

Producción y características del *compost*

elaborado de residuos orgánicos provenientes de actividades agrícolas

M.Sc. Carlos E. Rolz Asturias

Introducción

El residuo de naturaleza orgánica proveniente de actividades agrícolas se degrada principalmente por la acción de microorganismos que actúan en condiciones naturales. La degradación está afectada por las características del residuo y del entorno ambiental en donde se produce y se acumula. El producto sólido resultante de la transformación finalmente se incorpora al suelo o en sedimentos de aguas superficiales; la mayoría de los compuestos gaseosos que se producen durante el proceso provienen de la actividad microbiana. El control de esta actividad natural puede lograrse de dos maneras: a) empleando un proceso que ocurra bajo la total ausencia de aire y que obligadamente genera metano dentro de los productos gaseosos, y b) en un sistema esencialmente aerobio. El producto sólido de este segundo proceso se conoce como *compost*.

Como producto de la oxidación biológica obtenida por la participación de una amplia gama de microorganismos, el *compost* obtenido en un adecuado procesamiento, es biológicamente estable. Se conocen los efectos beneficiosos que la adición de *compost* tiene sobre las propiedades del suelo,

entre las que destacan, una mayor retención de agua y de la capacidad de intercambio catiónico, una mejora de la estructura física, una disminución de la acidez, un incremento en la cantidad de la materia orgánica y una mejor calidad de la misma. La calidad, en este caso, se refiere a la presencia de sustancias similares al humus producidas como resultado de las conversiones bioquímicas en el proceso oxidativo. Se tiene evidencia experimental de la contribución del *compost* en nutrientes a las plantas, y recientemente se ha encontrado también un efecto del *compost* en la eliminación parcial o total de ciertas enfermedades causadas por microorganismos patógenos a las plantas. También se ha creado una demanda de *compost* en la agricultura orgánica y protegida de productos como frutas, hortalizas y ornamentales.

Enfoque

Primero, se ilustrará la técnica y el equipo comúnmente empleados en la práctica, identificándose las principales variables que inciden en la operación, el perfil del desarrollo y el control del proceso, y los microorganismos que participan en el mismo. La determinación de la estabilidad y la madurez del *compost* es un tema

de continuo estudio por lo que se le prestará atención. Luego, se comentará sobre la degradación de compuestos tóxicos y sobre la inactivación de microorganismos patógenos, que ocurre durante el proceso. En seguida, se describirán trabajos relacionados con el rendimiento de las plantas al agregar *compost* al suelo. Finalmente, se hará un resumen de la evidencia experimental que existe sobre el hecho de que el *compost* previene o disminuye algunas enfermedades de las plantas provocadas por microorganismos del suelo.

adiciona agua asperjada en la superficie; las pilas generalmente están techadas para evitar la lluvia.

En las Gráficas 1 y 2 se ilustra un sistema mecanizado de pilas estáticas para elaborar *compost* a partir residuos lignocelulósicos. En las pilas, se encuentra un sistema que inyecta aire a través de las mismas, operación que es controlada por dos probetas que se encuentran dentro de los sólidos; una probeta registra la temperatura y la otra el contenido de oxígeno gaseoso .

• Descripción del proceso

El sistema de producción consta de una unidad de acopio del residuo agrícola, una de mezcla en el caso de utilizar varios residuos, una de molienda, el reactor de oxidación biológica y finalmente, una unidad de homogenización y empaque del producto. La operación del reactor es por lotes, por lo que el tiempo de producción de un lote es el factor que influye en la productividad del sistema. Otras variables que afectan la operación son: la humedad del sólido durante el proceso, el suministro de aire y el grado de mezcla en el reactor de oxidación, y la relación carbono a nitrógeno inicial de los residuos agrícolas.

Se han ensayado a escala piloto y comercial varios diseños alternos del reactor de oxidación, incluyendo a) tambores que proveen agitación, ya sea por rotación sobre su eje o por un sistema de paletas interno, y b) recipientes rectangulares con un sistema de agitador mecánico. Sin embargo, principalmente por razones económicas, se ha empleado con frecuencia el sistema de pilas sobre el suelo. El material en las pilas se revuelve con cierta frecuencia y se le

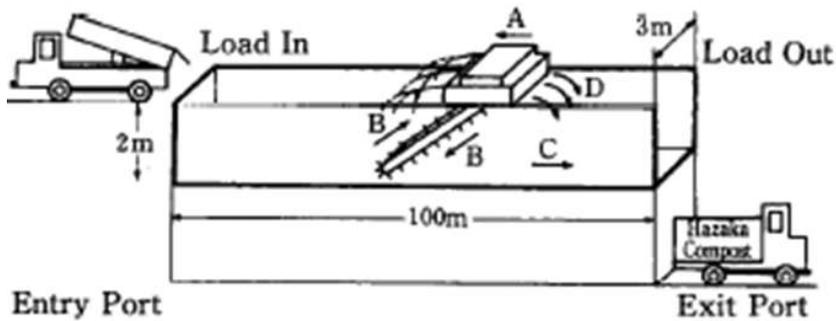


Gráfica 1. Maquinaria para transportar y cortar materia prima y formar la pila. Reproducida de la referencia (1) con atento permiso otorgado por JGPress.



Gráfica 2. Sistema de suministro de oxígeno en forma forzada en el fondo de las pilas y los controles. Reproducida de la referencia (1) con atento permiso otorgado por JGPress.

La Gráfica 3 es un diagrama simplificado del sistema Harata en operación en Japón, en donde el sólido en la pila es mezclado y transportado por un dispositivo que lo lleva desde la entrada hasta el final, con un movimiento diario de aproximadamente 4 m. y un tiempo total de 30 días .



Gráfica 3. Sistema Hazaka de movimiento discontinuo y lateral de sólidos. Reproducida de la referencia (2) con atento permiso otorgado por Elsevier.

La Gráfica 4 muestra sistemas de volteo y mezcla del material sólido en la pila, la cual se encuentra directamente sobre el suelo. Existe maquinaria similar de mayor capacidad en donde el alto de la pila es mayor al mostrado. Durante la operación es factible agregar agua al material para mantener la humedad del mismo en los niveles deseados, tal como lo muestra una de las fotos.¹



Gráfica 4. Volteadores de pila.

¹El equipo mostrado es de las compañías siguientes: www.frontierindustrial.net y www.globalrepair.ca respectivamente.

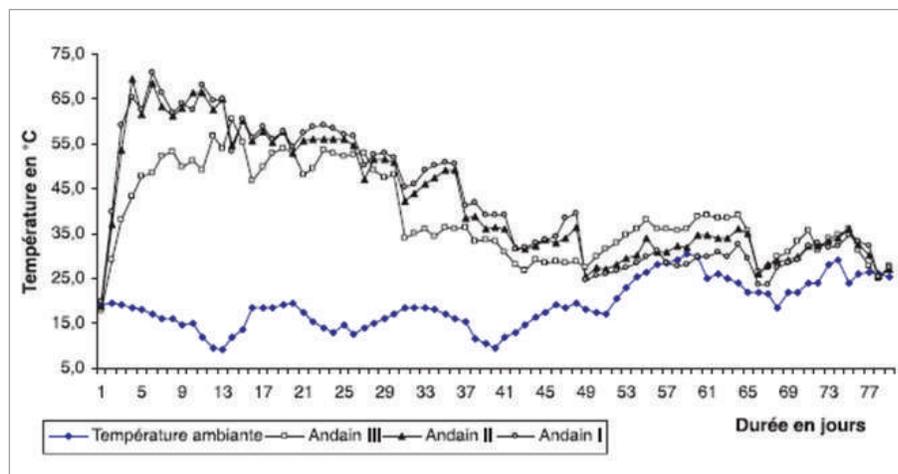
- Principales variables en la operación

El tamaño de partícula, la humedad inicial y la relación de carbono a nitrógeno (C/N) son los factores importantes de las materias primas que influyen directamente sobre la facilidad de aireación de las pilas. El aire debe fluir con facilidad a través de los espacios formados. La humedad del sólido durante el proceso no debe bajar de cierto umbral, 60% para una mayoría de opinión. En caso de que esto suceda, debe asperjarse agua, preferiblemente cuando el sólido esté siendo volteado en la pila. El mantenimiento de una humedad y una aireación adecuadas permite la evolución de una población microbiana encargada de llevar a cabo el proceso de degradación y transformación química. Como resultado de la acción microbiana, la temperatura dentro de la pila se eleva, para luego, con el tiempo, descender.

En la Gráfica 5 se observa un patrón típico de la variación de la temperatura en una pila compuesta de residuos lignocelulósicos de la palma productora de dátiles y de estiércol animal, medida a una profundidad de 60 cm; la pila fue volteada manualmente durante el

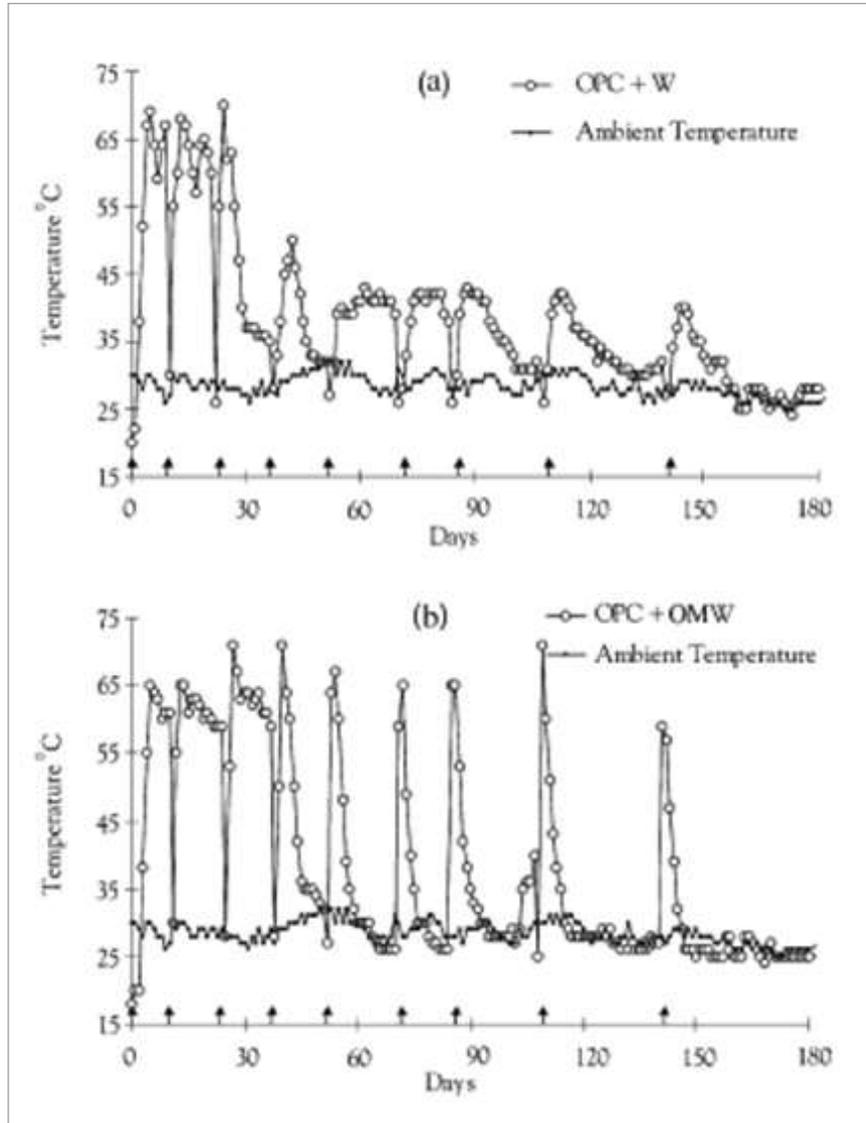
proceso en forma esporádica. En las tres réplicas se observó: a) una fase de incremento de la temperatura en los primeros tres días, b) una fase termofílica que duró cerca de 24 días, en donde la temperatura permaneció entre 50 a 70°C, y c) una fase de enfriamiento de la pila, en la cual la temperatura finalmente descendió a valores entre 25 y 30°C, en un término de alrededor de 20 días. Resultados similares de este comportamiento de la temperatura han sido informados por Saletes et al. para el residuo lignocelulósico asociado a los frutos de la palma aceitera. En el primer caso, la mezcla con el estiércol, ocasionó que la relación C/N, que originalmente estaba alrededor de 115, disminuyera a 48. En el segundo caso, los investigadores agregaron urea como fuente de nitrógeno en lugar de estiércol, lo que originó, que la relación C/N, de un valor inicial de 40, descendiera a 30.

Existe un consenso en que un intervalo entre 30 y 40 para la relación C/N es el óptimo, no importando la materia prima procesada, sola o en mezclas. El aumento de la temperatura en la pila es causado por la utilización de las fuentes de carbono que fácilmente se degradan por los microorganismos presentes. La temperatura desciende cuando los sustratos se agotan.



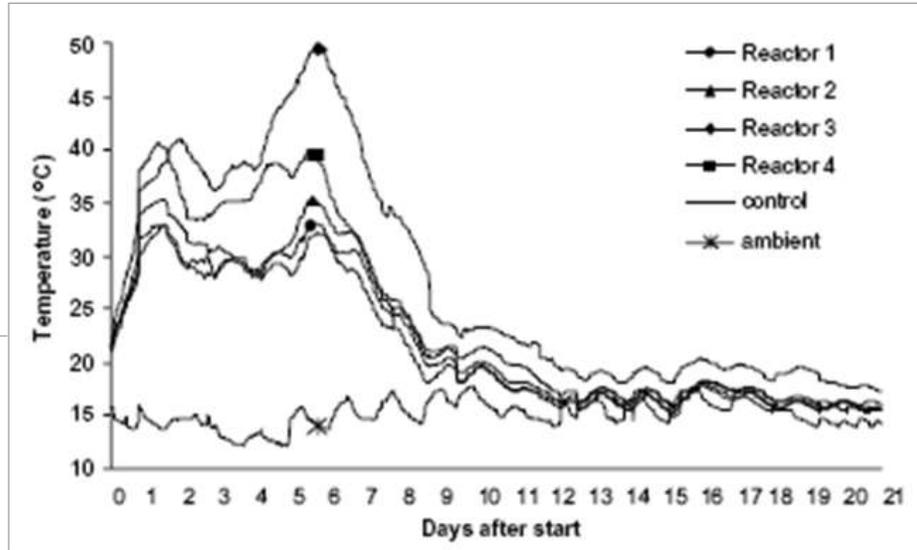
Gráfica 5. Patrón de cambio de la temperatura interna en tres pilas de réplica del mismo material consistente de residuos lignocelulósicos de la palma productora de dátiles y de estiércol animal. Reproducida de la referencia (3) con atento permiso otorgado por CISTI, Research Press Business, nrc-cnrc, Canadá.

La Gráfica 6 muestra los resultados que confirman lo anterior. En este caso el material procesado fue la torta resultante de la extracción de aceite de oliva. En el patrón mostrado en (a) la temperatura se incrementó levemente cada vez que se agregó agua al material, instantes marcados con una flecha en la gráfica, debido a la solubilización de algunos compuestos que indudablemente provocaron una mayor actividad microbiana. Por otro lado, cuando se adicionó agua proveniente del proceso de extracción de aceite, rica en compuestos orgánicos solubles, los aumentos de la temperatura fueron mayores y similares al aumento inicial, como se muestra en (b).

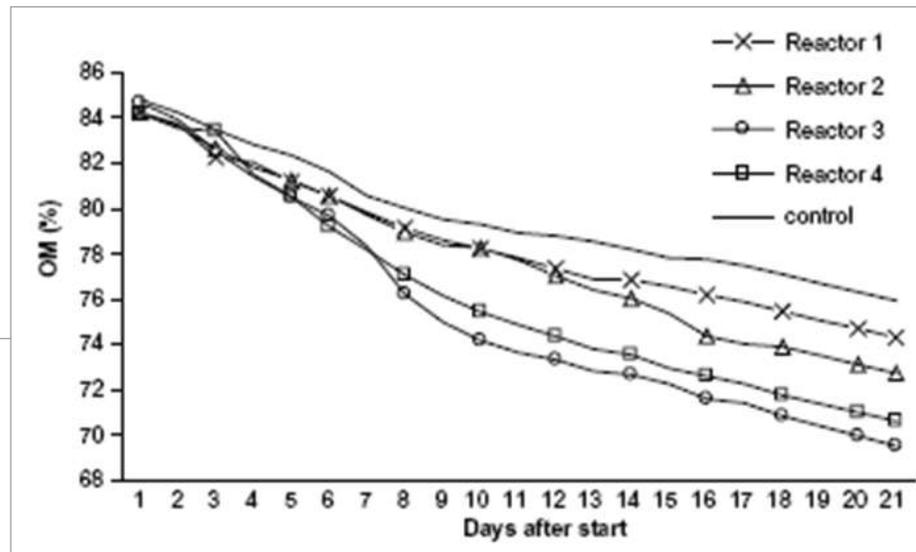


Gráfica 6.
Patrón de cambio de la temperatura interna en pilas a las cuales periódicamente se les adicionó agua (a) o efluente del proceso de extracción del aceite (b). Reproducida de referencia (5) con atento permiso otorgado por Elsevier.

Gráfica 7.
Patrón de cambio de la temperatura interna de una pila conteniendo desperdicios de hortalizas y grama. Reproducida de referencia (6) con atento permiso otorgado por Elsevier.



Gráfica 8.
Patrón de cambio de la materia orgánica de los sólidos provenientes de una mezcla de desperdicios de hortalizas y grama. Reproducida de referencia (6) con atento permiso otorgado por Elsevier.

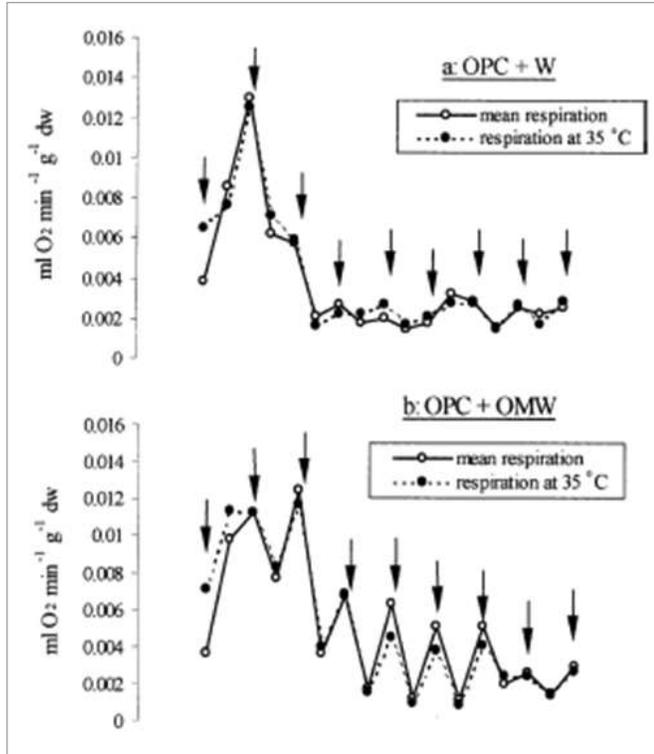


En las Gráficas 7 y 8, obtenidas al procesar una mezcla de desperdicios de hortalizas con grama cortada, en concordancia con el aumento de la temperatura en la pila, se observó una gradual disminución de la materia orgánica del material sólido.

- Población de microorganismos

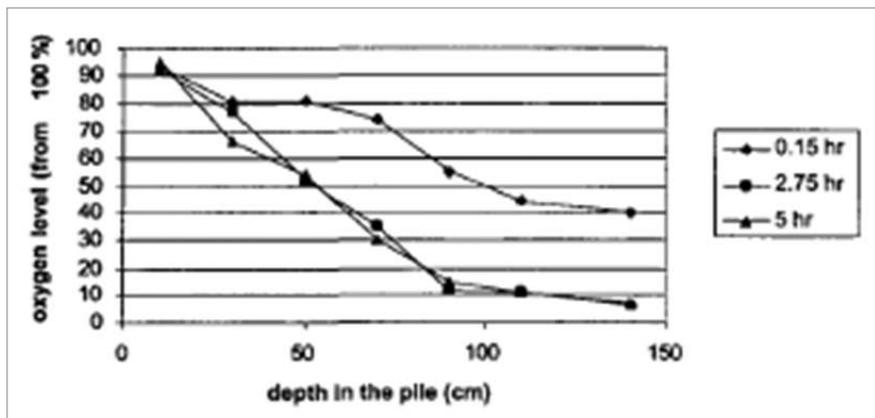
La población microbiana causante de la degradación de los sustratos se establece durante el proceso y está definida por el origen de las materias primas y las condiciones de operación. Es obvio que a) la alta temperatura en la fase inicial favorece el crecimiento de microorganismos termófilos, predominantemente aerobios, y b) existe una sucesión en el tiempo de microorganismos que predominan conforme el

entorno dentro de la pila cambia y los sustratos se agotan. La tasa respiratoria del sistema, por lo tanto, es alta al principio y luego decae. La Gráfica 9 muestra un patrón típico, el cual es similar con el patrón de temperatura mostrado en la Gráfica 6, ambos datos experimentales provienen del mismo experimento. La variable que ejerce mayor influencia sobre la cinética del proceso es la cantidad de oxígeno del aire atrapado en la pila.



Gráfica 9. Patrón respiratorio en pilas a las cuales periódicamente se les adicionó agua (a) o efluente del proceso de extracción del aceite (b). Reproducida de referencia (5) con atento permiso otorgado por Elsevier.

Como se muestra en la Gráfica 10, la concentración de oxígeno disminuye rápidamente después de un volteo del material y luego el cambio se hace más lento.



Gráfica 10. Cambios en la concentración de oxígeno dentro de la pila, luego de voltear mecánicamente la misma. Reproducida de la referencia (7) con atento permiso otorgado por JGPress.

También se observa que la concentración de oxígeno es menor a mayor profundidad en la pila. Es por esto, que existe una amplia zona en la pila en donde la baja concentración de oxígeno limita el crecimiento de microorganismos aerobios.

No es de extrañar, también, que, en el centro de la pila, a una profundidad máxima, predominen condiciones anaerobias. Utilizando métodos tradicionales de aislamiento se han logrado caracterizar algunos microorganismos presentes en las pilas, pero ha sido hasta la aplicación de técnicas de manipulación de ADN que se ha logrado tener una idea de la diversidad de los microorganismos presentes y de la sucesión de diferentes poblaciones a lo largo del proceso de manufactura del *compost*. Lo que se ha encontrado experimentalmente es que la diversidad bacteriana es baja, pero la comunidad de los microorganismos es dinámica, indicando estos hallazgos que el entorno en las pilas es selectivo para pocas especies de bacterias.

Recientemente, similares resultados se han reportado para los hongos presentes.

- Conservación de nutrientes y emisiones gaseosas

Durante el proceso aerobio de producción de *compost* el nitrógeno presente en el estiércol puede que no se retenga en el producto final. La mayoría del nitrógeno que se escapa a la atmósfera lo hace en forma de amoníaco (NH_3), o en forma de óxidos de nitrógeno (N_2O) resultantes de la nitrificación del ion amonio. Las pérdidas pueden minimizarse si: a) se emplea un valor del C/N alrededor de 40, b) se disminuye el valor del pH, y c) se reduce la tasa de aireación o la frecuencia de volteo, dependiendo del sistema. Se ha determinado experimentalmente

también, que se emiten considerables cantidades de metano de las pilas a pesar de existir una oxidación biológica del mismo durante la fase inicial termofílica del proceso, causada por el crecimiento de bacterias capaces de utilizarlo como fuente de carbono.

- Estabilidad y madurez del *compost*

El proceso de producción termina cuando el lote está estable y maduro, términos comúnmente empleados en la práctica comercial, muchas veces confundiendo el uno con el otro. Brevemente, y reuniendo una opinión mayoritaria, el término estable se refiere a la ausencia, cuantificada por algún parámetro, de la biodegradación de los sustratos; la madurez, por el otro lado, indica la ausencia de una toxicidad a las plantas de cultivo que cause una inhibición significativa en su desarrollo. Aún aceptando las anteriores definiciones, resulta difícil experimentalmente determinar el tiempo exacto para terminar un lote, e imposible poder predecirlo *a priori*. Es por esto que existe interés por desarrollar pruebas que estimen la estabilidad y la madurez del producto.

Se ha desarrollado pruebas biológicas que cuantifican, en forma comparativa a un control, el porcentaje de germinación de semillas de algunas plantas, información que indirectamente mide el grado de toxicidad presente en el *compost*. Existe bastante variabilidad en los ensayos, como se explica en detalle en publicaciones recientes.

Se tiene evidencia experimental que durante el proceso de preparación del *compost* se incrementa el contenido de humus (ácidos húmico y fúlvico) en la materia orgánica. No es de extrañar, entonces,

que se hayan propuesto varios índices, relacionados con las concentraciones de los dos ácidos antes mencionados y algunas de sus propiedades, como el grado de polimerización, para predecir la estabilidad y la madurez. Los análisis son laboriosos y hasta ahora se emplean más en la investigación que en la práctica comercial. El lector interesado puede consultar algunas referencias.

Algunos investigadores han logrado correlacionar parámetros que cuantifican la actividad microbiana, como la tasa respiratoria o el aumento de la temperatura, con el contenido de humus, medido éste como anteriormente se dijo.

Una publicación reciente resume los resultados obtenidos .

Laboratorios comerciales han desarrollado pruebas con el objetivo de que se apliquen en la práctica comercial, entre ellas se encuentra el *Test Solvita*². La prueba es confiable como puede constatarse en publicaciones recientes y se ha incluido en normas de calidad de algunos países . En estas normas es común encontrar regulaciones sobre propiedades físicas y químicas del *compost* .

- Degradación de compuestos tóxicos e inactivación de microorganismos patógenos

Durante el proceso de producir *compost*, debido a las altas temperaturas generadas, o por acciones biológicas o químicas, se degradan algunos compuestos fitotóxicos presentes en las materias primas y se inactivan microorganismos que pueden ser fitotóxicos y/o patógenos para el ser humano.

²Estima la tasa respiratoria y la evolución de amoníaco en forma calorimétrica, Woods End Research Laboratory, www.woodsend.org

Por ejemplo, los plaguicidas presentes en las materias primas, especialmente los herbicidas, poseen por naturaleza química una actividad fitotóxica. Artículos recientes de revisión han concluido que, aunque la experiencia experimental no ha sido contundente ni completa, y en algunos casos, los resultados han sido contradictorios, a excepción de los plaguicidas organo-clorados, los insecticidas organo-fosfatados, los carbamatos, y la mayoría de herbicidas se degradan substancialmente en el proceso; situación parecida a la que ocurre naturalmente en el suelo. Otro ejemplo interesante es el informado por Garbarino et al. relacionado con el compuesto ácido 3-nitro-4-hidroxifenil-arsónico, el cual se adiciona a los concentrados para aves como agente de control de enfermedades parasitarias, y que se excreta en su totalidad. Resulta que al incluir gallinaza en una mezcla para transformarla en *compost*, el ácido mencionado se degrada y libera el ion arsenato, con el riesgo que esto implica.

Uno de los casos más estudiados es el del *compost* que se ha producido incorporando lodos activados provenientes de las plantas de tratamiento de agua. Los lodos consisten básicamente en biomasa bacteriana, la cual ha adsorbido una amplia gama de compuestos químicos presentes en el agua. Durante el proceso de producción de *compost*, la biomasa se degrada y algunos compuestos, como los metales pesados, permanecen en el *compost* producido. De hecho, varios investigadores opinan que el contenido de metales pesados y la bio-disponibilidad de estos en el *compost* para las plantas, son los factores que definen la cantidad permitida de ese tipo de *compost* al suelo .

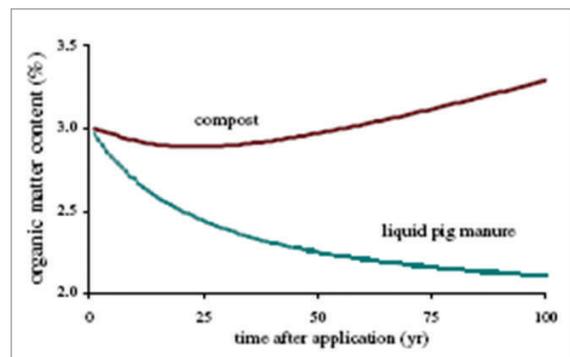
Una de las características positivas del proceso de producción de *compost*, como ya se explicó, es la presencia de una fase termofílica inicial. Es la alta temperatura alcanzada dentro de las pilas en esa fase, la causa principal de la eliminación de hongos, bacterias, virus y nemátodos que se encontraban presentes en las diferentes materias primas, resultando con ello, un producto libre de factores causantes de enfermedades de las plantas.

Cuando se emplean estiércoles en la mezcla para producir *compost*, uno de los riesgos es la presencia en el estiércol y la persistencia en el producto, de microorganismos patógenos para el ser humano, principalmente en cultivos, en donde existe alta probabilidad de contacto del producto alimenticio con el suelo de la plantación, por ejemplo, las hortalizas y las frutillas. La evidencia experimental no es abundante, y en la más reciente, se indica que es necesario, por ejemplo para la destrucción de *Escherichia coli* O157:H7, microorganismo extremadamente patógeno, mantener en las pilas una temperatura arriba de 55°C por lo menos durante 15 días .

• Beneficios del *compost* en el suelo

La disminución continua del contenido de materia orgánica del suelo, como un resultado de la producción agrícola intensiva, es un problema crítico común en diferentes latitudes. La mayoría de la información disponible sobre los efectos a largo plazo derivados de la aplicación sostenida de *compost*, sobre la cantidad y la calidad de la materia orgánica, se refiere a experiencias llevadas a cabo en países de clima templado. El resultado de un estudio de tres años, realizado en

Puerto Rico, demostró que la adición de *compost*, no sólo incrementó la cantidad de materia orgánica, sino que su calidad, estimada por indicadores involucrando a los componentes ácidos del humus, y por ende, mejoró la calidad del suelo y la productividad obtenida . La adición de *compost* al suelo representa una forma relativamente estable de nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo, comparada con la aplicación directa de estiércol. La Gráfica 11 muestra un escenario obtenido por la simulación de modelos validados de los cambios en materia orgánica del suelo comparando las dos alternativas anteriormente mencionadas; es claro el efecto positivo a largo plazo que se logra con el *compost*, a diferencia de la aplicación directa del estiércol (41).



Gráfica 11. Simulación de modelos validados que predicen el cambio a largo plazo de los cambios de materia orgánica en el suelo, debido a la aplicación de estiércol porcino tal cual, y estabilizado como *compost*. Reproducida de referencia (41) con atento permiso otorgado por Springer Science & Business Media.

En algunos cultivos, por ejemplo, en fresas, se ha comprobado el incremento en la tasa de incorporación al tejido vegetal de nitrógeno y fósforo provenientes del *compost* . Es más, una publicación reciente muestra que la adición de *compost*, incrementó el contenido de sustancias antioxidantes de las fresas y por lo tanto, su calidad nutricional.

- Efecto en la prevención de enfermedades de las plantas

Una de las interesantes propiedades del *compost* se refiere a la observación experimental relativamente reciente de que la adición de *compost* puede prevenir algunas enfermedades de las plantas provocadas por microorganismos fitopatógenos. Se ha reportado actividad contra patógenos de las raíces (principalmente a través de competencia por sustratos y parasitismo) como también contra patógenos de los brotes (a través de resistencia inducida). La evidencia hasta ahora indica que esta actividad biológica está asociada, y es debida, a la población microbiana presente en el *compost*, y/o previamente establecida en el suelo, pero favorecida por la adición del *compost*. No se descarta tampoco, porque existe evidencia experimental, que además de competir por sustratos, como lo hacen bacterias que consumen los ácidos grasos no saturados excretados durante la germinación de semillas en el suelo, existan en la población microbiana, hiperparásitos como especies de *Trichoderma* que también pueden producir resistencia inducida. Entre los resultados experimentales de prevención que se han reportado recientemente están, el daño al talluelo observado en semillas de ornamentales, frutas y hortalizas, generalmente causado por *Phythium spp.*, *Phytophthora spp.*, y *Rhizoctonia spp.*. También, la marchitez y la podredumbre de la corona y las raíces del tomate causado por *Fusarium oxysporum*. En este último trabajo también se observó una reducción del nemátodo *Meloidogyne javanica*. Finalmente, la podredumbre de la raíz, en fresas, melones y pepinos. Se ha sugerido usar el *compost* que presente la propiedad de prevención como un

substituto del fumigante gaseoso bromuro de metilo, debido a los problemas ambientales que dicho producto presenta. También se ha planteado la posibilidad de usar un extracto acuoso del *compost* como un aditivo líquido al suelo, tanto como tal, o como un producto aireado con el objeto de incrementar la biomasa microbiana del mismo.

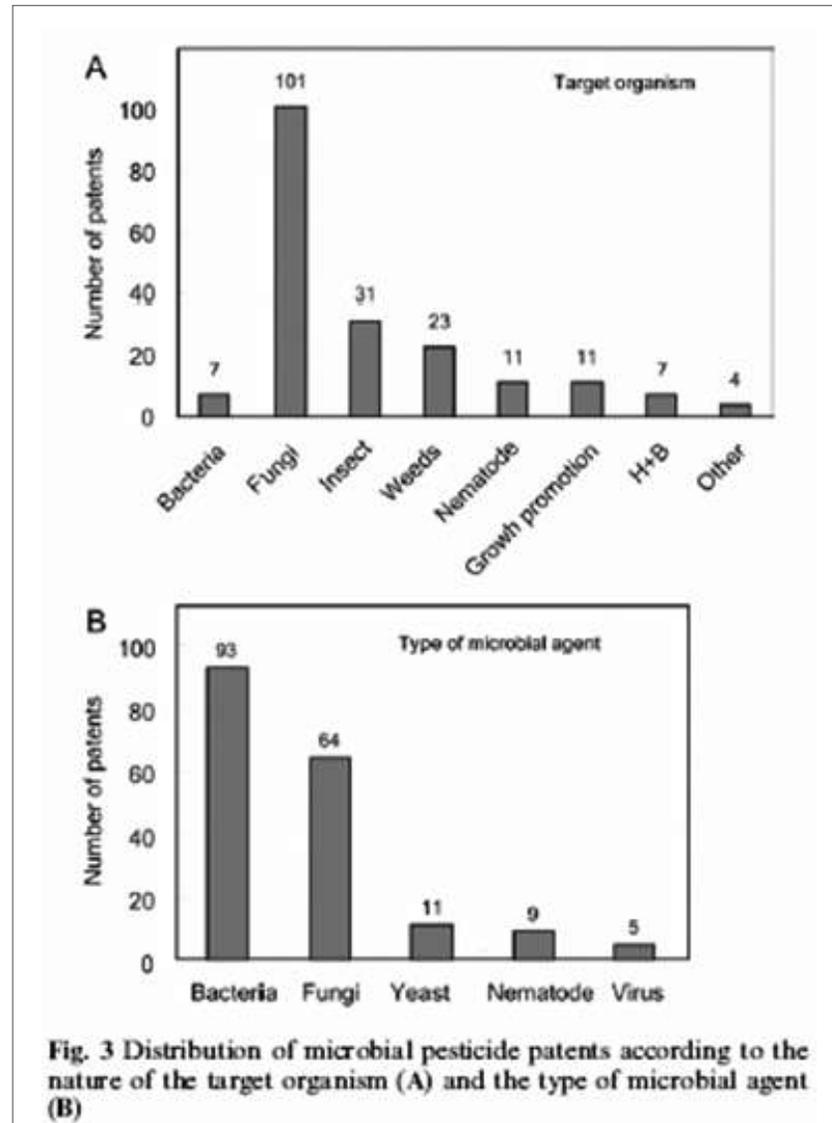
Otra alternativa que existe para lograr el efecto de prevención, es la de agregar al *compost*, protegido de alguna forma, un inóculo de biomasa microbiana con las propiedades biológicas adecuadas.

Es decir, emplear al *compost* como un soporte para un inóculo microbiano. Se ha hecho una cantidad apreciable de trabajo básico y aplicado para desarrollar inóculos microbianos que puedan emplearse como agentes de control biológico o ACBs. Sin embargo, son pocos los productos que han llegado a la etapa comercial. Algunos creen que la principal razón es que no se ha logrado superar la respuesta inconsistente e irregular de los ACBs, debido principalmente a la competencia de los inóculos con la microflora indígena existente en el suelo, a la falta de conocimiento de cómo funciona el mecanismo de control biológico, a las características propias del proceso de manufactura del inóculo y a la presentación final del mismo (62, 63).

Los microorganismos que contribuyen a eliminar las enfermedades en las plantas y que por lo tanto, pueden considerarse como agentes de control biológico (ACBs), deben satisfacer a los tres criterios siguientes, o por lo menos a alguno de ellos: a) una efectiva colonización de la rizósfera, b) una estimulación de las defensas de la planta, ya sea por una resistencia sistémica inducida (RIS), o por una resistencia

sistémica adquirida (RSA), y c) efectos antagonistas directos sobre el patógeno, sea a través de competencia por sustratos, parasitismo, antibiosis o por la inactivación o bloqueo de factores virulentos producidos por el patógeno (64).

Una alta proporción de los ACBs comerciales están protegidos por patentes y en muchos casos no se conocen detalles de su formulación. De acuerdo con Montesinos (65), la mayor cantidad de patentes otorgadas para los ACBs, como puede observarse en las Gráfica 12, están dirigidas para el control de enfermedades por hongos.



Gráfica 12.
Información sobre patentes de ACBs. Reproducida de referencia (65) con atento permiso otorgado por International Microbiology.

Por otro lado, existe una mayor proporción de patentes de ACBs basados en bacterias (*Bacillus spp.* y *Pseudomonas spp.*); Montesinos (65) enfatiza la necesidad de desarrollar una metodología para el almacenamiento y preservación de los ACBs. Una de las alternativas recomendadas es la de encapsular la biomasa microbiana empleando un material orgánico capaz de formar una matriz protectora. Asimismo, recomienda poner atención en la adición de aditivos biocompatibles a la formulación final del ACB, entre ellos los humectantes y dispersantes, los agentes protectores de la UV solar y los nutrientes.

El alginato de sodio es un polímero usado comúnmente para encapsular biomasa microbiana y ha funcionado adecuadamente en pruebas con ACBs (66-69). La cápsula de alginato ha mostrado características que la hacen promisoría en su posible aplicación comercial: a) una solubilidad y una biodegradabilidad aceptables, b) una porosidad que permite el transporte de macromoléculas hacia el exterior, y c) un micro-ambiente relativamente inerte.

• Comentarios finales

Un desarrollo sostenible contempla la producción de alimentos (cereales, leguminosas, tubérculos, caña de azúcar, café, palma africana, hortalizas y frutas), y también plantas para uso industrial (hule) o para el comercio (ornamentales) empleando técnicas de agricultura orgánica. La utilización del *compost* es parte de ese concepto, y como se describió en este artículo, existen retos para poner en marcha investigaciones en este campo. Lamentablemente, en el país el empleo del *compost* en la agricultura ha sido esporádico y casuístico, y por lo tanto, no hay experiencia acumulada en el proceso de su producción. Es más, no existe, de acuerdo con nuestro conocimiento, una

industria que produzca y venda un producto de calidad constante; menos aún, un centro que certifique la calidad de este producto.

Algunos subproductos de la actividad agro-industrial generan posibles materias primas para convertirlas en *compost*. Por ejemplo, la cachaza de los ingenios azucareros, la pulpa de café de los beneficios, y sobre todo, el estiércol de animales (ganado, cerdos y aves).

Con respecto a la pulpa de café, se sabe que algunos beneficios han desarrollado la técnica del *vermi-compost*, y el producto resultante lo utilizan en sus propias plantaciones y viveros. También se sabe que el ICAITI (Instituto Centro Americano de Investigación y Tecnología Industrial) ensayó un sistema de aireación inducida, desarrollado por el USDA en Beltsville³, con pulpa de café tal cual y previamente prensada, y lo demostró a nivel de beneficio. En la literatura existe un reporte de un proceso acelerado para producir *compost* de pulpa de café realizado por investigadores mexicanos.

Con la cachaza, la situación es otra, ya que existen publicaciones de su conversión a *compost*, de la evaluación del producto resultante y de la confirmación de la propiedad adquirida de prevención de enfermedades.

La Universidad del Valle de Guatemala está en el proceso de instalar en su campus de Proesur, en Santa Lucía Cotzumalguapa, Departamento de Escuintla, una planta piloto de producción de *compost*. La investigación inicial está orientada a encontrar la proporción adecuada de varios subproductos, incluyendo la cachaza, la pulpa de café y la gallinaza, para lograr, en un tiempo mínimo, un producto de calidad; está última determinada por varios índices, tanto biológicos como químicos. Más adelante, la planta servirá de capacitación, de demostración y de producción a escala piloto, para fines específicos de personas interesadas.

³ Desarrollo principalmente dirigido a la producción de *compost* de lodos activados provenientes de plantas de tratamientos de aguas municipales e industriales



M.Sc. Carlos E. Rolz Asturias
 crolz@uvg.edu.gt
 Decano del Instituto de
 Investigaciones de la Universidad
 del Valle de Guatemala

Bibliografía

1. Benito, M. et al. *Blending green feedstocks at a Madrid composting facility* Biocycle 46 (4) : 72-74, 2005
2. Pedro, M.S. et al. *DGG electrophoresis analysis of microbial community from field scale composter* J. Bioscience Bioeng. 91 (2): 159-165, 2001
3. Chakroune, K. et al. *Incidence de l'aération sur le traitement par compostage des sous-produits du palmier dattier contaminés par Fusarium oxysporum f.sp. albedinis* Can. J. Microbiol. 51: 69-77, 2005
4. Saletes, S. et al. *Lignocellulose composting: case study on monitoring oil palm residuals* Compost Science & Utilization 12 (4): 372-382, 2004
5. Mari, I. et al. *Respiration profiles in monitoring the composting of by-products from the olive oil agro-industry* Bioresource Technology 87: 331-336, 2003
6. Kulcu, R. & Yaldiz, O. *Determination of aeration rate and kinetics of composting some agricultural wastes* Bioresource Technology 93: 49-57, 2004
7. Avnimelech, Y., et al. *Factors affecting the rate of windrow composting in field studies* Compost Science & Utilization 12 (2): 114-118, 2004
8. Peters, S. et al., *Succession of microbial communities during hot composting as detected by PCR-single-strand-conformation polymorphism-based genetic profiles of small-subunit rRNA genes* Appl. Environ. Microbiol. 66 (3): 930-936, 2000
9. Haruta, S. et al. *Microbial community changes during organic solid waste treatment analyzed by double gradient-denaturing gradient gel electrophoresis and fluorescence in situ hybridization* Appl. Microbiol. Biotechnol. 60: 224-231, 2002
10. Pedro, M.S. et al. *Isolation and characterization of predominant microorganisms during decomposition of waste materials in a field-scale composter* J. Bioscience Bioeng. 95 (4): 368-373, 2003
11. Velikonja-Bolta, S. et al. *Microbial community structure during composting with and without mass inocula* Compost Science & Utilization 13 (1): 6-15, 2003
12. Narihiro, T. et al. *Microbial population dynamics during fed-batch operation of commercially available garbage composters* Appl. Microbiol. Biotechnol. 65: 488-495, 2004
13. Hansgate, A.M. et al. *Molecular characterization of fungal community dynamics in the initial stages of composting* FEMS Microbiol. Ecol. 51: 209-214, 2005
14. Raviv, M., et al. *Organic matter and nitrogen conservation in manure compost for organic agriculture* Compost Science & Utilization 12 (1): 6-10, 2004
15. Thompson, A.G. et al. *Emissions of N₂O and CH₄ during the composting of swine manure* Environ. Monitoring & Assessment 91: 87-104, 2004

16. Michel, F.C. et al. *Mass and nutrient loss during the composting of dairy manure amended with sawdust or straw* Compost Science & Utilization 12 (4): 323-334, 2004
17. Jäckel, U. et al. *Thermophilic methane production and oxidation in compost* FEMS Microbiol. Ecol. 52: 175-184, 2005
18. Warman, P.R. *Evaluation of seed germination and growth tests for assessing compost maturity* Compost Science & Utilization 7 (3): 33-37, 1999
19. Emino, E.R. & Warman, P.R. *Biological assay for compost quality* Compost Science & Utilization 12 (4): 342-348, 2004
20. Wu, L. & Ma, L.Q. *Relationship between compost stability and extractable organic carbon* J. Environ. Qual. 31: 1323-1328, 2002
21. Domezel, M. et al. *UV spectroscopy: a tool for monitoring humification and for proposing an index of the maturity of compost* Bioresource Technology 94: 177-184, 2004
22. Castaldi, P. et al. *Study of the organic matter evolution during municipal solid waste composting aimed at identifying suitable parameters for the evaluation of compost maturity* Waste Management 25: 209-213, 2005
23. Tiquia, S.M. *Microbiological parameters as indicators of compost maturity* Journal of Appl. Microbiol. 99: 816-828, 2005
24. Brewer, L.J. & Sullivan, D.M. *Maturity and stability evaluation of composted yard trimmings* Compost Science & Utilization 11 (2): 96-112, 2003
25. Changa, C.M., et al. *Assessment of the reliability of a commercial maturity test kit for composted manures* Compost Science & Utilization 11 (2): 125-143, 2003
26. Carlsbaek, M. & Broegger, M. *New standardised product sheet for compost in Denmark, in ORBIT 99 Organic recovery and biological treatment: Proceedings international conference ORBIT 99 on biological treatment of waste and the environment* W. Bidlingmaier, et al. (eds) Rhombos-Verlag: Berlin. p. 445-451, 1999
27. Agnew, J.M. & Leonard, J.J. *Review The physical properties of compost* Compost Science & Utilization 11 (3): 238-264, 2003
28. Wilkinson, K. *Grappling with compost quality down under* Biocycle 43 (9): 43-60, 2002
29. Antler, S. & Burklis, D. *Compost quality standards and guidelines in Canada* Biocycle 46 (5): 36-38, 2005
30. Büyüksönnez, F. et al. *Review: occurrence, degradation and fate of pesticides during composting. Part I: composting, pesticides and pesticides degradation* Compost Science & Utilization 7 (4): 66-82, 1999
31. Büyüksönnez, F. et al. *Review: occurrence, degradation and fate of pesticides during composting. Part II: occurrence and fate of pesticides in compost and composting systems* Compost Science & Utilization 8 (1): 61-81, 2000
32. Garbarino, J.R. et al. *Environmental Fate of roxarsone in poultry litter. I. Degradation of roxarsone during composting* Environ. Sci. Technol. 37: 1509-1514, 2003
33. Amir, S. et al. *Sequential extraction of heavy metals during composting of sewage sludge* Chemosphere 59: 801-810, 2005

34. Weidemann, G.J. *Effects of nutritional amendments on conidial production of Fusarium solani f. sp. cucurbitae on sodium alginate granules and on control of Texas gourd* Plant Disease 72 (9): 757-759, 1988
35. Bhattacharyya, P.K. et al. *Microbial biomass and enzyme activities in submerged rice soil amended with municipal solid waste compost and decomposed cow manure* Chemosphere 60: 310-318, 2005
36. Mkhabela, M.S. & Warman, P.R. *The influence of municipal solid waste compost on yield, soil phosphorus availability and uptake by two vegetable crops grown in a Pugwash sandy loam soil in Nova Scotia* Agriculture, Ecosystems and Environment 106: 57-67, 2005
37. Noble, R. *Eradication of plant pathogens and nematodes during composting: a review* Plant Pathology 53 (5): 548, 2004
38. Suarez-Estrella, F. et al., *Temperature effect on Fusarium oxysporum f.sp. melonis survival during horticultural waste composting* J. Appl. Microbiol. 94 (3): 475-482, 2003
39. Hess, T.F. et al. *Heat inactivation of E. coli during manure composting* Compost Science & Utilization 12 (4): 314-322, 2004
40. Rivero, C. et al. *Influence of compost on soil organic matter quality under tropical conditions* Geoderma 123: 355-361, 2004
41. Termorshuizen, A.J. et al. *The value of compost* Reviews in Environmental Science & Bio/Technology 3: 343-347, 2004
42. Preusch, P.L. et al. *N and P uptake by strawberry plants grown with composted poultry litter* Scientia Horticulturae 102: 91-103, 2004
43. Wang, S.Y. & Lin, H.-S. *Compost as a soil supplement increases the level of antioxidant compounds and oxygen radical absorbance capacity in strawberries* J.Agr.Food Chem. 51 (23): 6844-6850, 2003
44. Mazzola, M. *Assessment and management of soil microbial community structure for disease suppression* Annu. Rev. Phytopathol. 42: 35-39, 2004
45. Garbeva, P. et al. *Microbial diversity in soil: Selection of microbial populations by plant and soil type and implications for disease suppressiveness* Annu. Rev. Phytopathol. 42: 243-270, 2004
46. Craft, C.M. & Nelason, E.B. *Microbial properties of composts that suppress damping-off and root rot of creeping bentgrass caused by Pythium graminicola* Appl. Environ. Microbiol. 62 (5): 1550-1557, 1996
47. Dijk, K.V. & Nelson, E.B. *Fatty acid competition as a mechanism by which Enterobacter cloacae suppresses Pythium ultimum sporangium germination and damping-off* Appl. Environ. Microbiol. 66 (12): 5340-5347, 2000
48. McKellar, M.E. & Nelson, E.B. *Compost-Induced suppression of Pythium Damping-Off is mediated by fatty-acid-metabolizing seed-colonizing microbial communities* Appl. Environ. Microbiol. 66 (1): 452-460, 2003
49. Abbasi, P.A. et al. *Precise detection and tracing of Trichoderma hamatum 382 in compost-amended potting mixes by using molecular markers* Appl. Environ. Microbiol. 65 (12): 5421-5426, 1999

50. Horst, L.E. et al. *Suppression of Botrytis blight of begonia by Trichoderma hamatum in peat and compost-amended potting mixes* Plant Disease 89 (11): 1195-1200, 2005
51. Aryantha, I.P. et al. *Suppression of Phytophthora cinnamomi in potting mixes amended with uncomposted and composted animal manures* Phytopathology 90 (7): 775-782, 2000
52. Fichtner, E.J. et al., *Abiotic and biological suppression of Phytophthora parasitica in a horticultural medium containing composted swine waste* Phytopathology 94 (7): 780-788, 2004
53. Scheuerell, S.J. et al. *Suppression of seedling damping-off caused by Pythium ultimum, P. irregulare, and Rhizoctonia solani in container media amended with a diverse range of Pacific Northwest compost sources* Phytopathology 95 (3): 306-315, 2005
54. Borrero, C., et al. *Predictive factors for the suppression of Fusarium wilt of tomato in plant growth media* Phytopathology 94 (10): 1094-1101, 2004
55. Raviv, M. et al. *High-nitrogen compost as a medium for organic container-grown crops* Bioresource Technology 96: 419-427, 2005
56. Millner, P.D. et al. *Suppression of strawberry root disease with animal manure composts* Compost Science & Utilization 12 (4): 298-307, 2004
57. Ros, M. et al. *Biopesticide effect of green compost against fusarium wilt on melon plants* J. Appl. Microbiol. 98: 845-854, 2005
58. Kannangara, T. et al. *Compost effect on greenhouse cucumbers and suppression of plant pathogen F. oxysporum* Compost Science & Utilization 12 (4): 308-313, 2004
59. Ceuster, T.J.J.D. & Hoitink, H.A.J. *Prospects for composts and biocontrol agents as substitutes for methyl bromide in biological control of plant diseases* Compost Science & Utilization 7 (3): 6-15, 1999
60. Trillas, M.I. *Using compost as a methyl bromide alternative* Biocycle 43 (9): 64-68, 2002
61. Scheuerell, S.J. & Mahafee, W.F. *Compost tea as a container medium drench for suppressing seedling damping-off caused by Phytium ultimum* Phytopathology 94: 1156-1163, 2004
62. Weller, D.M. *Biological control of soilborne plant pathogens in the rhizosphere with bacteria* Annu. Rev. Phytopathol. 26: 379-407, 1988
63. Emmert, E.A.B. & Handelsman, J. *Biocontrol of plant disease: a (gram-) positive perspective* FEMS Microbiol. Letters 171: 1-9, 1999
64. Haas, D. & Keel, C. *Regulation of antibiotic production in root-colonizing Pseudomonads spp and relevance for biological control of plant disease* Annu. Rev. Phytopathol. 41: 117-153, 2003
65. Montesinos, E. *Development, registration and commercialization of microbial pesticides for plant protection* Int. Microbiol. 6: 245-252, 2003
66. Fravel, D.R. et al. *Encapsulation of potential biocontrol agents in an alginate-clay matrix* Phytopathology 75: 774-777, 1985

67. Papavizas, G.C. et al. *Proliferation of Talaromyces flavus in soil and survival in alginate pellets* Phytopathology 77:131-136, 1988
68. Weidemann, G.J. *Effect of nutritional amendments on conidial production of Fusarium solani on sodium alginate granules and on control of Texas gourd* Plant Disease 72: 757-759, 1988
69. Russo, A. et al. *Pseudomonas fluorescens as a BCA model in cell immobilization technology* Biotechnol. Progress 21: 309-314, 2005
70. Sánchez, G. et al. *Accelerated coffee pulp composting* Biodegradation 10 (1): 35-41, 1999
71. Meunchang, S. et al. *Co-composting of filter cake and bagasse; byproducts from a sugar mill* Bioresource Technology 96 (4): 437-442, 2005
72. Meunchang, S. et al. *Tomato growth in soil amended with sugar mill by-products compost* Plant and Soil 280 (1 - 2): 171-176, 2006
73. Zayed, G. & Abdel-Motaal, H. *Bio-production of compost with low pH and high soluble phosphorus from sugar cane bagasse enriched with rock phosphate* World J. Microbiol. Biotechnol. 21: 747-752, 2005
74. Theodore, M. & Toribio, V. *Suppression of Phytium aphanidermatum in composts prepared from sugar cane factory residues* Plant and Soil, 177: 219-223, 1995