

# Utilización de la composta en procesos para la remoción de contaminantes

María Rosa Sauri Riancho<sup>1</sup> y Elba René Castillo Borges<sup>1</sup>

## RESUMEN

La materia orgánica representa un alto porcentaje de los residuos sólidos municipales en México. Ésta puede ser tratada por el proceso de composteo y reutilizarse como composta. La composta se emplea en la agricultura, como mejorador de suelos. Sin embargo, también puede usarse en la remoción de contaminantes. Entre los contaminantes que pueden ser biodegradados se encuentran algunos hidrocarburos y plaguicidas. La composta también puede aplicarse como medio para oxidar el metano que se produce en algunos sitios de disposición de residuos municipales, entre los que se encuentran los tiraderos a cielo abierto y los rellenos sanitarios.

En el presente trabajo se realiza una revisión bibliográfica de los usos no convencionales de la composta y se analiza la posibilidad de utilizar este material para evitar la emisión de metano en sitios de disposición final de residuos sólidos municipales. Se discute la conveniencia de utilizar esta metodología en nuestro país.

**Palabras clave:** composta, utilización de la composta, residuos sólidos, residuos peligrosos, bio-remediación, biofiltración.

---

## ANTECEDENTES

Los residuos sólidos municipales han sido reconocidos como uno de los principales contaminantes del ambiente. En México se calcula una generación anual nacional de 97'149,919 toneladas (SEDESOL, 2001), de las cuales el 27.6 % corresponden a residuos de alimentos y el 15.0 % a residuos de jardinería, por lo cual se puede aseverar que 41'385,865.5 ton/año (42.6 %) son materiales orgánicos. Casi todos estos desechos son dispuestos en el suelo, ya sea en rellenos sanitarios o en tiraderos a cielo abierto (Sancho y Rosiles, 1998), por lo que la fracción orgánica se convierte en un contaminante y el potencial de recuperación de ésta se desperdicia. El composteo, método que se define como la degradación de la fracción orgánica de los residuos sólidos por la acción de diversas poblaciones biológicas bajo condiciones controladas hasta un estado lo suficientemente estable que permite su almacenamiento y utilización sin efectos nocivos (Díaz *et al.*, 1993), se ha presentado como uno de los

procesos más apropiados para el tratamiento de los residuos sólidos, tanto municipales como los generados en algunas fuentes específicas. Sin embargo, aunque se han dado algunos esfuerzos en el país por implementar plantas de composteo, éstas han sido un fracaso económico y en la mayoría de los casos se han cerrado. Entre las múltiples razones que han originado que prácticamente se deseché el uso del composteo en México está la falta de mercado para su producto, la composta, cuyo uso se ha restringido a la agricultura, como mejorador de suelos.

En la actualidad el panorama ambiental es muy complejo. Se ha desarrollado una jerarquía para el manejo de residuos sólidos (Epstein, 1997; Wilson, 1999). En la parte superior de esta jerarquía se encuentra la reducción en la fuente, lo cual es lo más deseable. Seguidamente se encuentra el reciclaje, incluyendo el composteo. La parte final de esta jerarquía es la disposición final, por lo que la última tecnología aceptable es el relleno sanitario y se justifica para todos aquellos residuos que no pueden ser evitados, reciclados ni tratados.

---

<sup>1</sup> *Profesor Investigador del Cuerpo Académico de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería UADY.*

Por otra parte, existe una gran variedad de residuos de origen industrial que han contaminado el entorno y la contaminación química es motivo de gran preocupación. Estudios sobre la degradación de compuestos orgánicos han demostrado que algunos microorganismos son extremadamente versátiles en la catabolización de moléculas recalcitrantes, por lo que aprovechando este potencial es posible biorremediar algunos sistemas ambientales contaminados químicamente. Las matrices del composteo y las compostas son fuentes de microorganismos de degradación xenobiótica incluyendo bacterias, actinomicetos y hongos lignolíticos, los cuales pueden degradar contaminantes (Semple et al, 2001). El composteo y su producto, la composta pueden ser utilizados como medios para eliminar la contaminación química y no solamente para el reciclaje de la materia orgánica contenida en los residuos sólidos por medio de su aplicación como mejorador de suelos.

Entre los usos no convencionales de la composta se encuentra su utilización para la biorremediación de sitios con suelos muy perturbados o contaminados y como medio para la biofiltración.

### Uso de la composta para la biorremediación de sitios con suelos muy perturbados o contaminados.

Como consecuencia de las transformaciones del material y de las diversas sucesiones que se realizan durante el composteo, la composta tiene una alta diversidad microbiana (Beffa et al, 1996; Persson et al, 1995), con poblaciones microbianas mucho mayores que los suelos fértiles y que los suelos muy perturbados o contaminados. Por lo tanto, en la mayoría de los casos la adición de composta incrementa grandemente las poblaciones y la actividad microbiana. Una de las principales quejas sobre los métodos de biodegradación en fase sólida es que son muy lentos. El empleo del proceso de composteo o la adición de composta madura a las biopilas reduce el tiempo de limpieza de suelos contaminados. Se ha reportado un amplio rango de contaminantes ambientales comunes que se degradan rápidamente en la composta. Éstos se resumen en la Tabla 1. Sin embargo, el empleo del proceso de composteo o la adición de composta madura no ha sido exitosa para los bifenilos policlorados (PCB) debido a que su biodegradabilidad es muy pobre (EPA, 1998).

**Tabla 1. Contaminantes que se degradan en la composta o durante el proceso de composteo**

Clase de contaminante	Ejemplos
Hidrocarburos del petróleo (TPH)	Gasolina, combustible diesel, gasavión, aceite y grasa.
Hidrocarburos aromáticos polinucleares (PAH)	Preservadores de la madera, residuos de la gasificación de carbón, residuos de refinería
Plaguicidas	Insecticidas y herbicidas
Explosivos	TNT, RDX, nitrocelulosa

Fuente: Environmental Protection Agency. (1998). *An analysis of composting as an environmental remediation technology*. EPA530-R-98-008.USA. p. 15

Una de las ventajas del empleo del composteo o de la adición de composta para eliminar materiales contaminados es que se puede realizar en el campo usando diseños sencillos. Sin embargo, no existe una tecnología de remediación apropiada para todos los contaminantes y todas las situaciones. Como regla general, la EPA (1998) emplea las siguientes guías para recomendar el empleo del composteo o la adición de composta madura en la remediación:

- Contaminantes que se encuentran a menos de 6 metros de profundidad
- Contaminantes biodegradables y/o posibles de ser adsorbidos fuertemente por la composta

- Suelo tóxico a plantas y microorganismos

Por otra parte, antes de que el composteo o la adición de composta madura sean aceptados como tecnologías de remediación, deben resolverse muchas interrogantes. Primero, existe evidencia de que la velocidad de degradación de los contaminantes específicos está afectada por los materiales composteados. Adicionalmente, se obtiene una baja mineralización de los compuestos aromáticos en la composta y, en algunos casos, se forman metabolitos solubles en agua, por lo que existe la posibilidad de que se formen intermediarios potencialmente tóxicos (EPA, 1998). Otro aspecto crítico es determinar si el grado de degradación y la formación de metabolitos no extractables es un punto final satisfactorio de la remediación. Por otra parte, la formación de enlaces

entre los materiales húmicos y los metabolitos dan como resultado la estabilización a largo plazo del metabolito en una forma de baja biodisponibilidad (disponibilidad biológica). Si el metabolito se incorpora a la estructura principal del ácido húmico (Stevenson, 1994), el tiempo de residencia del metabolito derivado del carbono será de décadas o centurias. Otra interrogante que requiere resolverse es el hecho de que los resultados de los experimentos de remediación pueden variar dependiendo de la escala a la que se realicen. En muchos casos los resultados que se obtienen a escala de laboratorio no se transfieren adecuadamente en términos de velocidades de degradación a experimentos realizados a escala piloto o de campo. En muchos casos se obtienen mejores resultados en experimentos realizados a mayor escala que a pequeñas escalas debido a la dificultad de generar las condiciones auténticas de composteo en pequeños recipientes de laboratorio (EPA, 1998).

En conclusión, existen evidencias significativas de que el proceso de composteo y la adición de composta madura pueden emplearse de manera exitosa y económica para la limpieza de sitios contaminados con contaminantes químicos. Sin embargo, falta mayor experimentación para poder establecer su empleo masivo seguro en esquemas de biorrestauración.

#### Usos de la composta en la biofiltración.

La legislación ambiental en los Estados Unidos de América obliga al tratamiento de los efluentes de aire procedentes de plantas de tratamiento de aguas residuales industriales y otras, para prevenir la liberación de sustancias químicas tóxicas o peligrosas al ambiente. El carbón activado granular es el adsorbente más utilizado para este propósito. Sin embargo, es costoso y no muy efectivo para gases con alto contenido de humedad o para efluentes de desecho líquidos. Asimismo, el tiempo y los costos de mantenimiento de los filtros de carbón activado pueden ser muy altos. Adicionalmente, cuando los materiales tóxicos quedan atrapados en el carbón activado, este material debe ser dispuesto como un residuo peligroso, por lo que se han buscado alternativas menos costosas, entre las cuales se encuentra la biofiltración (EPA, 1998). La biofiltración se refiere al uso de un medio biológicamente activo para remover contaminantes de una corriente de residuos. La mayor parte de la literatura se refiere a la biofiltración como un proceso que utiliza un medio biológicamente activo para remover y degradar compuestos orgánicos volátiles que causan malos olores (Epstein, 1997). Un biofiltro está constituido por una matriz sólida, porosa, que

contiene microorganismos. Cuando el aire o el agua contaminada pasa a través del filtro, los contaminantes se transfieren desde el aire o agua a la fase acuosa del filtro o a la biomasa o materiales filtrantes (EPA, 1998).

La biofiltración se ha empleado con éxito para la remoción de contaminantes en residuos. Se ha utilizado una gran variedad de medios, como suelo, carbón mineral, ceniza volcánica, corteza de árbol molida o mezclas de éstos y otros materiales (Epstein, 1997). El uso de la composta como medio filtrante, particularmente en corrientes de aire, proporciona alta porosidad, gran capacidad de adsorción para compuestos orgánicos e inorgánicos, buena retención de humedad y la capacidad de mantener altas tasas de degradación (Deviny *et al.*, 1994).

La biofiltración involucra dos acciones principales (Epstein, 1997):

1. Adsorción física en las partículas de composta
2. Degradación microbiológica del compuesto.

La acción microbiológica puede incluir el metabolismo, utilización u oxidación de compuestos orgánicos. La composta contiene una población indógena de bacterias, hongos y actinomicetos. También ha demostrado excelentes características de adsorción con un área superficial bastante grande, alta capacidad de intercambio y nutrientes para la población microbiana, por lo que el ambiente de la composta en el biofiltro debe mantenerse para soportar y propiciar el crecimiento máximo de los microorganismos.

La Comunidad Europea ha sido muy activa en el desarrollo y uso de biofiltros durante los 70s y 80s. Se han utilizado biofiltros de composta a escala comercial en los últimos 20 años para tratar los gases exhaustos de las plantas de composta (Epstein, 1997; EPA, 1998). Los biofiltros de composta pueden ser utilizados exitosamente en la remoción de compuestos orgánicos volátiles (COVs) y su capacidad de remoción de concentraciones relativamente altas de estos tipos de contaminantes los hacen adecuados para aplicarse en una amplia gama de situaciones, desde plantas de tratamiento de aguas residuales hasta las plantas procesadoras de alimentos que generan efluentes con muchos olores (Lesson y Winer, 1991). Sin embargo, la literatura publicada sobre el tema es muy escasa, ya que los biofiltros se han desarrollado empíricamente y sólo en los últimos 5 años ha habido mucha investigación y

publicaciones al respecto (Epstein, 1997). Se espera que en los próximos años los resultados de esta experimentación se vean reflejados en mayores aplicaciones de los biofiltros de composta y en mejoras en los diseños actuales.

#### **uso de la composta en los sitios de disposición final de residuos sólidos municipales.**

Los rellenos sanitarios están considerados como una fuente importante global del gas invernadero metano. Se calcula que se emiten de 40 a 60 millones de toneladas de CH<sub>4</sub> al año en los sitios de disposición final de residuos sólidos (Hume y Lechner, 1999). La causa de estas emisiones son los inadecuados sistemas de colección de gases y las emisiones no controladas originadas en tiraderos antiguos y en tiraderos a cielo abierto no autorizados. Esta es la tercera fuente antropogénica de metano en el mundo, por lo que si se logra frenar las emisiones de metano procedentes de los sitios de disposición final de residuos sólidos municipales, esto sería una contribución significativa a la reducción del efecto invernadero ocasionado por fuentes antropogénicas (Humer y Lechner, 1999). La contribución de los rellenos sanitarios a la producción de metano también ha sido estudiada en sitios particulares para establecer su relación con las concentraciones de metano encontradas en el aire de algunas ciudades (Ito *et al.*, 2001). En México se estima que los rellenos sanitarios contribuyen con el 12.85% del total de las emisiones de metano del país y se han iniciado estudios con el objetivo de dimensionar el problema en México y proponer opciones de solución (Solórzano y Camacho, 2001).

Actualmente el empleo de suelo como material de cubierta para rellenos sanitarios y sistemas sépticos es ampliamente reconocido como medio de control de olores provenientes de estas fuentes. Una alternativa de bajo costo o una medida adicional a los sistemas de extracción de gases de los rellenos sanitarios es la oxidación microbiológica del metano en las capas de material de cubierta (Humer y Lechner, 1999). La oxidación biológica del metano realizada por medio de bacterias metanotróficas es un proceso importante en la mitigación de los flujos de CH<sub>4</sub> a la atmósfera. La utilización del metano a altas concentraciones (5-18% vol.) y diferentes contenidos de humedad fueron monitoreadas para muestras de suelos con altos contenidos de materia orgánica utilizados como material de cubierta de rellenos sanitarios (Börjesson *et al.*, 1998). La capacidad de oxidación de metano también ha sido estudiada en suelos utilizados como cubierta en rellenos sanitarios de zonas tropicales (Visvanathan *et al.*, 1999). Los

resultados indican la posibilidad de alcanzar el máximo de oxidación de metano en un clima tropical si se mantiene un adecuado contenido de humedad en la superficie.

La actividad biológica del suelo es considerablemente menor que la de otros sustratos, como la composta. Como resultado, los filtros de suelo operan a tasas relativamente bajas (Haug, 1995). Esta ha sido una de las principales razones que dieron lugar a la utilización de la composta como medio de biofiltración, lo que ha dado origen a una serie de estudios que presuponen su utilización exitosa en la eliminación de olores y de metano en los sitios de disposición final de residuos sólidos municipales. Los biofiltros de composta han sido utilizados con éxito para remover compuestos con altos niveles de olor y metano contenidos en el biogás generado en rellenos sanitarios (Gösch, 1995).

En años recientes se han realizado estudios a nivel laboratorio para establecer tasas de oxidación de metano eficientes en los materiales de cubierta de rellenos sanitarios. Humer y Lechner (1999) realizaron experimentos con el fin de encontrar sustratos adecuados para los microorganismos metanotróficos, así como proponer parámetros para lograr un diseño adecuado de la capa de cubierta y, de esa forma, optimizar las tasas de oxidación de metano en la cubierta de los rellenos sanitarios. Entre los sustratos probados se encuentran compostas provenientes de residuos sólidos municipales, y de lodos de drenajes, así como diferentes suelos. Sus resultados muestran que se puede aplicar la oxidación microbiana del metano para el control de las emisiones gaseosas de sitios contaminados, así como para los rellenos sanitarios. Sin embargo, cuando se utiliza composta como sustrato en el proceso de oxidación del metano, la composta debe ser un sustrato maduro con bajas concentraciones de amoníaco y libre de nitritos. La composta también debe tener estabilidad estructural a largo plazo y una porosidad adecuada aún con un alto contenido de agua, para garantizar una permeabilidad satisfactoria del oxígeno y el metano (Humer y Lechner, 1999).

En experimentos posteriores realizados en el campo (Humer y Lechner, 2001), se comprobó que la composta madura provee condiciones adecuadas para la oxidación del metano y en combinación con vegetación con alta capacidad de transpiración también contribuye a la reducción de lixiviados, por lo que el uso de las compostas como material de cubierta en los rellenos sanitarios se presenta como una sugerencia adecuada en términos ecológicos y económicos.

Aunque todavía faltan muchos aspectos por definir, la composta madura proveniente de distintos tipos de residuos sólidos puede ser una alternativa adecuada para realizar el control de emisiones de metano en tiraderos a cielo abierto y en los mismos rellenos sanitarios de los países en vías de desarrollo, en los que se presentan problemas técnicos y económicos para implementar sistemas adecuados de colección de gases. México no es la excepción; existe la necesidad de realizar el control de las emisiones en tiraderos a cielo abierto, en la clausura de los mismos y en rellenos sanitarios en los que no es factible aprovechar el biogás por distintas razones.

El composteo es pues una de las formas de reciclaje por excelencia, ya que convierte un material orgánico que ha sido desechado en un producto de mucho valor (Epstein, 1997). Las 41'385,865.5 ton/año de residuos orgánicos que se generan al año en el país pueden ser aprovechadas exitosamente en vez de convertirse en un contaminante del ambiente y una fuente de metano.

### CONCLUSIONES

- El alto contenido de materia orgánica de los residuos sólidos municipales que se generan en la República Mexicana representa una oportunidad de obtener un producto útil, la composta, el cual puede tener otros usos valiosos además de su aplicación agrícola y en el control de algunas enfermedades de las plantas.
- Se han desarrollado esquemas apropiados para realizar la biorrestauración de suelos contaminados con hidrocarburos del petróleo,

hidrocarburos aromáticos polinucleares, plaguicidas y explosivos, mediante la utilización de la composta. Existen evidencias significativas de que la adición de composta madura puede emplearse de manera exitosa y económica para la limpieza de sitios contaminados con estos productos químicos, aunque falta mayor experimentación para poder establecer su empleo masivo seguro, así como su aplicación con otros contaminantes orgánicos.

- Los biofiltros de composta pueden ser utilizados exitosamente en la remoción de compuestos orgánicos volátiles y, su capacidad de remoción de concentraciones relativamente altas de estos tipos de contaminantes los hacen adecuados para aplicarse en una amplia gama de situaciones, desde plantas de tratamiento de aguas residuales, hasta plantas procesadoras de alimentos.
- La composta madura proveniente de distintos tipos de residuos sólidos puede ser una alternativa adecuada para realizar el control de emisiones de metano en tiraderos a cielo abierto y en los mismos rellenos sanitarios de los países en vías de desarrollo. Utilizar composta madura para realizar la cubierta final de estos sitios, empleando la vegetación adecuada, puede ser también un método económico para realizar el control de lixiviados. Esto es de particular importancia para nuestro país, en el que existe la necesidad de realizar el control de las emisiones en tiraderos a cielo abierto, en la clausura de los mismos y en rellenos sanitarios en los que no es factible aprovechar el biogás por distintas razones..

### BIBLIOGRAFÍA

- Beffa T., M. Blanc, L. Marilley, J.L. Fischer, P.F., Lyon and M. Aragno. (1996). *Taxonomic and metabolic microbial diversity during composting*. In: *The Science of Composting*. De Bertoldy M., Bert P. and Tiziano P. London: Blackie Academic and Professional. pp. 149-161. U.K.
- Börjesson G., Sundh I., Tunlid A., Frostegard A., Svensson B.H. (1998). *Microbial oxidation of CH<sub>4</sub> at high partial pressures in an organic landfill cover soil under different moisture regimes*. FEMS Microbiology Ecology. Vol. 26. pp. 207-217.
- Devinny J.S., Medina V.F. and Hodge D.S. (1994). *Biofiltration for treatment of gasoline vapors*. In Hydrocarbons Bioremediation. R.E. Hinchee, B.C. Alleman, R.E. Hoepfel and R.N. Miller. pp. 12-19. Lewis Publishers. USA.
- Díaz L.F., Savage G.M., Eggerth L.L. and Golueke C.G. (1993). *Composting and recycling municipal solid waste*. Lewis Publishers. USA.

- EPA, Environmental Protection Agency. (1998). *An analysis of composting as an environmental remediation technology*. EPA530-R-98-008.USA.
- Epstein E. (1997). *The science of composting*.TECNOMIC publication. USA.
- Haung R.T. (1995). *The Practical Handbook of Compost Engineering*. Lewis Publishers. USA.
- Humer M., Lechner P. (1999). *Compost as a landfill cover material for the elimination of methane emissions*. Proceedings ORBIT 99. pp. 503-510. Germany.
- Humer M., Lechner P. (2001). *Compost covers as a measure for minimisation of methane emissions and leachate from landfills*. Proceedings ORBIT 2001. pp. 187-192. Sevilla, Spain.
- Ito A., Takahashi I., Nagata Y., Chiba K., Haraguchi H. (2001). *Spatial and temporal characteristics of urban atmospheric methane in Nagoya City, Japan: an assessment of the contribution from regional landfills*. Atmospheric Environment. No. 35. pp. 3137-3144.
- Lesson G. and Winer A.M. (1991). *Biofiltration: An innovative air pollution control technology for VOC emissions*. Journal of the Air and Waste Management Association. 41. pp. 1045-1054.
- Persson A., Quendnau M. and Ahrne S. (1995). *Composting oily sludges: Characterizing Microflora using Randomly Amplified polymorphic DNA*. In: *Monitoring and verification of bioremediation*. Hinchee R.E., Douglas G.S. and Ong S.K. Columbus, OH: Battelle Press. pp. 147-155.
- Sancho y C.J. y Rosiles C.G. (1998). *Situación actual del manejo integral de los residuos sólidos en México*. Federalismo y Desarrollo. Num. 62, pp. 3-16. México, D.F.
- SEDESOL, Secretaría de Desarrollo Social. (2001). *Manual para determinar la factibilidad de reducción y reuso de residuos sólidos municipales*. Manuales Técnicos para el Manejo de la Basura. Publicación electrónica. México, D.F.
- Semple K.T., Reid B.J. and Fermor T.R. (2001). *Impact of composting strategies on the treatment of soils contaminated with organic pollutants*. Environmental Pollution. Elsevier. No. 112. pp. 269-283.
- Solórzano O.G. y Camacho R.I. (2001). *Aportación de gases de invernadero en el manejo de residuos sólidos en México*. Memorias EXPO AMCRESPAC 2001, México Limpio: Tarea de Todos. Memorias Electrónicas. Querétaro, Qro.
- Stevenson, F.J. (1994). *Humus Chemistry*. New York, NY: John Wiley & Sons.USA. In: Environmental Protection Agency. (1998). *An analysis of composting as an environmental remediation technology*. EPA530-R-98-008.USA.
- Visvanathan C., Pokhrel D., Cheimchaisri W., Hettiaratchi J.P.A. and Wu J.S. (1999). *Methanotrophic activities in tropical landfill cover soils: effects of temperature, moisture content and methane concentration*. Waste Management & Research. Vol. 17. Num. 4. pp. 313-323.
- Wilson D.C. (1999). *Directions in waste management. Past, present and future*. International Directory of Solid Waste Management 1999/2000. The ISWA Year book. James & James Science Publishers. Hong Kong. pp. 31-36.