LOS RESIDUOS VALEN SI SON BIEN APROVECHADOS

HÉCTOR LUNA[1,2], VANESA CHICATTO[1], DALIA CASTILLO1, WENDY LÓPEZ[1], MYRNA SOLÍS[1], ERIK OCARANZA[1]

[1] Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada del Instituto Politécnico Nacional. CIBA-IPN Tlaxcala, Ex-Hacienda San Juan Molino Carretera Estatal Tecuexcomac-Tepetitla Km 1.5, Tlaxcala C.P. 90700, México. Tels.: 01-248-48707-65 y 66 Conmutador IPN: 5729 6000, Ext. 87814.

[2] Centro de Investigación en Cambio Climático de la Universidad Autónoma de Tlaxcala

Resumen

En el tren de vida de la sociedad actual se lleva implícita la generación de residuos, tanto orgánicos como inorgánicos, además un porcentaje elevado de dichos materiales no se dispone adecuadamente y son arrojados al medio ambiente contaminándolo. Si bien una fracción de los residuos principalmente inorgánicos son reciclados, los del tipo orgánico también pueden ser aprovechados. En este trabajo se presentan dos casos de utilización de residuos, la elaboración de compostas con lodos de plantas de tratamiento de agua y su aplicación en el cultivo de maíz y frijol para incrementar la producción de ambos granos. Y la co-digestión de residuos de jitomate para producir biogás, donde la adición de 20% de estiércol de vaca permitió obtener biogás con 37% de metano.

Palabras clave: residuos, composta, digestión anaeróbica, biogás

Abstract

Now a day in the way of live it is involved the residues generation, organic and inorganic, the high percentaje of such materials that are non properly disposed, are throw in the ambient producing contamination. Part of the residues (inorganic) are recycled, the organic type could be used too. We present two cases of residues use, for the compost made with sludge from wastewaters treatment plants and it use on maize and beans crop, to improve the production; and the co-digestion of tomate residues to produce biogas, where the addition of 20% cow manure get a biogas wit 37% methane.

Key words: residues, compost, anaerobic digestion, biogas

1. Introducción

1.1 Generación y problemática actual ocasionada por los residuos

Debido a las diferentes actividades productivas que desarrollan las sociedades, generan cantidades cada vez mayores de residuos sólidos, líquidos y gaseosos. Es bien sabido que todas las actividades humanas crean efectos adversos sobre el medio ambiente, porque en el proceso de producción y reproducción de sus condiciones de vida el hombre explora, transforma, almacena, distribuye, intercambia y consume bienes y servicios. Adicionalmente el incremento de la población y la cultura consumista que se ha dado en los últimos años, principalmente hacia el uso de producto desechable, conlleva a la generación de altas cantidades de residuos, que en muchas ocasiones son arrojados en el medio contaminándolo. Por este mal manejo se contaminan las aguas, el aire y afecta la salud pública. Además su disposición en los rellenos sanitarios trae consigo gastos y la imperiosa necesidad de buscar más sitios para ubicar la creciente cantidad de residuos.

Cuando los residuos son dispuestos en tiraderos no controlados, a cielo abierto o vertidos en cuerpos de agua superficiales, causan impactos negativos en el ambiente, el agua subterránea de los acuíferos puede contaminarse por la infiltración de los lixiviados (Semarnat-INE, 2001 y 2004). Los residuos también afectan la calidad del aire, ya que están asociados frecuentemente a la generación de malos olores, así como a la producción de humos, gases y partículas en suspensión, por la quema intencional o espontánea de éstos. Por otro lado, la proliferación de vectores capaces de transmitir enfermedades tales como la

presencia de ratas, cucarachas e insectos asociados a los tiraderos, puede provocar la transmisión de enfermedades como el cólera, disentería, leptospirosis y amebiasis, entre otras (Semarnat-INE, 2001).

Dentro de la problemática urbana, el enorme volumen de residuos que se acumula en las ciudades es uno de los problemas más importantes, ya que según las estadísticas, la producción per cápita a nivel mundial fluctúa entre 0.9 y 1.8 kg por día. Por ejemplo, se estima que en Canadá son 1.8; Estados Unidos, 1.5; Suiza, 1.2; Japón, 1.0 y México, 0.9 Kg/per capita (SEMARNAT, 2011). Este incremento se ha dado porque a pesar de que la sociedad tiene conocimiento de los problemas ambientales que trae consigo los residuos, y de que materiales como el plástico tardan varias décadas en degradarse, si es que lo hacen, hoy en día el consumo de plástico y materiales que se destinan a embalaje está a la alza. En México el volumen de materiales destinados a envases y embalajes ha presentado un aumento del 2005 al 2011 del 10.3% en papel, cartón 9%, en metal 8.4% y en vidrio solo un 0.6%. En 2011 la producción en México de materiales para este fin fue en millones de toneladas de plástico 2.64, de vidrio 3.4, papel y cartón 2.43, de metal 0.6 y de madera 0.93 (Conde, 2012).Con el amplio uso de empaques se consumen materias primas y energía que podrían destinarse a otro fin más redituable, además de que el uso de embalajes incrementa los costos y por ende el precio final de los productos, mismo que debe absorber el consumidor. Una manera de reducir estos problemas es el reciclado y reúso de los materiales.

En México el 49% de los residuos corresponde a los inorgánicos, como son el papel y cartón (15%), vidrio (6%), plástico (6%), textil (2%), metal (3%) y otros tipos de residuos (17%) (SEMARNAT, 2005), éstos son reciclables de primera instancias; sin embargo el porcentaje de reciclado de los mismos es mínimo. En el país se recicla apenas 3.3% del volumen de los residuos generados; destacando el papel y cartón, vidrio, plástico, metal y textiles (SEMARNAT, 2007). Aunque mucha de la basura que se puede reciclar se recupera directamente en los contenedores y en los vehículos de recolección, esta cifra podría llegar al 12% (Sedesol, 2005).

El restante 51 % de los residuos generados son de naturaleza orgánica, como son los residuos de alimentos, de jardines,

agrícolas y pecuarios, entre otros, mismos que a la fecha están muy poco aprovechados. En la mayoría de los países de América Latina y del Caribe la cantidad de materia orgánica presente en los residuos sólidos urbanos supera el 50% del total generado, de los cuales aproximadamente el 2% recibe tratamiento adecuado para su aprovechamiento, el resto es confinado en rellenos sanitarios (Jaramillo y Zapata, 2008), siendo que sus componentes pueden ser aprovechados de diferentes maneras.

En el Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada hemos llevado a cabo diversos proyectos encaminados al aprovechamiento de residuos agroindustriales, en el presente documento se describen dos de ellos:

2. Discusión de casos:

2.1 Caso1. Elaboración de composta con lodos de plantas de tratamiento de agua

El compostaje es un proceso biológico mediante el cual es posible convertir residuos orgánicos en composta, gracias a la acción de diversos microorganismos aeróbicos. Las aplicaciones más comunes del compostaje incluyen el tratamiento de residuos agropecuarios, residuos de jardinería , de cocina, residuos sólidos municipales y lodos (Semple et. al., 2001). El Compostaje se lleva a cabo mezclando la materia orgánica y dando condiciones de humedad y aireación para que los microorganismos la desintegren formando un material estable e higiénico (Bernal-Calderón y Gondar-Bouzada, 2007). Se ha reportado que las compostas son mejoradores del suelo, ya que regeneran la fertilidad, la capacidad de almacenamiento de agua, la mineralización del nitrógeno, fosforo y potasio; mantienen el pH óptimo para la agricultura, evitan cambios extremos de la temperatura, incrementan la actividad microbiana, controlan la erosión (Rodríguez et al., 2006) y aumentan la productividad agrícola (Widman *et al.,* 2005).

Por otro lado, los lodos procedentes de las plantas tratadoras de aguas residuales municipales causan un impacto ecológico negativo, debido a que contienen microorganismos patógenos y pueden presentar metales pesados, por tanto su acumulación y su nula aplicación directa se ha convertido en un grave problema (Jiménez *et al.*, 2004). El manejo y disposición de este residuo se vuelve más complejo debido a la gran cantidad que se genera, tan sólo en México se estima que la producción de lodos asciende a más de 12 millones de toneladas por año (Colín *et al.,* 1994); éstos se han considerado en muchas ocasiones como material no reciclable de primera instancia, y por tanto no son reintegrados al ciclo natural. Además, los lodos no son valorizados a pesar de su alto contenido de materia orgánica e inorgánica y la presencia de microorganismos que desempeñan un papel importante en la mineralización de compuestos orgánicos (Aravena *et al.,* 2007). Estas características los hacen un material susceptible de aprovecharse, siempre y cuando no representen un riesgo para la salud y cumplan con los límites máximos permisibles de contaminantes (NOM-004-SEMARNAT-2002).

Este proyecto estuvo encaminado a reciclar biosólidos (lodos) de dos plantas de tratamiento de agua residual a través del proceso de compostaje, y posteriormente evaluar su efecto en campo sobre el desarrollo y rendimiento de los cultivos de maíz (*Zea mays* L.) y frijol (*Phaseolus vulgaris* L.).

Tabla 1. Componentes utilizados para preparar las compostas

Residuo	Compostas				
	1	2	3	4	5
Lodos de planta de tratamiento 1	30% 0		45% 0		45%
Lodos de planta de tratamiento 2	30%	35%	25% 0		45%
Residuos de empacadora de chile	30%	55%	25%	75% 0	
Rastrojo de maíz	10%	10% 5	%	25%	10%
Relación C/N	21/1	18/1	37/1	21/1	19/1

Se evaluaron cinco compostas preparadas con lodos de dos plantas de tratamiento de aguas residuales, residuos orgánicos de una empacadora de chiles y rastrojo de maíz. Las compostas 1, 2 y 3 se elaboraron con todos los componentes indicados pero en diferentes proporciones, la composta 4 no tuvo lodos y la composta 5 no tuvo residuos de chile. La composición de residuos con que se prepararon las compostas se muestra en la tabla 1.

Las compostas se aplicaron en el municipio de Altzayanca, Tlaxcala para la siembra de maíz y frijol. Como control se usó una parcela donde no se adicionó composta ni fertilizante. Se encontró que en el cultivo de maíz las plantas donde se aplicaron las compostas crecieron más que las del control (figura 1).

La producción de grano también fue mayor usando las compostas, como se observa en la figura 2; destaca la composta 4 donde se obtuvo la mayor producción de maíz. Esta composta se elaboró únicamente con los residuos de la empacadora de chile y rastrojo, lo cual indica que los residuos alimenticios son muy buenos candidatos para elaborar composta y aplicar en lugar de fertilizantes. Si bien en la región de Altzayanca se reportan producciones de 2.5 ton/ha (COPLADET, 2010), en este caso la producción fue menor debido a que se hizo solo una aplicación de composta. Para que el rendimiento incremente

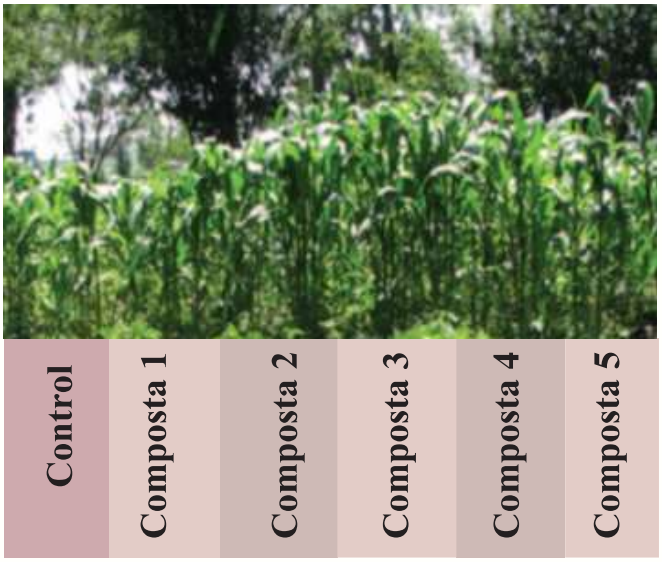

Figura1. Fotografía de plantas de maíz donde se aplicaron los diferentes tratamientos

es importante continuar aplicando composta año con año, ya que con cada aplicación las condiciones y fertilidad del suelo incrementan.

En el cultivo de frijol la composta 5, que fue elaborada únicamente con los lodos y rastrojo que se adicionó para dar textura y permitir la aireación, fue con la que se obtuvo la mayor producción (figura 2), con las compostas 1, 2, 4 y 5 se obtuvo más frijol que con el control.

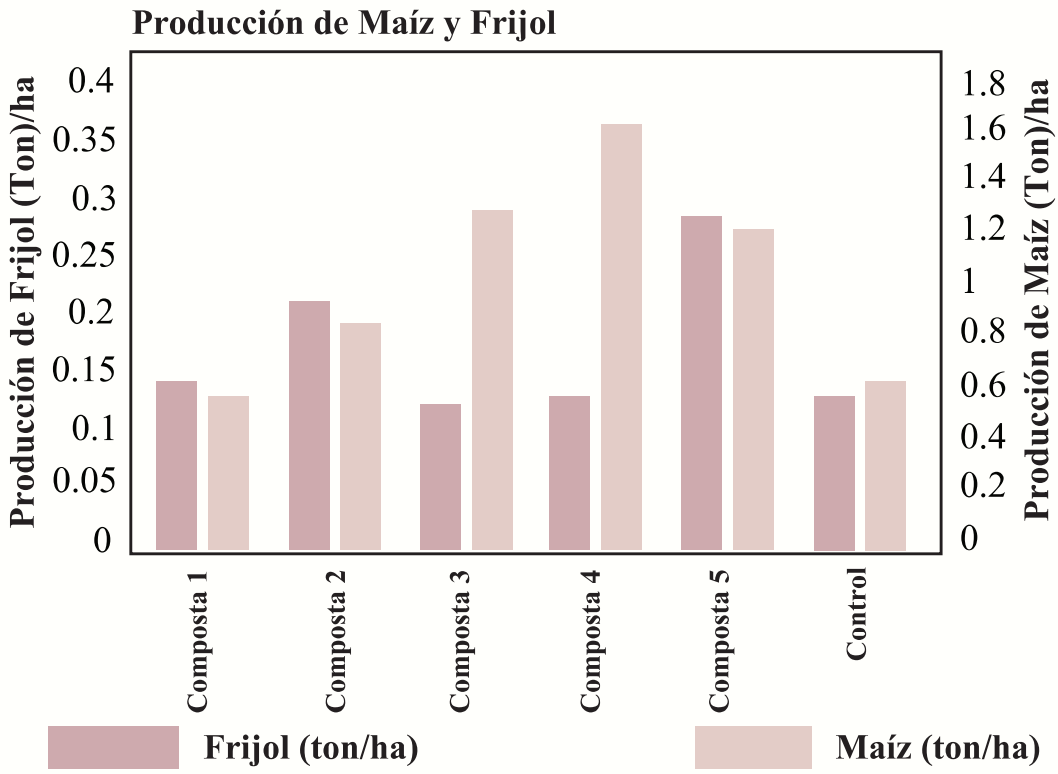

Figura 2. Producción de maíz y de frijol obtenida con la aplicación de las compostas

Los lodos provenientes de plantas de tratamiento de agua, pueden someterse a compostaje junto con otros residuos orgánicos para obtener un material rico en nutrimentos que puede ayudar a resolver la problemática de la alta erosión que hay en buena parte de los suelos de México, además llevando a gran escala ésta propuesta se traerían otros beneficios: reducir la contaminación por la mala disposición de los lodos y residuos, reducción en el envío de estos materiales a los rellenos sanitarios , incrementando la vida útil de éstos.

Caso 2. Aprovechamiento de residuos de cultivo de jitomate como fuente de energía alternativa

La búsqueda de fuentes de energía renovables, es una constante en la actualidad, esto debido al agotamiento de los recursos como el petróleo y el gas natural. Por ello proyectos enfocados hacia el aprovechamiento de residuos y su posterior transformación en una fuente de energía como en este caso el gas metano, son de vital importancia. La utilización de los residuos agrícolas para la producción de biogás y fertilizante orgánico es un nuevo campo para la aplicación de métodos biotecnológicos que permitan lograr un alto rendimiento en la producción.

La digestión anaerobia es un proceso microbiano donde una comunidad de bacterias fermentativas y acetogénicas junto con arqueas metanogénicas convierten la materia orgánica en dióxido de carbono y metano, formando lo que se conoce como biogás (Krakat, *et al.,* 2010). El biogás se compone principalmente de metano y dióxido de carbono, pero

también contiene varias impurezas. El biogás con un contenido de metano superior al 45% es inflamable, por lo que se considera como una energía limpia y renovable, que promete ser una buena sustitución de los combustibles fósiles (Krause, 2008). En la digestión anaerobia se produce además del biogás, un residuo digerido el cuál es una mezcla de partículas degradas de materia orgánica, biomasa microbiana y componentes inorgánicos.

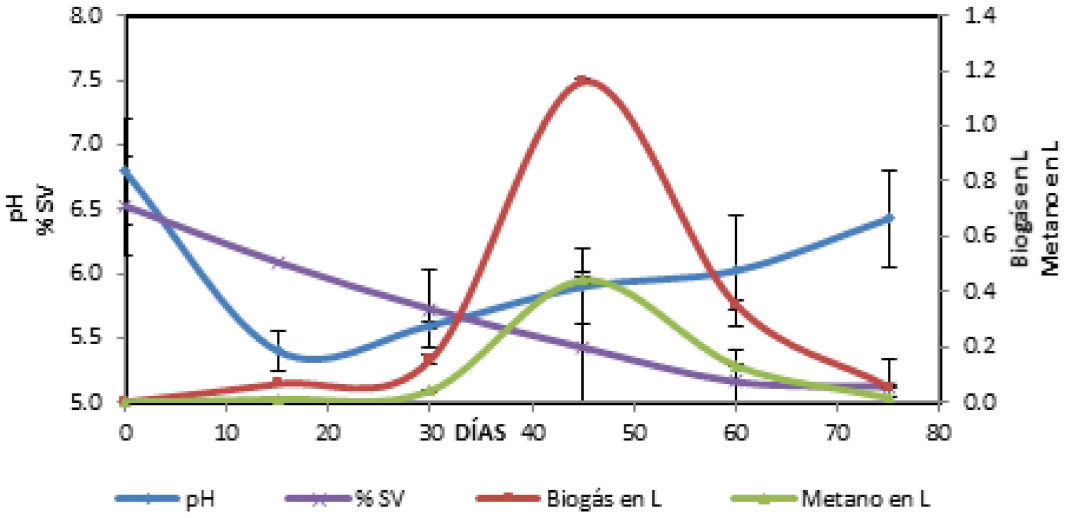

Figura 3. Variación en pH, % sólidos, producción de biogás y metano

La digestión anaeróbica se lleva a cabo por un consorcio de microorganismos y se afecta por varios factores como pH, temperatura, tiempo de retención hidráulico, relación C/N, entre otros (Rasy *et al.*, 2007). Según la temperatura el proceso se clasifica en psicrofílicos, mesofílicos y termofílicos (Al-Seadi *et al.,* 2008). El intervalo de pH óptimo para los microorganismos formadores de metano es alrededor de 6.7-7.5. Si el valor del pH llegará a ser menor a 6.5 se vería afectado el proceso de fermentación e incluso interrumpirse. La relación C/N se recomienda de 20/1 a 30/1 (Deublein y Steinhauser, 2008).

Durante la producción agrícola se generan residuos, como son tallos, hojas, raíces y frutos que no son cosechados, los cuales usualmente son almacenados a cielo abierto sin ningún aprovechamiento; en otros casos, se trozan y esparcen en los campos, pero a estas condiciones la descomposición es muy lenta y en muy baja cantidad estos residuos se utilizan para elaborar composta. En esta investigación se evaluó el uso de los residuos de jitomate para producir biogás mediante la co-digestión de los mismos con estiércol de vaca, con la finalidad de abatir los costos por la adquisición de gas L.P. para el calentamiento de los invernaderos.

Los residuos del cultivo de jitomate se trozaron en pedazos de 1.0-1.5 cm, se mezclaron con 20% de estiércol de vaca en base seca y se adicionó agua hasta alcanzar un contenido de sólidos totales del 10%. La mezcla de residuos se colocó en digestores de plástico y se burbujeó nitrógeno para eliminar el oxígeno, se mantuvieron a una temperatura constante de 30°C durante 70 días. Al inicio, durante y al final del proceso de digestión se midió el pH, sólidos volátiles, la producción de biogás y de metano, como se muestra en la figura 3.

Se observó un descenso de pH por la formación de ácidos; la reducción de sólidos volátiles es un indicador de que efectivamente

se llevó a cabo la descomposición de la materia orgánica. En total se obtuvo un contenido de metano del 37%, si bien no es superior al 45% requerido para que el biogás sea combustible, se puede pasar por filtros de hidróxido de potasio, ya que este compuesto absorbe rápidamente el dióxido de carbono, con lo cual se enriquecerá el contenido de metano en el biogás y puede entonces ser usado como combustible.

Los residuos agrícolas en co-digestión con estiércoles pueden ser empleados para producir biogás, una fuente de energía renovable, con ello se abaratarían los costos de producción de jitomate por no requerir ya la adquisición de gas L.P. para calentar los invernaderos y se incrementaría la producción, ya que los jitomates requieren temperaturas templadas para su buen desarrollo.

Conclusiones

Una de las graves problemáticas que afectan a la sociedad es la generación de residuos y las afectaciones que se producen por su inadecuada disposición, en estos dos casos se ejemplificó cómo, bajo procesos de descomposición microbiana, es posible aprovechar los componentes de los residuos para obtener productos de interés, como es el caso de la composta o la obtención de biogás. Si estas dos tecnologías se aplicaran a gran escala, se resolvería gran parte de la mencionada problemática con beneficios adicionales, como son contar con un material que ayude a mejorar los suelos, reducir la adquisición de fertilizantes con la consecuente disminución ambiental que su uso inadecuado ocasiona y tener fuentes de energía alternativa. Los residuos bien aprovechados valen mucho.

Bibliografía

Al Seadi T., Rutz D., Prassl H., Köttner M., Finsterwalder T., Volk S., Janssen R. (2008); "Biogas Handbook."; ISBN 978-87-992962-0-0; Published by University of Southern Denmark Esbjerg, Niels Bohrs Vej 9-10, DK-6700 Esbjerg, Denmark, http://www.sdu.dk.

Aravena R.C, Valentin C.C, Diez J.M.C, Mora G.M.L., Gallardo A.F. (2007). Aplicación de lodos de planta de tratamiento de celulosa: efecto en algunas propiedades físicas y químicas de suelos volcánicos. J Soil Sc Nutr 7: 1-14.

Bernal-Calderón M.P, Gondar Bouzada D.M (2007). Producción y gestión de los residuos orgánicos: situación actual a nivel mundial, comunitario y estatal. En: Moreno Casco J, Moral Herrero R (Eds.). Compostaje. Mundi-Prensa, Madrid. pp. 9-43.

Colín A. (1994). Estudio integral de lodos residuales. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, Estado de México. 12-45pp.

Conde Ortiz M. P. Presente Futuro de la Industria del Plástico en México. Centro Empresarial del Plástico, 2012.

COPLADET (2010). Dirección de informática y estadística. Unidad de Estadística, Tlaxcala, México.

Deubleien, D., Steinhauser A. (2008). Biogas from waste and renewable resources Wiley-VCH , Second Edition, Germany, pp. 448.

Jaramillo H. G., Zapata M. L. Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia. 2008. Presentada en La Universidad de Antioquia para la obtención del título de Especialista en Gestión ambiental.

Jiménez B., Méndez J.M., Barrios J.A., Salgado G. y Sheinbaum C. (2004) Characterization and evaluation of potential reuse options for wastewater sludge and combined sewer system sediments in mexico. Water Sci Technol. 4(1),171-178.

Krakat N., Schmidt S., Scherer P. 2010. Mesophilic Fermentation of Renewable Biomass: Does Hydraulic Retention Time Regulate Methanogen Diversity. Appl Environ Microbiol. 76(18): 6322-6326.

Krause L., Díaz N., Edwars R.,Gatermann K-H., Krömeke H., Neuweger H., Pühler A., Runte K., Schüter A., Stoye J., Szczepanowski R., Tauch A., Goesmann A., (2008) Taxonomic composition anf gene content of a methane-producing microbial community isolated from a biogas reactor. Journal of Biotechnology 136, pp. 91-101.

Rasy S., Veijanen A., Rintala J. (2007) Trace compounds of biogas from different biogas production plants. Energy 32, pp. 1375–1380.

Rodríguez S.M.A, Córdova y Vázquez A. (2006). Manual de Compostaje Municipal: tratamiento de residuos sólidos urbanos. SEMARNAT-INE-GTZ, 1ra Ed., México, pp. 101.

SEDESOL, 2005. Residuos Peligrosos en el Mundo y en México. Capítulo 7, 344 -365.

SEMARNAT (2002). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales - NOM-004-SEMARNAT-2002, Protección ambiental - Lodos y Biosólidos. Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.

SEMARNAT, 2002. Informe de la situación del medio ambiente en México, 3 Suelos. Dirección General de Estadística e Información Ambiental. Compendio de Estadísticas Ambientales.

SEMARNAT, 2005. Cruzada Nacional por un México Limpio, Subdelegación de Planeación y Fomento Sectorial. En: http://www.semarnat.gob.mx/slp/mexicolimpio/mexicolimpio.shtml

SEMARNAT. Indicadores básicos del desempeño ambiental de México: 2005. México. 2005.

SEMARNAT. Informe Anual Profepa 2007. México. 2008.

SEMARNAT. Informe Anual Profepa 2010. México. 2011.

SEMARNAT-INE. Minimización y Manejo Ambiental de los Residuos Sólidos en México. México. 2001.

SEMARNAT-INE. Contaminación por pilas y baterías en México. México. 2004.

Semple K.T., Reid B.J., Fermor T.R. (2001). Impact of composting strategies on the treatment of soils contaminated with org anic pollutants. Environ. Pollution, 112: 269 - 283.

Widman F.B., Herrera R.F., Cabañas V.D. (2005). El uso de compostas provenientes de residuos sólidos municipales como mejorador de suelos para cultivos de Yucatán. Rev Ing Acad 9: 31-38.