, Veracruz, Nayarit y Morelos. En Morelos y Puebla las incidencias fluctúan entre los 45 y 90 %. En Michoacán se estima que la tristeza del aguacatero se presenta en aproximadamente 5 % (5,500 ha) de la superficie cultivada (Mora *et al.*, 2007).

De acuerdo con Mora *et al.* (2007) las técnicas regionales basadas en la aplicación aislada de métodos de control han sido inefectivas. Para el control de *Phytophthora cinnamomi* se han incluido fungicidas como Aliette® (i. a. Phosetyl-Al) y Ridomil® (i. a. Metalaxil) solos o combinados con estiércoles, manejo de la nutrición y del agua de riego, plásticos para aumentar la temperatura en el área de goteo, etc. La erradicación de patógenos del suelo por medio del control químico es irracional por lo difícil, costoso, inefectivo y por los daños al ambiente; sin embargo si es factible evitar su introducción en un área nueva de cultivo; el principal medio de dispersión de patógenos en frutales es por el movimiento de suelo infestado por las practicas mecanizadas de cultivo o por preparación de suelo en vivero.

Los problemas y limitaciones del control de enfermedades fúngicas mediante el uso de fungicidas hacen que el control biológico de los hongos fitopatógenos se presente como un método de control alternativo. El control biológico no es más que un método que utiliza organismos vivos como agentes de control con el fin de suprimir las poblaciones de organismos plaga y enfermedades, mediante varios mecanismos de acción; estos pueden ser antibiosis, parasitismo, predación, competencia e inducción de resistencia del hospedero.

Dado que el manejo biológico parece inducir menores disturbios ecológicos, recientemente se ha enfatizado el uso de antagonistas para el manejo de fitopatógenos de origen edáfico (Bautista *et al.*, 2010). La introducción de controladores biológicos para las enfermedades de plantas se ha practicado en la agricultura desde 1927, y desde entonces se han identificado centenares de agentes potenciales de

control biológico, pero solo unos cuantos han sido formulados para uso comercial, y de ellos ~5 % han sido exitosos (Desai *et al.*, 2002).

La utilización de controladores biológicos ha tenido una amplia difusión en los últimos años por su efecto positivo sobre el rendimiento de muchos cultivos y en distintas situaciones y la factibilidad de una agricultura orgánica. Estos inoculantes se clasifican según su uso en biofertilizantes, agentes de biocontrol, aceleradores del compostaje y biorremediadores; siendo algunas especies de *Trichoderma* y *Bacillus* empleadas dentro de los bioinoculantes como agentes de biocontrol.

El uso del compost para medio de crecimiento de antagonistas o como fuente de alimento o como un agente no específico de inhibición, es muy reciente (Ramona y Line, 2002). Durante los pasados 20 años, investigaciones sobre control biológico y supresión de patógenos nativos del suelo han incluido efectos por el uso de complejos sustratos orgánicos, como compost, algunos de los cuales han mostrado ser efectivos en la protección de plantas (De Cuester y Hoitink, 2000; Tranker, 1992; Zavaleta, 2010).

El compost ha sido experimentado con éxito como biofertilizante en diferentes cultivos ornamentales como el geranio, rosa, nochebuena, azucena, crisantemos y se le considera como el mejor abono orgánico. Con la incorporación de vermicompost se han disminuido algunas enfermedades inducidas por hongos fitopatógenos como *Phytophthora nicotianae* var. *nicotiananae* en col y *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* en tomate; *Plasmodiophora brassicae* en col y *F. oxysporum* en tomate; *Sclerotinia sclerotiorum* y *S. cepivorum* en el suelo; *F. oxysporum* f. sp. *tulipae* en bulbos de tulipán y *Phytophthora* sp. en *Cupressus* sp. y geranio (Zavaleta, 2010).

Existen microorganismos que han sido reportados como antagonistas, ya sea parasitando o causando lisis a los propágulos de *Phytophthora* en el suelo; sin embargo, hasta la fecha, no parece existir reporte alguno de antagonistas que por sí solos, resulten eficientes y mucho menos bajo condiciones de campo;

debido al fenómeno de homeostasis, propiedad que impide que cualquier microorganismo introducido al suelo se establezca (Bautista *et al.*, 2010; Erwin y Ribeiro, 1996; Paulitz y Bélanger, 2001).

Hoitink *et al.* (1997), Kwok *et al.* (1987), Nelson y Hoitink (1983), Phae *et al.* (1990) sostienen que el control de enfermedades radicales con compost se debe al control biológico, ejercido posiblemente por numerosos géneros de bacteria, como *Bacillus*, *Enterobacter*, *Flavobacterium*, *Pseudomonas*, *Streptomyces* y numerosos géneros de hongos como, *Gliocladium*, *Penicillium* y *Trichoderma*.

Los diversos mecanismos potencialmente responsables de la supresión de enfermedades de la raíz incluyen antibiosis (Cook *et al.*, 1995) y microbiostasis (Hoitink *et al.*, 1991), competencia por nutrientes (Kloepper *et al.*, 1980), predación (Curl *et al.*, 1988), parasitismo (Harman, 2000), activación del sistema de resistencia de plantas hospederas (Zhang *et al.*, 1998). Adicionalmente la alteración de las condiciones ambientales de la zona de la raíz, por ejemplo, pH, CE, porosidad, capacidad de retención de humedad y el contenido de macro y micronutrientes, influyen directa o indirectamente el estrés y salud de la planta (Altomare *et al.*, 1999).

Teliz *et al.* (1992) encontraron que con la adición de estiércol de bovino o paja de alfalfa a los cajetes de árboles de aguacate infectados con *P. cinnamomi* causaban una reducción significativa del patógeno, pero no su erradicación. El efecto fue mejorado cuando se incorporaron juntas ambas enmiendas. El efecto positivo de la paja de alfalfa se explicó por la liberación de saponinas y el del estiércol bovino por la promoción de hongos y bacterias antagonistas.

El desarrollo del control biológico de enfermedades mediante la incorporación de agentes de biocontrol requiere que estos agentes muestren eficacias comparables a las alcanzadas con la aplicación de productos químicos. Ante esta situación, el concepto de supresión de fitopatógenos ofrece una nueva perspectiva en el desarrollo del control biológico. El uso de compost para promover el establecimiento de hongos y bacterias antagonistas puede repercutir en una mayor eficacia contra enfermedades, además de servir

como sustrato de bacterias y cepas de hongos locales que puedan aplicarse por medio del compost colonizado como agentes de biocontrol frente a las enfermedades más importantes del suelo, reduciendo el efecto de homeostasis del suelo.

Para la elección de los materiales utilizados en este trabajo se tomó en cuenta las propiedades inherentes a cada material, y los antecedentes con los que cuentan en el ámbito del control biológico; por lo anterior los objetivos de esta investigación fueron caracterizar las propiedades físico-químicas de tres compost destinados al control de fitopatógenos edáficos, además de monitorear la temperatura para determinar el momento oportuno de posibles inoculaciones de antagonistas en compost utilizados como sustrato.

MATERIALES Y MÉTODOS

El proceso de compostaje se realizó en el Campo Experimental del Colegio de Postgraduados campus Montecillo, Estado de México, México. Los materiales orgánicos utilizados fueron el estiércol bovino, la paja de alfalfa acicalada y molida y el fertilizante inorgánico Súper fosfato de calcio triple (SFCT) con fórmula (00 N-46 P₂O₅- 00 K₂O- 13 Ca) y se seleccionaron con base en su contenido de N y P y disponibilidad. Se establecieron 3 tratamientos (cuadro 1) con tres pilas (repeticiones), y la mezcla de los materiales se hizo con base en el peso. Las pilas establecidas a cielo abierto se cubrieron con polietileno blanco de invernadero de 180 µ.

Cuadro 1. Materiales orgánicos para la elaboración del compost.

Trat.	Materia prima	Volumen de la pila (m ³)	Proporción	Relación Peso (Kg)
1	Estiércol bovino (E)	1.5	1	200
2	E. Bovino + Alfalfa (E+A)	1.5	1:0.5	133.5:66.5
3	E. Bovino + Alfalfa + Súper fosfato de calcio triple (10 %) (E+A+SFCT)	1.5	1:0.5+0.1	125:62.5+12.5

La temperatura se midió durante un periodo de 100 días (del 30 de septiembre del 2013 al 07 de enero del 2014) con lecturas en 5 puntos sobre la longitud del costado este, el costado oeste y del cenit de cada pila dos veces al día, dando un total de 30 lecturas por repetición. Se utilizaron termómetros de mercurio graduados de -10 a 110 °C Brannan ®. El módulo de compostaje establecido se operó de forma manual, con bieldos y palas. Durante este proceso los volteos de las pilas se realizaron cada 3 semanas y se regó una vez por semana. Los materiales se mantuvieron a 60 % de humedad desde el principio del compostaje.

Al término del proceso se tomaron 15 submuestras de compost con barrenas de suelo de 1 litro, obtenidas de acuerdo al patrón de muestreo antes descrito. Las submuestras de cada repetición se mezclaron homogéneamente, se secaron a la sombra durante una semana y se cernieron en un tamiz de 20 mm. De cada muestra compuesta se tomaron cinco repeticiones para determinar algunas variables indicadoras de la calidad del compost.

Se determinó el pH, conductividad eléctrica (CE), carbono orgánico (C) por el método Walkey y Black; materia orgánica (MO) se obtuvo a con el factor de Van Bemmelen, N total por el método semi-micro Kjeldahl, P soluble y/u Olsen, relación C/N (R C/N), y Desprendimiento de CO₂ (Biomadurez) por el método de Andersen como indicadores del estado del material.

También se tomó una muestra de agua con la que se regaron las pilas, para determinar su calidad. Al agua se le determinó el pH, CE, CO₃²⁺, HCO₃⁻, Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, RAS, PSI y la clase, con los métodos estandarizados del Colegio de Postgraduados campus Montecillo.

Con los datos obtenidos se realizaron análisis de varianza (ANOVA) de acuerdo con el diseño experimental empleado en la fase experimental; así como comparaciones de medias de Tukey ($p=0.05$), mediante la utilización del paquete estadístico SAS V8 (Statistics Analysis System Inc.).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Agua de riego

En las pruebas realizadas al agua de riego se encontró un pH moderadamente alcalino como se muestra en el Cuadro 2, este fue de 7.8. La suma de cationes da un total de 7.33 meq/L y de los aniones es de 7.28 meq/L; esto indica que hay equilibrio en las bases iónicas (Cuadro 2). Sin embargo existe la presencia de iones indeseables en la agricultura, por ejemplo el CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , Na^+ .

Los resultados de las determinaciones realizadas al agua con que se regaron las pilas de compost se presentan a continuación:

Cuadro 2. Características físico y químicas del agua de riego del compost.

Muestra	pH	CE (dS. m ⁻¹)	meq/L									R A S	PSI	Clase
			CO_3^{2-}	HCO_3^-	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+			
Agua	7.8	1.6	0.06	0.69	0.2	0.53	5.8	0.14	2.3	2.99	1.9	1. 2	0.5	C3- S1

RAS: Relación de Absorción de Sodio, PSI: porcentaje de sodio intercambiable, Clase: Normas de Riverside para evaluar la calidad de aguas de riego. SO_4^{2-} : fue determinado por diferencia entre cationes y aniones.

El agua entra dentro de la clase C3-S1, lo cual quiere decir que su índice de salinización es de 3 con una CE de 1.6 dS.m⁻¹, o sea que se encuentra alto y tiene un elevado riesgo de salinización, pero se encuentra con una relación de absorción de sodio (RAS) de 1, lo cual sitúa al agua en un nivel con bajo riesgo de alcalinizarse, puede usarse para el riego con poca probabilidad de alcanzar niveles peligrosos de sodio intercambiable. Sin embargo es imprescindible tomar en cuenta el factor agua para llevar un manejo adecuado en el proceso de compostaje, ya que es determinante en el resultado del producto obtenido, debido a que este factor va a determinar la calidad del producto en gran medida. Como es bien sabido; si el agua incorpora demasiadas sales al compost no podrá ser aplicado a los cultivos, y si se aplica; causaría daños a todo el complejo sistema agrícola.

Según Penrose y Glick (2001) El etileno en conjunción con las auxinas desempeñan un papel muy importante en el crecimiento de la raíz y es sintetizado en los tejidos de la parte radical, a partir de la molécula precursora aminociclopropano-1-carboxilato (ACC). La supresión de la producción de etileno es uno de los eventos más importantes con el aumento de estrés causado por salinidad, sequía, químicos tóxicos e hipoxia. Bajo condiciones de estrés el ACC es convertido a etileno, el cual se acumula en altas concentraciones que puede llegar a inhibir el crecimiento radical. Los microorganismos establecidos sobre las raíces, suprimen el estrés provocado por etileno y rompen este ciclo con la degradación de una porción de ACC que es exudado por las raíces antes de que puedan ser reabsorbidas y convertidas a etileno. En este sentido la elevada concentración de Na^+ en las pilas de compostaje puede afectar la actividad y el tipo de microorganismos benéficos que la colonice, incluso al momento de la aplicación en campo puede afectar la actividad de los microorganismos establecidos en el rizoplasma de los cultivos, como bacterias y hongos promotores del crecimiento; sin embargo en este trabajo dichos efectos no se midieron.

Temperatura

En la Figura 1 se muestra el comportamiento presentado por los tratamientos evaluados; se puede notar claramente las cuatro fases del proceso de compostaje: mesófila ascendente, la cual se caracteriza por tener un incremento rápido de temperatura debido a la exposición del agua al que se somete y a la actividad de las bacterias que colonizan el sustrato durante los primeros días, para este caso la primera fase tuvo una duración aproximada de 12 días.

En la fase termófila se alcanzan temperaturas por encima de los 40 °C y en algunos casos llega a sobrepasar los 60 °C, en esta fase existe una inoculación de microorganismos específicos (termófilos) que descomponen macromoléculas difíciles de descomponer, el material se higieniza al garantizar la eliminación de microorganismos patógenos con altas temperaturas, en este trabajo las temperaturas que

sobrepasaron los 40 °C duraron 8 días del día 12 al día 20 del proceso (Fig. 1); después de este día las pilas de compost mostraron un descenso continuo de temperatura. Estos hechos se basan en el principio que proponen Liski *et al.* (1999) quienes basados en modelo dinámico simple donde comparan la cantidad y edad del C orgánico del suelo, proponen que la descomposición de la materia orgánica añeja es sustancialmente más tolerante a los cambios de temperatura que la descomposición del mantillo nuevo; por lo tanto, es lógico suponer que el aumento de la temperatura en las pilas de compostaje se deba a la presencia del agua que reacciona con las macromoléculas contenidas en el material nuevo que se somete a biotransformación y sea más elevada en las primeras fases del proceso de compostaje.

La fase termófila descendente también conocida como de enfriamiento, se caracteriza por que la temperatura alcanzada en la fase anterior desciende por debajo de los 40 °C; es en esta fase cuando se realiza la reinoculación de flora benéfica y cuando se alcanzan temperaturas óptimas para el establecimiento de microorganismos antagonistas a fitopatógenos. En este trabajo la fase termófila descendente tuvo una duración aproximada de 25 días, comprendidos del día 21 al día 45 (Fig. 1).

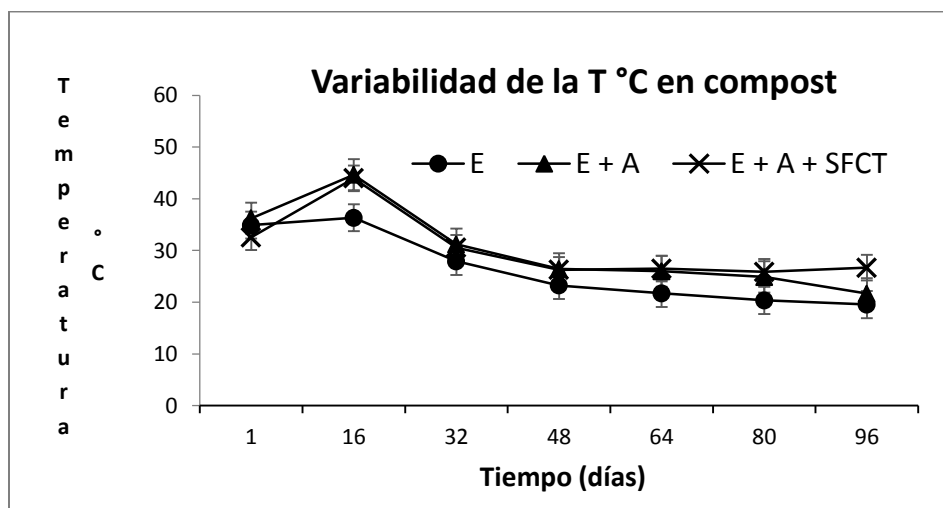


Figura. 1. Variabilidad espacial de la temperatura en compost para la supresión de fitopatógenos edáficos. E= estiércol, E+A= estiércol + alfalfa, E+A+SFCT= estiércol + alfalfa + superfosfato de calcio triple.

Las tres primeras etapas del ciclo de compostaje antes descritas tienen lugar en un tiempo relativamente corto (de días a semanas); como ya se mencionó, para este trabajo tuvo una duración de 45 días, pero la

etapa de biomadurez requiere períodos mayores, incluso meses, sin embargo las mediciones de temperatura se detuvieron el día 100 de haberse montado el experimento. Esta última etapa tiene lugar a temperatura ambiente, predominando los organismos mesófilos y apareciendo la mesofauna. En esta etapa, la producción de calor y la pérdida de peso son escasas, y se producen complejas reacciones secundarias de condensación y de polimerización, que dan lugar al humus como producto final. En este trabajo esta etapa se presentó después del día 45, cuando la temperatura descendió hasta los 25 °C (Fig. 1). Después de ese evento la temperatura registrada en las pilas se mantuvo constante con altibajos y una estrecha relación con la temperatura ambiental. No hubo diferencias significativas entre el tratamiento de E+A y el de E+A+SFCT, ya que mostraron comportamientos muy similares y fueron los que alcanzaron las temperaturas más altas, por lo que este efecto se le puede atribuir a la alfalfa acicalada. El tratamiento de E mostró diferencias significativas durante todo el proceso y fue el que presentó las temperaturas más bajas durante todo el proceso de compostaje.

De acuerdo con Smith y Hughes (2002), la temperatura sirve como indicador de la actividad microbiana al principio del proceso de compostaje; así como las propiedades químicas generales, cosecha, contenido nutrimental y propiedades químicas selectivas del producto final son los parámetros por los cuales se determina la calidad de cada tratamiento.

El comportamiento de la temperatura siguió la misma tendencia en los tres tratamientos, lo cual deja en claro que al principio del proceso existe un incremento en las reacciones bioquímicas involucradas en el proceso de biotransformación de los materiales orgánicos, esto hace que se incremente súbitamente; sin embargo no se registraron temperaturas que alcanzaran los 60 °C, lo cual de acuerdo con la NMX-FF-109-SCFI-2008 puede resultar en problemas de inocuidad con las poblaciones de microorganismos que causen riesgo a la salud humana como por ejemplo *Escherichia coli* y *Salmonella spp.*

Existe una correlación muy cercana entre la temperatura ambiental y la reportada en las pilas de los materiales; debido a las bajas temperaturas presentadas durante el periodo del compostaje no se alcanza la temperatura de 60 °C. Ya que es de suma importancia alcanzar esta temperatura para eliminar microorganismos que causen riesgo a la salud humana (*Escherichia coli* y *Salmonella spp.*), no se recomienda llevar a cabo esta práctica en periodo de otoño e invierno.

pH y CE

A continuación, en el Cuadro 3 se presentan los resultados obtenidos de las pruebas físico-químicas realizadas a los materiales. En general todos los tratamientos tuvieron un aumento en pH al final del proceso. El tratamiento de E+A+SFCT mostró diferencias significativas al compararlo con los demás, con un aumento de 0.6 unidades en ambas mediciones realizadas; a pesar que el tratamiento de E y el de E+A tuvieron un aumento de tan solo 0.4 unidades. El tratamiento de E+A+SFCT mostró niveles de pH por debajo de los demás, lo cual indica que las diferencias entre tratamientos puede estar influenciado directamente por la naturaleza química de los materiales y el aumento en el resultado de esta variable por las sales contenidas en el agua de riego; por lo que el E+A+SFCT tiene clara ventaja sobre los demás ya que en la agricultura se prefieren materiales que tiendan a la neutralidad.

La variable conductividad eléctrica (C.E.) al igual que el pH se ve aumentada al final del proceso, lo cual supone que las sales se acumularon en el producto con el transcurso del tiempo. El tratamiento de E+A+SFCT fue el más salino tanto al principio como al final del experimento y fue significativamente diferente de los demás tratamientos. Sin embargo la cantidad de sales es un factor que no se tomó en cuenta en los materiales compostados.

Cuadro 3. Características físico químicas de tres compost para la supresión de fitopatógenos edáficos.

Compost	C. E.		pH		M.O.		C		N total		P	P	CO ₂		R C/N	
	dS.m ⁻¹		H ₂ O (1:5)		Van Bemmelen		Walkey-Black		Semi-micro Kjeldahl		Soluble	Olsen	mg.g compost ⁻¹			
	I	F	I	F	I	F	I	F	I	F	I	F	I	F	I	F
E	1.02b†	1.69b	8.8b	9.2a	16.81a	9.4c	9.75a	5.45c	0.27c	0.3a	20c	336b	-	0.665c	36a	18a
E+A	1.02b	1.99ab	8.9a	9.3a	13.45b	9.62b	7.8b	5.58b	0.34b	0.31a	23b	346b	-	0.904b	23b	18a
E+A+SFCT	1.45a	2.18a	8.1c	8.7b	12.41c	9.74a	7.2c	5.65a	0.37a	0.31a	63a	721 ^a	-	1.061a	19c	18a

† Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). E= estiércol bovino, E+A= estiércol+alfalfa, E+A+SFCT= estiércol+alfalfa+súper fosfato de calcio triple, C.E.= conductividad eléctrica, M.O.= materia orgánica, C=carbono, N total= nitrógeno total, P soluble= fósforo soluble, P Olsen= fósforo Olsen, R C/N= relación C/N, I= Muestreo inicial (03/10/13), F= Muestreo final (06/01/14).

Carbono, materia orgánica y biomadurez

Como puede observarse en el cuadro 3, el contenido de C en los tratamientos disminuyó con el paso del tiempo y por lo tanto también el porcentaje de M.O., ya que dichos factores se encuentran ínfimamente relacionados. El E es el tratamiento que presenta el porcentaje de C más alto al inicio del experimento (9.75 %), y al final es el que se presenta más bajo con un valor de 5.45 %. El tratamiento E+A+SFCT es el tratamiento con el valor porcentual más bajo al inicio del proceso y se sitúa como el más alto para el final, con un 5.65 %. La mezcla de E+A es la que se encuentra en nivel intermedio con 5.58 %. Es lógico pensar que la disminución en estos parámetros se deba a la degradación de los polímeros presentes al inicio del proceso de compostaje que al entrar en contacto con el agua se volatilizan en forma de CO₂ y CH₄ principalmente en condiciones aerobias o anaerobias respectivamente.

Se midió el desprendimiento de CO₂ en la fase de enfriamiento para tomarlo como parámetro de biomadurez del compost (cuadro 3). A pesar de que no se midió este factor al inicio del proceso de compostaje para compararlo con el desprendimiento final, se puede notar claramente las cantidades desprendidas por los materiales son realmente bajas. Los resultados indican que el E+A+SFCT fue el material que desprendió mayor cantidad de CO₂; y presenta diferencias significativas sobre el E+A y el E, con valores de 1.06, 0.90 y 0.66 mg CO₂.g compost⁻¹ respectivamente.

Este hecho puede deberse a que el E+A+SFCT, por ser el material más rico nutricionalmente hablando, además de las propiedades dadas por la composición química de las fuentes de origen sea este el sustrato con mayor presencia de microorganismos y por eso muestra una mayor actividad respiratoria sobre los demás tratamientos. Tal argumento se corroborará en un trabajo próximo donde se mida la densidad poblacional de los microorganismos establecidos en los diferentes materiales.

Nitrógeno y relación C/N

A pesar del 0.37, 0.34 y 0.27 % que mostraron el E+A+SFC, E+A y el E respectivamente al inicio del compostaje en contenido de N, los tres tratamientos se mostraron similares al final del proceso, ya que no presentaron diferencias significativas entre ellos, con un 0.31, 0.31 y 0.30 %.

La R C/N es un indicador de la estabilidad de los materiales que toma en cuenta la concentración de N contenida en los materiales con respecto a la concentración de C. La R C/N de E, E+A y E+A+SFCT al inicio fue de 36, 23 y 19, y para el final del proceso la R C/N fue de 18 en todos los materiales estudiados, esto sugiere que se encuentran en una etapa temprana de la fase de maduración y su relación es aún alta, lo que puede ser favorable ya que estos materiales contarán con reservas de alimento suficientes para alojar a los microorganismos durante un periodo plausible de tiempo.

Saber el dato de la relación C/N obtenida a los 100 días del proceso de compostaje puede ser de mucha importancia ya que este factor puede ayudar a manejar los momentos oportunos de inoculación de microorganismos antagonistas, así como el momento en que se debe detener el proceso de compostaje y el momento oportuno de la aplicación del compost al cultivo.

Fósforo

El tratamiento E+A+SFCT tiene una concentración mucho más elevada de P que los otros tratamientos debido a la adición del fertilizante, presentó una concentración de 721 mg.Kg⁻¹ en la segunda determinación, realizada por el método Olsen, mientras que el tratamiento de E y E+A presentaron 336 y 346 respectivamente, sin mostrar diferencias significativas entre ellos. Estos resultados son muy deseables

para el desarrollo de microorganismos benéficos que utilizan el P como fuente de energía y para las plantas, ya que es un nutrimento esencial para ellas, lo requieren en cantidades relativamente grandes y se encuentra en concentraciones bajas en el suelo. La razón principal para este fenómeno, es que los iones de fosfato inorgánico se unen rápidamente a coloides del suelo o se fijan como sales de fierro o aluminio volviéndose relativamente inmóviles además de que una gran proporción del fósforo inorgánico total está normalmente en forma insoluble, no disponible fácilmente para las plantas (Aguilera *et al.*, 2007).

Se ha demostrado que gran parte del fosfato de suelos con alto contenido de M.O presente en la cercanía de las raíces de las plantas se encuentra en forma de fitatos (fosfatos de inositol) los cuales son insolubles pero pueden ser inducidos a formar soluciones mediante las fosfatasas de las raíces o de las hifas fúngicas. Por otra parte en una caracterización química de dos suelos andepts de Ñuble en Chile, también se demostró que la fijación de P en el suelo disminuye a medida que crece el contenido de materia orgánica; de acuerdo con esto, el incremento de C orgánico en el suelo puede deberse a la mayor actividad bioquímica de las especies microbianas, que se han estimulado como resultado del aumento del P disponible y aireación por incorporación de residuos orgánicos y/o laboreo principalmente. Una mayor actividad bioquímica debe traducirse necesariamente en una mayor velocidad de síntesis de humus.

Sin embargo, existen pocos estudios en suelos acerca de las transformaciones biológicas que pueda sufrir el P inicialmente absorbido sobre la superficie de las arcillas y en particular del alofán y las consecuencias inherentes a su disponibilidad, como en los suelos presentes en la franja aguacatera de Michoacán, México. Sin duda que los componentes orgánicos, bióticos y abióticos, que en conjunto determinan en los suelos una elevada actividad bioquímica, deben afectar a través del tiempo la forma del P del fertilizante (P_2O_5) absorbido sobre las arcillas y en particular del alofán, modificando así su disponibilidad. Quintero (2014) menciona que con respecto a las enzimas que mayormente tienen presencia en la formación de las sustancias húmicas son las fosfomonoesterasa (fosfatasa ácida y alcalina) y arilsulfatasa.

Lo cual deja en claro que la composición química de los materiales influirá en la especificidad de la microflora que se establecerá en las pilas de compostaje de manera natural y ayudará a biotransformar los sustratos iniciales. Con lo cual se infiere que el proceso de compostaje puede manipularse y conducirse hacia rutas metabólicas específicas, estas dependerán del objetivo para el que se ocupe el compost; puede ser utilizado con fines de adicionar materia orgánica al suelo, reestructurar las propiedades físicas, nutrición al cultivo o suprimir patógenos del suelo y en este fenómeno la disponibilidad de P es un factor de suma importancia.

Es necesario mencionar que la producción de compost y vermicompost con fines de control biológico de fitopatógenos del suelo tiene un potencial enorme, pero se necesita mayor investigación sobre este tema para lograr un control efectivo. No hay que olvidar que el control biológico tiene propiedades y requerimientos muy distintos a los métodos de control tradicionales, y ha de ser puesto en práctica integrándolo con los métodos y con las estrategias de producción existentes actualmente, tales como normas oficiales de inocuidad y sanidad vegetal, fertilización mineral, uso de inductores de resistencia, patrones resistentes a enfermedades del suelo, etc.

CONCLUSIONES

Los tres sustratos evaluados presentan diferentes características físico-químicas, debido a la naturaleza propia de los materiales de origen. El tratamiento E+A+SFCT parece reunir las mejores condiciones para el establecimiento de microorganismos antagonistas, debido a que presenta propiedades más deseables para el desarrollo y crecimiento de bacterias y hongos benéficos que ayudan en la nutrición de la planta y participan con diversos mecanismos, incluidos la solubilización de P, producción de fitohormonas, degradación de la molécula ACC, disminución de estrés causado por altas concentraciones de etileno en las raíces y supresión de patógenos.

La alfalfa acicalada y molida ayuda a elevar la temperatura en la fase termófila del proceso hasta los 45 °C; con lo cual se higieniza el producto ya que tiene un rango de temperaturas más amplio y asegura la eliminación de patógenos que resisten temperaturas por debajo de la señalada. Garantizar una temperatura elevada en esta fase es de suma importancia ya que de esta dependerá el tipo de moléculas que se formen y las características físico-químicas del sustrato final, lo cual condicionará la flora microbiana específica que colonice en la fase de enfriamiento y/o biomadurez del compost. La composición de la materia orgánica que ingresa al suelo, influye en el balance microbiológico de este, por lo tanto también en la supresión.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera-Gómez L. I., V. Olalde-Portugal, R. Arriaga y R. Contreras Alonso. 2007. Micorrizas arbusculares. *Ciencia ergo sum*. Vol 14-3. Pp 300-306.
- Altomare, C., A. Norvell, T. Björkman, and E. Harman. 1999. Solubilization of phosphates and micronutrients by the plant-growth promoting and biocontrol fungus *Trichoderma harzianum* Rifai 1295-22. *Appl. Env. Microbiol.*, 65:2926-2933.
- Bautista-Calles, J., R. García-Espinosa, E. Zavaleta-Mejía, J. Pérez-Moreno, R. Montes-Belmont, R. Ferrera-Cerrato, M. Huerta-Lara. 2010. Disminución de la marchitez del chile (*Phytophthora capsici* Leo) con complejidad ascendente de antagonistas en el sustrato de germinación del chile (*Capsicum annum* L.). *Interciencia*. Vol. 35: 8 (613-618).
- Cook, R. J., L. S. Thomashow, D. M. Weller, D. Fujimoto, M. Mazzola, G. Bangera and D. Kim. 1995. Molecular mechanisms of defense by rhizobacteria against root disease. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 92:4197-4201.
- Curl, E. A., R. Lartey, and C. M. Peterson. 1988. Interactions between root pathogens and soil microarthropods. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 24: 249-261.
- De Cuester, T. J. J. and H. A. J. Hoitink. 1999. Prospects for composts and biocontrol agents as substitutes for methyl bromide in biological control of plant diseases. *Compost Sci. Util.*, 7:6-15.
- Desai, S., M. S. Reddy, J. W. Kloepper (2002). Comprehensive Testing of Biocontrol Agents. *In: Biological Control of Crop Diseases*. Gnanamanickam SS (Ed.). Dekker. Nueva York, NY, EEUU. pp. 387-420.
- Erwin D. C. and O. K. Ribeiro. 1996. *Phytophthora*. Diseases Worldwide. The American Phytopathological Society Press. St. Paul, MN, EEUU. 562 pp.
- Goodwin, S.B. 1997. The populations genetics of *Phytophthora*. *Phytopathology* (87):462-473.
- Harman, G. E. 2000. The myths and dogmas of biocontrol: changes in perceptions derived from research on *Trichoderma harzianum* strain T-22. *Plant Disease*, 84: 377-393.
- Hoitink, H. A. J., Y. Inbar and M. J. Boehm. 1991. Status of compost-amended potting mixes naturally suppressive to soilborne diseases of floricultural crops. *Plant Dis.*, 75:869-873.
- Hoitink, H. A. J., A. G. Stone, and D. Y. Han. 1997. Suppression of plant diseases by composts. *HortScience*, 32:184-187.
- Kloepper, J. W., J. Leong, M. Teintze and M. N. Schroth. 1980. *Pseudomonas siderophores*: A mechanism explaining disease-suppressive soils. *Curr. Microbiol.*, 4:317-320.
- Kwok, O. C. H., P. C. Fahy, H. A. J. Hoitink and G. A. Kuter. 1987. Interactions between bacteria and *Trichoderma hamatum* in suppression of *Rhizoctonia* damping-off in bark compost media. *Phytopathology*. 77:1206-1212.
- Liski, J., H. ilvesniemi, A. Mäkelä and C. J. Westman. 1999. CO₂ emissions from soil in response to climatic warming are overestimated: The decomposition of old soil organic matter is tolerant of temperatura. *Ambio*. 28 (2): 171-174.

- Mora A. A., Teliz O. D., Mora A. G., Etchevers B. J. D. 2007. Tristeza del aguacate (*Phytophthora cinnamomi*) In: El aguacate y su manejo integrado. Teliz O. D. y Mora A. A. (eds.) 2ª. Edición. Ed. Mundi-Prensa. México. Pp.192-196.
- Nelson, E.B. and H. A. J. Hoitink. 1983. The role of microorganisms in the suppression of *Rhizoctonia solani* in container media amended with composted hardwood bark. *Phytopathology*. 73:274-278.
- NMX-FF-109-SCFI-2008. Humus de lombriz (Lombricomposta)- Especificaciones y Métodos de Prueba. Secretaría de Economía. Dirección General de Normas. México. 28 p.
- Paulitz T.C. y R. R. Bélanger. (2001) Biological control in greenhouse systems. *Annu. Rev. Phytopathol.* 39: 103-133.
- Penrose, D.M. and B. R. Glick. 2001. Levels of ACC and related compounds in exudate and extracts of canola seeds treated with ACC deaminase-containing plant growthpromoting bacteria. *Can. J. Microbiol.* 47: 368–372.
- Phae, C.G., M. Shoda, H. Kubota, 1990. Suppressive Effect of *Bacillus subtilis* and it's products on phytopathogenic microorganisms. *J. Ferment. Bioeng.* 69 (1) :1-7.
- Quintero-Lizaola R. 2014. Poblaciones microbianas, actividades enzimáticas y sustancias húmicas en la biotransformación de residuos. *Terra Latinoamericana* 32 (2): 161-172.
- Smith, D. C., and J. C. Hughes. 2002. Changes in chemical properties and temperature during the degradation of organic wastes subjected to simple composting protocols suitable for small-scale farming, and quality of the mature compost. *South Africa. S. Afr. Journal of Plant and Soil.* 19(2) 53-60 DOI: 10.1080/02571862.2002.10634439
- Teliz-Ortiz, D., A. Mora-Aguilera, C. Velázquez, R. García, G. Mora-Aguilera, P. Rodríguez, J. D. Etchevers-Barra., S. Salazar, P. H. Tsao. 1992. Integrated management of *Phytophthora cinnamomi* root rot of avocado in Atlixco, Puebla, México. *Proc. Of Second World Avocado Congress.* pp. 79-87.
- Trankner, A. 1992. Use of agricultural and municipal organic wastes to develop suppressiveness to plant pathogens, pp. 35-42. *In: Biological Control of Plant Diseases: Progress Challenges for the Future.* Tjamos, E. S., G.C. Papavizas and R.J. Cook (Ed), Plenum Press, New York. 1992.
- Ramona, Y. and Line M. A. 2002. Potential for the Large-Scale Production of a Biocontrol Fungus In Raw and Composted Paper Mill Waste, *Compost Science & Utilization*, 10:(1) 57-62, DOI:10.1080/1065657X.2002.10702063
- Zavaleta-Mejía E. 2010. Modificadores orgánicos como estrategia de manejo de enfermedades de la raíz. *Ecología de la raíz.* Sociedad Mexicana de Fitopatología A. C. Pp. 93 -103.
- Zhang, W., D. Y. Han, W. A. Dick, D. R. Davis, and H. A. J. Hoitink. 1998. Compost and compost water extract-induced systemic acquired resistance in cucumber and *Arabidopsis*. *Phytopathology*, 88:450-455.

VII. Artículo 2. MICROORGANISMOS ANTAGONISTAS AISLADOS DE COMPOST PARA LA SUPRESIÓN DE *Phytophthora cinnamomi* Rands EN AGUACATE.*

* El presente artículo científico se redactó bajo las normas editoriales de la Revista Agrociencia.

MICROORGANISMOS ANTAGONISTAS AISLADOS DE COMPOST PARA LA SUPRESIÓN DE *Phytophthora cinnamomi* Rands EN AGUACATE

Antagonisms isolated of compost for *Phytophthora cinnamomi* Rands. supression in avocado.

Zorrilla Sánchez, Sergio¹, Quintero Lizaola, Roberto¹, Teliz Ortiz, Daniel², Zavaleta Mejía, Emma²

Resumen

El objetivo del presente trabajo fue aislar e identificar molecularmente los microorganismos con mejores propiedades antagonistas a *Phytophthora cinnamomi* establecidos en tres compost diferentes; además de determinar *in vivo* el compost con mejores propiedades para la supresión de *P. cinnamomi*. La unidad experimental correspondió a una planta de aguacate sembrada en una maceta de polietileno negro de 7 L de volumen. Los tratamientos evaluados fueron un testigo que se estableció en una mezcla de sustrato inerte de Perlita y Turba (1:2), los demás tratamientos fueron: compost de estiércol bovino (E), compost de E y paja de alfalfa acicalada y molida (A), compost de E+A+ súper fosfato de calcio triple (SFCT). Todos los tratamientos fueron probados con y sin inóculo de *P. cinnamomi*. Los mejores resultados se obtuvieron con el compost de E+A+SFCT, ya que se redujo la velocidad de infección por parte del patógeno. Las plantas de aguacate empezaron a mostrar síntomas de marchitamiento y hojas con textura de papel a los 15 días después de la inoculación, mientras que el tratamiento señalado presentó los síntomas después del día 30.

Palabras clave adicionales: Estiércol, Alfalfa, Fósforo, *Persea americana*.

Abstract

The aim of this study was to isolate and identify microorganisms molecularly better antagonistic properties to *Phytophthora cinnamomi* established in three different compost; besides determining in vivo the compost with improved properties for the suppression of *P. cinnamomi*. The experimental unit was a avocado plant planted in a pot of black polyethylene 7 L volume. The treatments were a control that was set in a mixture of inert substrate of perlite and peat (1:2), the other treatments were composted cattle manure (E), E compost and straw groomed and ground alfalfa (A), compost + E + A triple super phosphate, calcium (SFCT). All treatments were tested with and without inoculum of *P. cinnamomi*. The best results were obtained with the compost E + A + SFCT, since the rate of infection by the pathogen is reduced. Avocado plants began to show symptoms of wilting and textured paper leaves at 15 days after inoculation, while the treatment presented symptoms noted after day 30.

Additional keywords: Manure, Alfalfa, Phosphorus, *Persea americana*.

La rizósfera aloja algunos organismos como bacterias, hongos, nemátodos, protozoarios, algas y artrópodos pequeños que tienen efecto neutral en la planta, pero también atrae organismos que ejercen un efecto negativo o positivo en ella. Los microorganismos que afectan adversamente la salud y crecimiento de la planta son los hongos patógenos, oomicetos, bacterias y nemátodos; estos utilizan las grandes cantidades de carbono que es fijada por las plantas y enviada a la rizósfera.

Existen cuatro principales grupos de patógenos de plantas, pero solo dos de ellos son los mayormente encontrados en el suelo: hongos (hongos verdaderos y oomicetos) y nemátodos (Agrios, 2005). Solo algunos pocos grupos de bacterias son consideradas como edáficas,

probablemente porque en el periodo de no formación de esporas no pueden sobrevivir por largos periodos; además las bacterias requieren heridas o aberturas naturales para penetrar en la planta y hacer la infección, por ejemplo: *Ralstonia solanacearum*, que causa la marchitez bacteriana del tomate (Genin y Boucher, 2004) y *Agrobacterium tumefaciens*, el bien estudiado agente causal de la agalla de la corona (Nester *et al.*, 2005). También algunas bacterias filamentosas (*Streptomyces* sp.) pueden inducir enfermedades en las plantas y están mejor adaptadas a sobrevivir en el suelo.

Los hongos y oomicetos son los patógenos más importantes del suelo. Los hongos son eucariotas, pluricelulares, heterótrofos y producen redes de hifas llamadas micelio absorben nutrientes del sustrato que lo rodea (Alexopolous *et al.*, 1996). Los oomicetos tienen morfología similar a los hongos, pero están filogenéticamente más estrechamente relacionadas con las algas heterocontas tales como las crisofitas y las diatomeas (West *et al.*, 2003). Este grupo de organismos miceliales pertenecen al reino Stramenopila (Blair *et al.*, 2008), que representa una línea evolutiva única y distante de los hongos verdaderos. El carácter unificador del reino Stramenopila es el flagelo anterior de tipo oropel, el cual porta dos filas de vellosidades tubulares tripartitas y que está presente en el aparato flagelar de las zoosporas y le permite trasladarse (Moore, 2002). Sin embargo, además de dispersarse por medio de zoosporas y de producir oosporas sexuales con paredes celulares gruesas, poseen otras características tales como celulosa (β -1,4-glucano) en sus paredes celulares; contrario a los hongos que contienen quitina, diplodía vegetativa, crestas mitocondriales tubulares, y en el caso de las especies del género *Phytophthora*, la falta de epoxidación del escualeno para la síntesis de esteroides (West *et al.*, 2003 y Raaijmakers *et al.*, 2009).

La mayoría de los oomicetos son parásitos de plantas, y algunas especies ocasionan enfermedades en plantas de importancia económica (Thines y Kamoun, 2010). Dentro de los oomicetos se encuentra el género *Phytophthora* que tiene un número amplio de hospederos, entre los que se destacan: en el aguacatero, la pudrición de las raíces causada por *P. cinnamomi* (Zentmyer y Mitchell, 1986). La enfermedad conocida como “tristeza del aguacatero” es causada por *P. cinnamomi*, el cual es un parasito facultativo y cosmopolita, es decir, es un habitante de los suelos de todo el mundo; se alimenta de restos de cosechas en descomposición, pero bajo condiciones favorables puede atacar las raíces vivas y el cuello de más de 600 plantas de interés económico para el hombre, incluyendo la piña, durazno, manzano, mango, macadamia, papaya, azalea, pino, ciprés, eucalipto y encino, entre otras (Mora *et al.*, 2007).

De acuerdo con Mora *et al.* (2007), la erradicación de este patógeno por medio del control químico es irracional por lo difícil, costoso, inefectivo y por los daños al ambiente. Esta situación impone la necesidad de convivir con *P. cinnamomi* por medio de estrategias de manejo integrado de la enfermedad y el cultivo, que den vigor a los árboles y mantengan bajas las poblaciones del organismo para que no cause daños económicos.

La disponibilidad del fósforo puede ser facilitada por la acción de algunos hongos solubilizadores de fosfato de calcio, hierro y aluminio (Richardson *et al.*, 2009). Estos microorganismos tienen importancia en la nutrición vegetal, ya que puede incrementar la disponibilidad de fósforo en el suelo (Goldstein, 2007). Los hongos solubilizadores más estudiados *Penicillium* y *Aspergillus* (Pandey *et al.*, 2008). Hernández *et al.*, (2011) también demostraron actividad solubilizadora de *Paecilomyces* hacia los fosfatos de calcio in vitro, al

hallar que el área de solubilización del hongo fue aproximadamente tres veces más extensa que el tamaño de su micelio.

Uno de los métodos más promisorios y frecuentemente usados para lograr el control biológico de fitopatógenos del suelo es con la ayuda de residuos de plantas y enmiendas orgánicas adicionados al suelo. La reducción de la severidad frecuentemente es obtenida con sustancias desprendidas de estas enmiendas, o mediante efectos antagonistas, antibiosis, competencia microbiana, u otros mecanismos que de alguna manera terminan siendo perjudicial para el patógeno.

El objetivo del presente trabajo fue aislar e identificar molecularmente los microorganismos con mejores propiedades antagonistas a *Phytophthora cinnamomi* establecidos en tres compost diferentes; además de determinar *in vivo* el compost con mejores propiedades para la supresión de *P. cinnamomi*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Fase de campo. Se realizó el compostaje de tres tratamientos diferentes, los cuales consistieron en 1. Estiércol bovino (E), 2. E + paja de alfalfa acicalada y molida (A), y 3. E + A + Súper fosfato de calcio triple (SFCT) con fórmula (00 N-46 P₂O₅- 00 K₂O- 13 Ca). El proceso de compostaje se llevó a cabo en el Campo Experimental del Colegio de Postgraduados campus Montecillo, Estado de México, México. Una vez terminado el proceso de compostaje se procedió a tomar muestras de cada tratamiento y estas se secaron a la sombra durante tres días.

Fase de laboratorio. Se sembraron diluciones de estas a concentraciones de 1×10^{-3} y 1×10^{-4} con cinco repeticiones, se mantuvieron en cámaras bioclimáticas a 26 °C y se contabilizó el número

de unidades formadoras (ufc) de colonias de hongos y bacterias en medio PDA (Papa-Dextrosa-Agar). El conteo de ufc se realizó a las 24, 48, 72, 96 y 120 horas. Una vez contabilizados los microorganismos contenidos en el compost, se procedió a aislar los que se presentaron en mayor cantidad para purificarlos en medio PDA.

También se tomaron muestras de suelo de huertos ubicados en el municipio de Uruapan, Michoacán y se tomaron muestras de raíz de árboles infectados con *P. cinnamomi* para obtener el patógeno en medio PARPH (Piramicina-Ampicilina-Rifamicina-PCNB-Harina de maíz) y después aislarlo en medio Agar-V8 (Agar-Jugo de ocho verduras) a 26 °C.

Cuando se tuvieron los microorganismos aislados de compost y el patógeno puros se evaluó el antagonismo *in vitro* de cada microorganismo aislado a *P. cinnamomi*. Se sembraron 5 repeticiones de cada prueba realizada. La prueba consistió en una caja Petri de 100x15 mm con una rodaja de 8.5 mm de diámetro de *P. cinnamomi* a un extremo de la caja y otra rodaja del microorganismo aislado a 180 ° de la ubicación del patógeno. Los microorganismos que mostraron mayor eficacia en la supresión a *P. cinnamomi* se identificaron por la técnica de PCR (Polymerase Chain Reaction).

Por otra parte el patógeno también fue propagado en condiciones asépticas en semilla de trigo para la generación de micelio y asegurar el inóculo necesario para las pruebas de antagonismo *in vivo*.

Las semillas de trigo fueron pesadas y depositadas en frascos de vidrio, se les agregó el mismo peso de la mezcla Agua-V8 (1 L:250 mL) y se esterilizó en autoclave con presión y calor por periodos de 1 hora cada 24 horas por cuatro días consecutivos. Al día quinto se procedió a

sembrar rodajas del medio V8 con *P. cinnamomi* establecido por 8 días. Las semillas se mantuvieron en incubación en cámaras bioclimáticas sin luz y a una temperatura constante de 28 °C por un mes, hasta tener las semillas de trigo cubiertas de micelio en su totalidad. Este material se utilizó como fuente de inóculo para realizar pruebas de antagonismo in vivo con plantas de aguacate (*Persea americana* var. Hass).

Fase de vivero. Se establecieron plantas de aguacate de 7 meses de edad en macetas de 7 L; al realizar el trasplante las plantas contaban con un cepellón de 2 L de tierra y se agregó el sustrato restante para llenar las macetas. Una vez hecho el trasplante, las plantas de aguacate se regaron y se registró la temperatura del suelo diariamente.

La unidad experimental correspondió a una planta de aguacate sembrada en una maceta de polietileno negro de 7 L de volumen. Los tratamientos evaluados fueron un testigo que se estableció en una mezcla de sustrato inerte de Perlita y Turba (1:2), los demás tratamientos fueron: compost de estiércol bovino (E), compost de E y paja de alfalfa acicalada y molida (A), compost de E+A+ súper fosfato de calcio triple (SFCT). A los 30 días después del trasplante se notó la presencia de raíces nuevas en el área del sustrato a evaluar, ese fue el indicador para realizar la inoculación de *P. cinnamomi* en la parte radical de las plantas. Todos los tratamientos fueron probados con y sin inóculo de *P. cinnamomi*.

Para realizar la inoculación se llevó a cabo varios bioensayos previos para establecer la cantidad semilla con el patógeno que mata una planta de aguacate en un periodo razonable de tiempo. Una vez definida la cantidad de semilla necesaria para llevar a cabo la infección de las plantas se

procedió a contar las ufc contenidas en la mezcla elaborada y estandarizar el método de inoculación, lo cual se describe a continuación:

Para contabilizar las ufc contenidas en la mezcla a agregar se midió 200 mL de agua destilada y 50 mL de jugo V8, se mezclaron y se centrifugaron a 5000 rpm; se pesó 6 g de semilla de trigo con micelio de *P. cinnamomi* y se vertió todo en una licuadora, además de agregarle 1/3 de placa V8 con 8 días de crecimiento de *P. cinnamomi*, toda la mezcla se licuó y posteriormente se hicieron diluciones de 1:10 a partir de las cuales se realizaron tres conteos de ufc con una cámara de Neubauer. Los resultados se expresan en número de ufc.mL⁻¹ y son el promedio de los tres conteos. Para realizar las inoculaciones en planta no se centrifuga la mezcla de jugo V8 con agua.

Para realizar las inoculaciones en planta se hicieron 4 perforaciones al sustrato de la maceta de 15 cm de profundidad y a 5 cm del tallo a manera de puntos cardinales. En estas perforaciones se agregó la mezcla con el inóculo de manera lenta para permitir que se infiltre. Una vez realizado el vertido del inóculo se procedió a tapar los hoyos. Después de la inoculación se continuó monitoreando la temperatura del suelo y los riegos siguieron manteniendo el 60 % de humedad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las diluciones sembradas de cada tratamiento se encontró que las poblaciones de bacterias fueron más altas que las de hongos (Figura 2; Cuadro 4). La población de bacterias disminuyó conforme pasó el tiempo de almacenamiento del compost. Esto se pudo constatar ya que en el primer conteo se notó la presencia de una especie de bacterias de coloración rosa en medio PDA, las cuales no se presentaron en los conteos subsecuentes.

El compost a base de E fue el que presentó la población más baja de bacterias (Figura 3) y entre el compost de E+A y E+A+SFCT no hubo diferencias significativas en los tres conteos realizados.

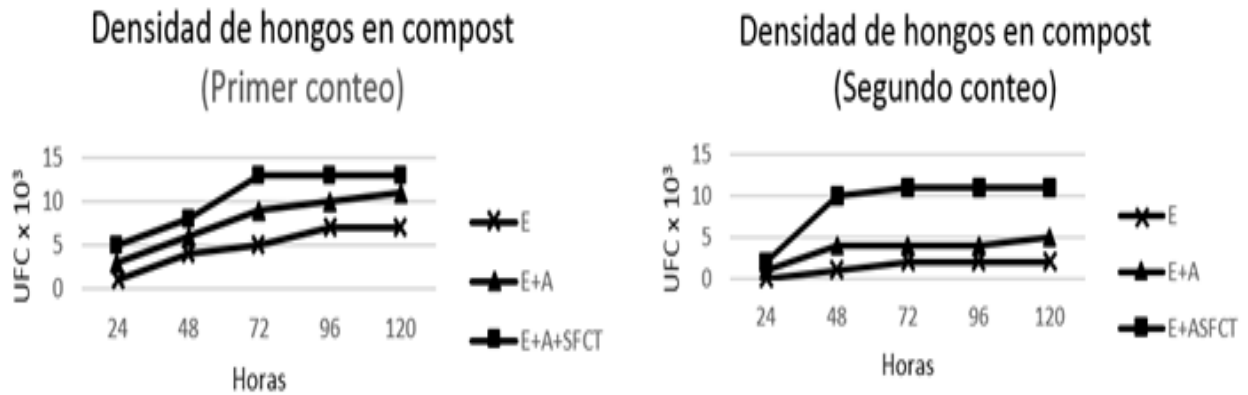


Figura 2. Densidad de hongos durante el primer y segundo muestreo.

Para el caso de los hongos, las poblaciones mostraron las mismas tendencias que las poblaciones de bacterias.

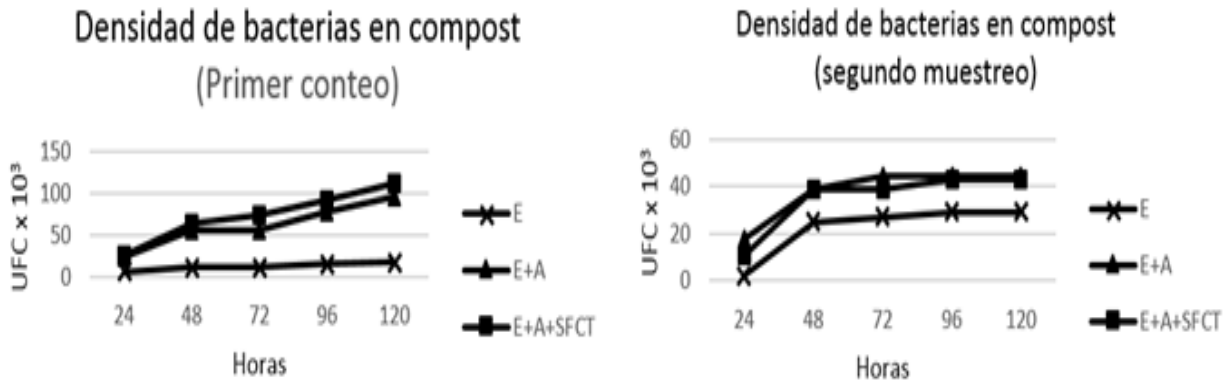


Figura 3. Densidad de bacterias durante el primer y segundo muestreo.

Cuadro 4. Densidad poblacional de hongos y bacterias encontrada en compost.

Tratamiento	Bacterias (UFC x 10 ³ . g de compost)			Hongos (UFC x 10 ³ . g de compost)			Aislamientos
	1er	2do	3er	1er	2do	3er	
E	38b	17c	29	9	7	2	1 bacteria + 2 hongos
E+A	119a	97b	44	9	10	5	1 bacteria + 5 hongos
E+ A+ SFCT	123a	113a	43	26	13	11	1 bacteria + 5 hongos

Se realizaron 16 aislamientos de colonias que tenían apariencia diferente. En las pruebas de antagonismo realizadas a los 16 aislamientos, se pudo notar que existen diferencias en la tasa de crecimiento de cada microorganismo.

Los microorganismos identificados en el compost a base de E fueron: *Mucor circinelloides*, *Bacillus amyloliquefaciens* y *Penicillium griseofulvum*; en el compost de E+A se encontraron *Eurotium amstelodami*, *Mucor circinelloides*, *Penicillium griseofulvum*, *Penicillium chrysogenum*, *Aspergillus flavus* y *Bacillus amyloliquefaciens*; y en el compost de E+A+SFCT se encontró la presencia de *Aspergillus fumigatus*, *Cochliobolus cynodontis*, *Penicillium viridicatum* y *Bacillus amyloliquefaciens*.

BIBLIOGRAFÍA

- Agrios G. N. 2005. Fitopatología. 2ª. ed. LIMUSA. México. pp: 303-324
- Alexopoulos CJ, Mims CW, Blackwell M (1996) Introductory mycology, 4th edn. Wiley, New York
- Genin S, Boucher C (2004) Lessons learned from the genome analysis of *Ralstonia solanacearum*. *Ann Rev Phytopathol* 42:107–134.
- Goldstein, A. H. 2007. Future trends in research on microbial phosphate solubilization: one hundred of insolubility. *In*: Velazquez, E. and C. Rodriguez-Baruco (eds). First International Meeting on Microbial Phosphate Solubilization. *Developments in Plant Soil Sciences* 102. Springer, The Netherlands. Pp: 91-96.
- Hernández-Leal T. I., G. Carrión, G. Heredia. 2011. Solubilización in vitro de fosfatos por una cepa de *Paecilomyces lilacinus* (Thom) Samson. *Agrociencia* 45:8 (881-892).
- Nester E, Gordon MP, Kerr A (2005) *Agrobacterium tumefaciens*: From plant pathology to biotechnology. APS, St. Paul, MN
- Pandey, A. N. Das, B. Kumar, K. Rinu and P. Trivedi. 2008. Phosphate solubilization by *Penicillium* spp. Isolated from soil samples of Indian Himalayan region. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 24: 97-102.
- Raaijmakers J. M., Paulitz T. C., Steinberg C., Alabouvette C., Moënne-Loccoz Y. (2009). The rizosphere: A playground and battlefield for soilborne pathogens and beneficial microorganism. *Plant Soil* (2009) 321:341–361 DOI 10.1007/s11104-008-9568-6
- Richardson, A. E., J. M. Barea, A. M. McNeill and C. Pringen-Combaret. 2009. Acquisition of phosphorus and nitrogen in the rhizosphere and plant growth promotion by microorganisms. *Pant Soil* 321: 305-339

VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES

CONCLUSIONES

Una mayor comprensión de la microbiología, sobrevivencia y de las interacciones de los microorganismos sobre la superficie de las plantas; así como la actividad metabólica del proceso, puede hacer posible modificar las prácticas de producción de compost y la aplicación de tecnología para optimizar la inoculación de microflora con múltiples modos de supresión de patógenos.

RECOMENDACIONES

Se recomienda seguir probando distintas fuentes orgánicas para explorar la gama de microorganismos que inoculan los materiales durante el proceso de biodegradación, esto permitirá hacer más específico el método de control de acuerdo al cultivo y al patógeno que se desea combatir.

También hay que seguir haciendo pruebas de estos materiales en plantas (*in vivo*) para garantizar el efecto positivo de los tratamientos y es deseable probarlos en campo; no solo en macetas, ya que las condiciones que se presentan son totalmente adversas para los microorganismos antagonistas y más favorables para los fitopatógenos edáficos que llevan grandes periodos de tiempo sobreviviendo en el suelo y son más resistentes a las condiciones que se presentan en campo.

Es importante también resaltar que estos métodos de supresión tienen mayor efecto cuando el compost se adiciona en etapas fenológicas tempranas en plantas de vivero, esto permite que los microorganismos se establezcan en la superficie de las raíces cuando aún no hay presencia del patógeno; y cuando se realice la siembra en campo las plantas nuevas vayan fortalecidas e inoculadas de flora antagonista; la superficie de contacto que quedará expuesta para que los patógenos se establezcan será menor lo cual reducirá el riesgo de establecimiento y desarrollo de enfermedades.