

Revalorización de Residuos Sólidos Orgánicos y Biosólidos mediante Composteo

María Hernández, Beatriz Juárez, Isaías de la Rosa y María Carreño

M. Hernández, B. Juárez, I. de la Rosa y M. Carreño
Instituto Tecnológico de Toluca, Av. Tecnológico S/N, Ex Rancho La Virgen, Metepec, Estado de México, México,
CP. 52140 Apartado postal 890, Teléfono: 01 (722)2087224
hberriel_1999@yahoo.com

M. Ramos., V.Aguilera., (eds.) .Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Handbook -©ECORFAN- Valle de Santiago,
Guanajuato, 2014.

Abstract

In recent decades, industrial development and the growth and concentration of population have resulted in an increase in the generation of municipal solid waste (MSW) and wastewater. The first contains organic solid waste (RSO) mainly from markets and households, to be biodegraded anaerobically to produce biogas; while the second to be processed in the treatment plants wastewater generate biosolids. To revalue such waste, the aim of this work was to determine the appropriate combination of biosolids and RSO to produce merchantable quality compost in less than three months. For this three static piles of 250 kg were prepared using 30% clay and the following proportions of RSO and biosolid respectively 60 and 10% (P9), 50 and 20% (P10) and 40 and 30% (P11). Although the three composts are cataloged as excellent in heavy metal, they reached temperatures that eliminated pathogens and comply with the NTEA-SMA-006-RS-2006, the P10 is recommended for stabilization time. The compost obtained in a shorter time than 30 days with C / N ratios between 4 and 8, is a test of the viability to revalue the RSO and biosolids.

11 Introducción

La generación de residuos sólidos urbanos (RSU) se intensificó a nivel mundial con la industrialización a partir de la segunda mitad del siglo pasado, incrementando la demanda de materias primas para satisfacer el creciente consumo de bienes y servicios de una población cada vez más numerosa. De acuerdo con la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) en el 2012 México generó 42 millones de toneladas, lo que equivale a 115, 068 mil toneladas de RSU diarias y a 1.4 kg/día per cápita, de las cuales el 16.14 % correspondieron al Estado de México, depositándose el 68.29% en sitios controlados y el resto en sitios no controlados. La fracción orgánica de los RSU, conocida como residuos sólidos orgánicos (RSO) representa sobre el 50 % y proviene principalmente de los mercados y las casas habitación. Debido a la biodegradación anaeróbica de los RSO, en los rellenos sanitarios (RESA) y tiraderos a cielo abierto se genera biogás, cuyos principales componentes son el metano y el dióxido de carbono, ambos gases de efecto invernadero (SEMARNAT, 2012; Tavares *et al.*, 2010).

Por otro lado, con el desarrollo industrial también las concentraciones de población han aumentado en las últimas décadas, requiriendo más agua potable y produciendo mayores volúmenes de agua residual, los cuales al ser procesados en las plantas de tratamiento de agua residual (PTAR), generan como remanentes biosólidos o lodos. Los biosólidos están compuestos por materia orgánica no descompuesta, microorganismos y compuestos potencialmente tóxicos. En México hasta el año 2011 se tenía un registro de 2,289 PTAR en operación, con las que se dio tratamiento al 46.5% de aguas residuales municipales, generándose el 75% de los biosólidos por el proceso de lodos, a los cuales no se les dio un tratamiento posterior. En el Estado de México se cuenta con 139 plantas que rinden un caudal tratado de 6,493.9 L/s (Campos *et al.*, 2009; CONAGUA, 2013; SEMARNAT, 2010; Tchnobanoglou *et al.*, 1998).

Entre los métodos de tratamiento para estos residuos orgánicos se tienen los biológicos, que pueden ser aeróbicos y anaeróbicos.

El compostaje es uno de los tratamientos aeróbicos, que imita el proceso de reincorporación a la naturaleza de componentes fundamentales (C, N, Na, K, P, etc.) en un corto o mediano plazo, generándose un producto que cumple los requisitos de reducción de patógenos, por lo que es conveniente para su distribución y comercialización (Boulteret *et al.*, 2000; Craig *et al.*, 2000).

Para el composteo generalmente se utilizan las pilas con aireación mecánica periódica y la estática, que requieren de más de dos meses para la estabilización de biosólidos de PTAR domésticas (Kiely, 1999; Ortiz et al., 2011; Tchbanoglou et al., 1998).

Lo anterior pone de manifiesto que es necesario contar con métodos para tratar y/o revalorizar los residuos orgánicos tanto de los RSU como de las PTAR, para reducir con ello el impacto negativo al ambiente, de manera que no se afecten los ecosistemas y la salud humana, por lo que el objetivo de este trabajo fue revalorizar dichos residuos, determinando la combinación apropiada de biosólido y RSO, para obtener composta de calidad comercializable en menos de tres meses.

11.1 Método

El estudio fue realizado en la Planta piloto de compostaje (PPC) y en el Laboratorio de Investigación en Ingeniería Ambiental (LIIA) del Instituto Tecnológico de Toluca. La PPC cuenta con áreas para caracterización y acondicionamiento de materiales, así como para compostaje. El LIIA está equipado en sus laboratorios para realizar determinaciones fisicoquímicas y microbiológicas. La fase experimental se dividió en diferentes etapas las cuales se detallan a continuación:

Preparación de RSO y biosólidos

Los RSO fueron recolectados directamente con los locatarios del Mercado municipal “Lic. Benito Juárez García” de Toluca, Edo. de México. Su preparación consistió en los siguientes pasos:

- a) Selección. Los RSO recolectados contenían pequeñas cantidades de material inorgánico, por lo que fueron seleccionados y separados residuos como bolsas de polietileno, cajas de cartón, lazos de polietileno y ligas, entre otros.
- b) Triturado. Se empleó para esta operación un molino de martillos.
- c) Secado. Se colocaron los RSO en un recipiente cilíndrico de plástico con perforaciones en sus paredes, y mediante compresión se eliminó parte de su humedad, posteriormente fueron colocados en cribas y se secaron térmicamente por radiación solar, con aireación manual con una frecuencia de 4 veces durante 24 horas.
- d) Caracterización. Los parámetros empleados para su caracterización se presentan en el apartado 2.3

Los biosólidos se colectaron de la PTAR de agua de origen municipal “Toluca Norte” de Toluca, Edo. de México, a cargo de la Compañía Operadora de Ecosistema S.A DE C.V. (ECOSYS). Los pasos para su preparación fueron:

- a) Secado. Se colocaron sobre plástico de película de polietileno negro y se deshidrataron térmicamente por radiación solar y con aireación manual, con una frecuencia de cada 24 horas.
- b) Triturado y cribado. Se utilizó un molino de martillos con el propósito de reducir el tamaño de partícula y simultáneamente se cribó con una malla de 2 mm de diámetro integrada al molino.
- c) Caracterización. Los parámetros empleados para su caracterización se presentan en el apartado 2.3

Proceso de compostaje

Este proceso trabajó con una relación C/N entre 4 y 8, además de los biosólidos y RSO preparados se utilizó como sustrato arcilla roja de las minas de Calimaya, Edo. de México, cribada con malla 2.0. El proceso fue el siguiente:

a) Preparación de montículos. Se decidió estudiar la elaboración de composta con las proporciones mostradas en la Tabla 1. De cada componente se pesaron las cantidades respectivas para pilas de 250 kg y conforme a las recomendaciones de la bibliografía se construyeron pilas de 1.5m de largo, 1.0m de ancho y 0.5m de alto (Iñiguez, 2011; Tchobanoglous et al., 1998).

Tabla 11 Proporciones de pruebas para degradación aeróbica

DENOMINACION DE LA PILA	RSO (%)	BIOSÓLIDO (%)	ARCILLA (%)
P9	60	10	30
P10	50	20	30
P11	40	30	30

b) Aireación y humidificación. Estas actividades se realizaron manualmente, la aireación paleando el montículo cada 48 horas y la humidificación se llevó a cabo por aspersión de agua. Antes de adicionar agua se probó con la palma de la mano una porción del montículo apretándola con el puño, si el material se desmoronaba estaba muy seco y por el contrario si se escurría estaba muy húmedo, si se sentía húmedo y mantenía su forma al soltarlo se estimó que estaba bien; este proceso se repitió para tres muestras de los diferentes lados.

c) Control y seguimiento del proceso. Con el fin de monitorear y controlar el proceso se realizó la medición diaria de las variables: temperatura, pH y humedad. La temperatura se midió in situ en nueve puntos equidistantes (estratos superior, medio y bajo), utilizando un termómetro de mercurio con escala de 100°C y, se consideraron las medias aritméticas de los valores registrados para graficar los perfiles de temperatura. Para las determinaciones de humedad y pH, a todas las pilas se les tomaron muestras compuestas de acuerdo a las NOM-004-SEMARNAT-2002 y la NTEA-006-SMA-RS-2006 (SEMARNAT, 2002; SMA, 2006). A los resultados de estos parámetros se les analizó estadísticamente mediante pruebas de ANOVA y Tukey HDS.

Análisis de calidad

Para conocer las características de los biosólidos preparados se tomó una muestra compuesta con base a la norma oficial mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002 (SEMARNAT, 2002), realizándose el análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos mostrados en la Tabla 2.

A los RSO preparados también se les determinaron los parámetros de dicha tabla.

El proceso de compostaje se dio por terminado cuando las temperaturas de las pilas llegaron a ser menores a 25°C de forma constante y el valor del pH se encontró entre valores de 7 y 8. La calidad de la composta se determinó analíticamente conforme a la normatividad mexicana (ver Tabla 2).

Tabla 11.1 Variables de repuesta en el proceso

VARIABLE	UNIDAD	MÉTODO DE MEDICIÓN	NORM ATIVIDAD
FISICOQUÍMICOS			
Humedad	%	Termogravimétrico (Analizador electrónico)	Método Termogravimétrico
pH	-log[H ⁺]	En solución acuosa	NMX-FF-109-SCF-2008
MO, COT	%	Método Walkley y Black modificado (1947)	NMX-AA-021-SEMARNAT-2000
NTK	%	Digestión-destilación de Kjeldhal.	NMX-FF-109-SCFI-2008
Relación C/N		Cálculos	NMX-AA-067-1985
P, K y Na	%	Espectrofotometría y absorción atómica	NTEA-006-SMA-RS-2006.
Pb, Cd y Cr	mg/kg	Absorción atómica	
MICROBIOLÓGICOS			
Coliformes Fecales	UFC/gr	Filtración por membrana.	NOM-004-SEMARNAT-2002. NTEA-006-SMA-RS-2006.
Huevos de helminto	HH/gr*	Bailenger modificado	

*Huevos de Helminto viables por gramo en base seca

Fuente: SCFI, 2008; SEMARNAT, 2000; SEMARNAT, 2002, SMA, 2006

11.2 Resultados y discusión

Se dio seguimiento a los cambios que sufrieron los materiales en las pilas compostadas; se observó su apariencia: color, olor, tamaño y textura; se monitorearon las variables de control de proceso y finalmente mediante la realización de los análisis de calidad se observó la estabilidad del producto final, así como la concordancia y el cumplimiento con la normatividad mexicana vigente.

Preparación de RSO y biosólidos

Del total de RSO recolectados en el Mercado municipal “Lic. Benito Juárez García”, entre el 10-12 % en peso se separaron cartón, periódico, bolsas de polietileno, cajas de madera, corcholatas de plástico y metal, lazos de polietileno, PET, ligas y unigel, entre otros.

Los RSO triturados presentaron una textura gruesa y fibrosa, con un contenido de 80±5% de humedad base húmeda (Hbh).

Los biosólidos secos mostraron una apariencia de amorfa con 25 %Hbh, obteniendo después del triturado y cribado gránulos y polvo. Las caracterizaciones analíticas de ambos residuos se presentan en la Tabla 3.

A los RSO solo se les realizaron los análisis fisicoquímicos, debido a que son los factores que más influyen en el proceso de compostaje y no se contemplaron los análisis de metales pesados, ya que se consideró que las concentraciones serían mínimas, dado su origen municipal y su obtención directa del generador (ver Tabla 3).

Tabla 11.2 Condiciones iniciales de RSO y biosólido

PARÁMETRO	MO (%)	COT (%)	N (%)	C/N	K / Na	HUMEDAD (%Hbh)	pH	MICROBIOLOGÍA	
								CF (UFC/ml)	HH (NHH/g)
RSO	15	8.7	0.5	17.4	NR	40±5	6.5	NR	NR
BIOSÓLIDO	18.3	10.1	4.6	2.1	5.0	25±5	8.0	390 000	2

NR, No realizado

Con base a los resultados microbiológicos y de acuerdo con la NOM-004-SEMARNAT-2002, los biosólidos se encuentran catalogados como clase C (no apto para usos urbanos con y sin contacto público directo).

En la Tabla 4 se muestran los resultados del análisis de metales pesados, donde al comparar con la NOM-004-SEMARNAT-2002 se encontró que el biosólido preparado puede ser catalogado como un lodo excelente (SEMARNAT, 2002).

Tabla 11.3 Concentración inicial de metales pesados en biosólidos

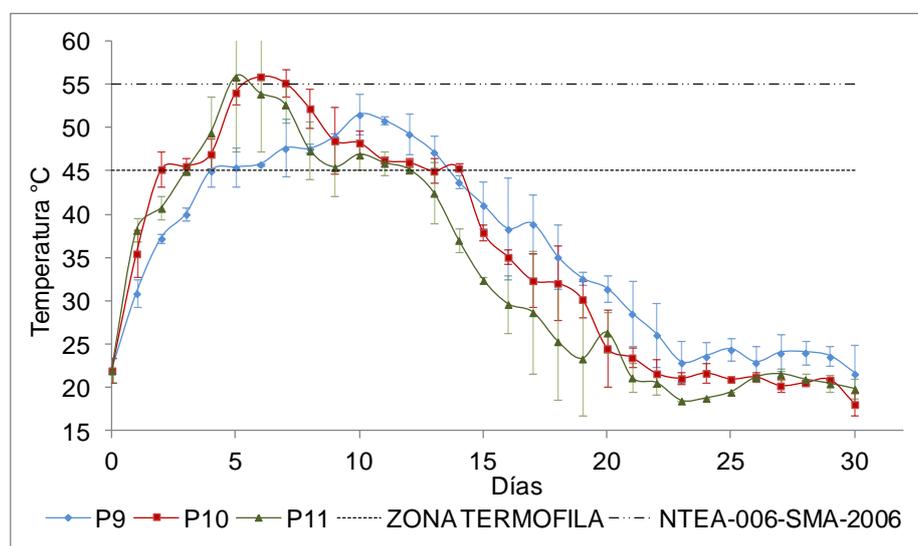
PARÁMETRO	RESULTADO mg/kg	LIMITE MÁXIMOS PERMISIBLES NOM-004-SEMARNAT-2002	
		EXCELENTE	BUENO
Cadmio	< 0.05	39	85
Cromo	104.72	1 200	3 000
Plomo	63.76	300	840
Mercurio	0.06	17	57

Fuente: SEMARNAT, 2002

Proceso de compostaje

Los perfiles de temperatura de las pilas se muestran en la Figura 1. Como puede apreciarse en la P9 el valor máximo de 51.6 y 50.90°C se determinó los días 10 y 11, en la P10 fue de 56 y 55.2°C los días 6 y 7 y, en la P11 fueron 55.9 y 54°C los días 5 y 6.

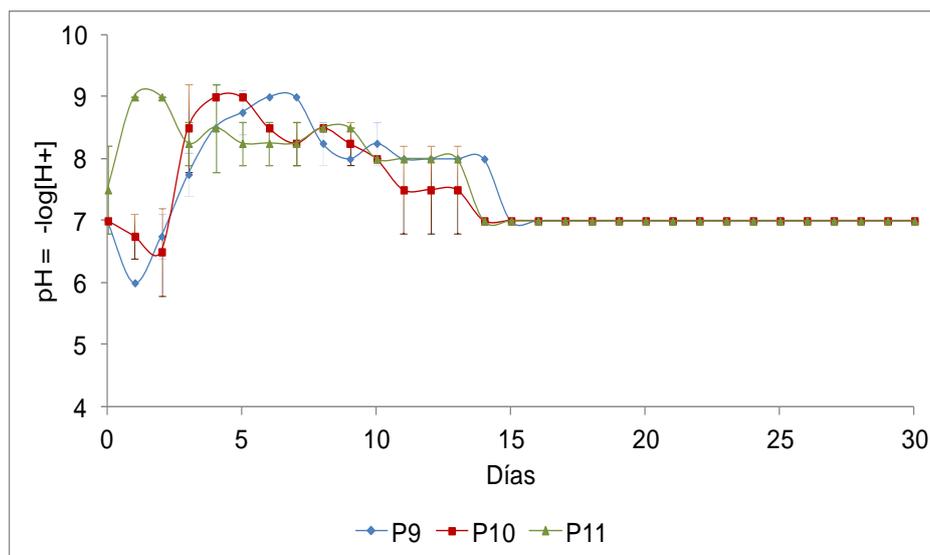
Figura 11 Perfiles de temperatura de pilas P9, P10 y P11



Las temperaturas termófilas se mantuvieron para la P9 entre los días 5-14, para la P10 los días 3-15 y para P11 durante los días 4-12, con valores medios de 47.95, 48.85 y 48.79°C respectivamente (ver Figura 1). En comparación con la NTEA-006-SMA-RS-2006, la P10 fue la que mejor se apegó a dichos parámetros por 12 días consecutivos, con temperaturas mayores a 45°C (SCFI, 2008; SEMARNAT, 2002, SMA, 2006).

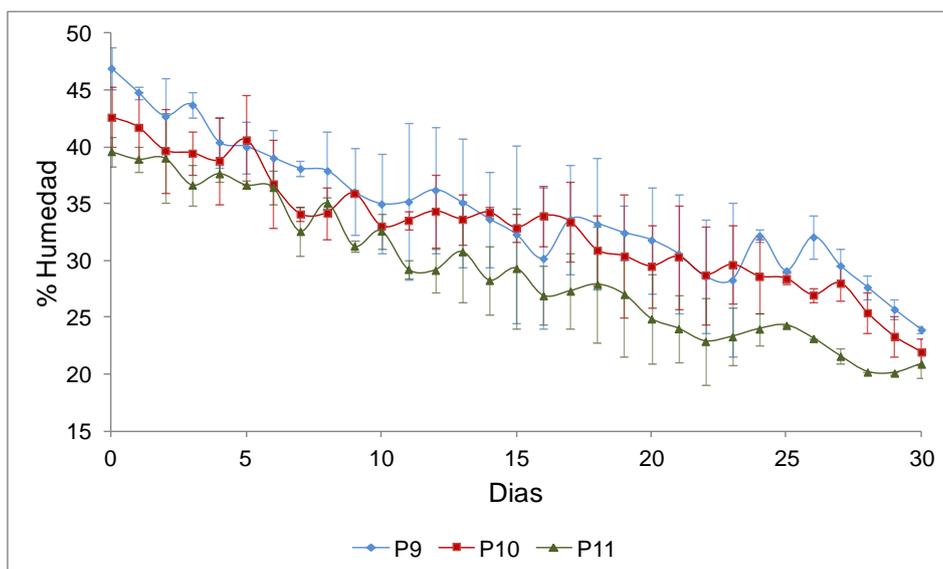
En cuanto al pH los perfiles de cada pila se muestran en la Figura 2. Al día cero se registraron valores de 7.0 para las P9 y P10 y de 7.5 para la P11, los cuales descendieron el día 1 a valores de 6.0 y 6.8 para las P9 y P10 respectivamente. La P11 no registró valores ácidos como la P9 y P10, elevándose rápidamente a valores de 9.0, lo que puede explicarse por su mayor proporción de biosólidos, dado que al aumentar la actividad microbiana en la degradación de las proteínas se forma el sistema amonio (NH_4^+)-amoníaco (NH_3), incrementando el pH a valores cercanos a 9.24 (Castrillonet *al.*, 2006). Las tres pilas se estabilizaron con valores de pH iguales a 7.

Figura 11.1 Perfiles de pH en pilas P9, P10 y P11



El monitoreo de la humedad permitió saber si había que reducir ó aumentar la cantidad de agua en cada aireación, para así propiciar la degradación biológica. En la Figura 3 se muestran los perfiles de humedad, donde pueden observarse al inicio valores de 40-47 %Hbh, dado que se utilizaron de materiales que en su composición estructural tienen un alto contenido en agua, sin embargo son porcentajes adecuados para el desarrollo microbiológico. Lo anterior se menciona debido a que el grado idóneo de humedad para la degradación aerobia es variable y depende de las características del material a compostar, en la bibliografía se reportan valores diferentes en este sentido, algunos autores sugieren valores de 40-60% Hbh y otros entre 15-35%Hbh, pero todos coinciden que no debe ser menor a 10%Hbh, debido a que se reduciría la actividad biológica y el tiempo de compostaje aumentaría (Carielloet *al.*, 2007; Tavares & Alvarado, 2011). Los valores de humedad fueron variables en cada pila por tratarse de un parámetro lento de ajustar.

En cuanto a este parámetro la normatividad no se tiene referencia para el proceso, solo para el producto como lo contempla la NMX-FF-109-SCFI-2008, que considera un valor entre 20 a 40%Hbh, sin embargo, en la misma norma se expone que existen excepciones como en el caso de los materiales de origen vegetal, que tienen una capacidad higroscópica mayor a otros materiales, por lo que para este caso se acepta una humedad hasta del 60% (SCFI, 2008).

Figura 11.2 Perfiles de humedad en pilas P9, P10 y P11

También, es importante relacionar la humedad con la etapa en la que se encuentra la pila de compostaje, dado que en la etapa termófila se requerirá el mayor % de humedad por la alta actividad de los microorganismos y se reducirá en la etapa de enfriamiento, ya que también disminuyen las poblaciones microbianas y la cantidad de MO disponible. En la etapa termófila (ver Figura 1) los perfiles de humedad en las P9 y P10 no tuvieron diferencias significativas, reportando porcentajes de humedad medias respectivamente de 37.29 y 36.02% Hbh (ver Figura 3).

La P11 tuvo un valor medio de 33.73% Hbh, menor en comparación con las otras pruebas debido a la mayor proporción de biosólidos, lo cual da una capacidad higroscópica mayor, aumentando su requerimiento de agua (Hooget *al.*, 2002; Rezacovaet *al.*, 2006; SMA, 2006). Las tres pilas finalizaron con contenidos de humedad de 22 a 24% Hbh.

Análisis de calidad

De acuerdo a la temperatura, los procesos de compostaje de las pilas P9, P10 y P11 se dieron por concluidos los días 22, 21 y 21 respectivamente y, en cuanto a pH los días 15, 11 y 14 también respectivamente. Como se muestra en la Tabla 5, en las compostas producidas el aporte de N fue directamente proporcional al aporte de biosólido y que al verse disminuida la cantidad de RSO la relación C/N también tuvo el mismo efecto; mientras que el aporte de nutrientes como P y K no se vieron afectados por las diferentes proporciones.

El COT es un parámetro importante para calcular la relación C/N; en esta investigación se obtuvieron valores de COT de 4.5% a 6.0%, los cuales son menores que los reportados por Torres et al. (2007) de 9.8% utilizando biosólidos con cachaza. En cuanto a N, los valores obtenidos fueron menores a los recomendados por la NMX-FF-109-SCFI-2008 (SCFI, 2008), lo cual puede atribuirse al bajo aporte de los RSO de elementos nitrogenados (ver Tabla 3).

El parámetro más importante durante el proceso de maduración es la relación C/N, que engloba la cantidad de material carbonáceo y de N asimilable, indispensables debió a que forma parte de dos de los nutrientes que definirán su uso como abono (O'Brien et al., 2005 ; Torres et al., 2007).

Los microorganismos consumen las moléculas orgánicas (C) para obtener energía, mientras que el N se emplea para crecimiento microbiano siendo fundamental en la síntesis de aminoácidos, ácidos nucleicos, enzimas y proteínas (Coyne, 2000; Deacon et al., 2006).

Los valores de relación C/N obtenidos en las diferentes pruebas y que se muestran en la Tabla 5 se encuentran dentro de la relación buscada en la presente investigación y con excepción del contenido de N, las tres pilas cumplen con los requisitos para la producción de mejoradores de suelo a partir de residuos orgánicos (ver Tabla 5), incluyendo los metales pesados Pb, Cr, Cd y Hg, pues tuvieron valores menores a los límites máximos permisibles; así como Coliformes fecales y Huevos de Helmintho, debido a que presentaron respectivamente 0 UFC/gr base seca y <1 HH/gr, y la NTEA-006-SMA-RS-2006 establece ≤ 1000 UFC/gr y < 10 HH/gr (SCFI, 2008; SEMARNAT, 2000; SEMARNAT, 2002, SMA, 2006). Con base a estos resultados y a los perfiles de temperatura se recomienda utilizar las proporciones iniciales de biosólidos y RSO de la P10.

Tabla 11.4 Análisis de calidad de P9, P10 y P11

NORMA / ESPECIFICACIÓN	NMX-AA-021-1985		NMX-FF-109- SCFI-2007	NTEA-006- SMA-RS-2006	NMX-AA- 094-1985	NTEA-006-SMA- RS-2006	
	> 15 %	No Aplica	1-4 %	< 12 %	> 0.1 %	> 2.5	6.5-8.5
PARÁMETRO / PILA	MO (%)	COT (%)	N (%)	C/N	P (%)	K/Na	pH
P9	10.8	6.0	0.72	8.01	0.10	4.7	7.0
P10	8.0	4.5	0.79	5.43	0.15	6.0	7.0
P11	8.3	4.6	0.90	4.92	0.20	5.5	7.0

11.3 Conclusiones

Se logró constatar que tanto los RSO como los biosólidos continen los nutrientes indispensables (C, N, P y K) para el desarrollo microbiano; finalizando el proceso de compostaje en un tiempo menor a 30 días con relaciones C/N entre 4 y 8, lo cual permiten su uso agrícola como abono orgánico. En las tres pilas se alcanzaron temperaturas que permitieron eliminar las colonias de microorganismos patógenos del grupo coliformes fecales y de parásitos (Huevos de helminto viables), por lo que el producto se encuentra catalogado como clase A con base a la NOM-004-SMA-2002 y da cumplimiento a la NTEA-006-SMA-RS-2006.

En cuanto a la presencia de metales pesados, las compostas producidas se encuentran catalogadas como excelentes, de acuerdo a la NOM-004-SEMARNAT-2002 y a la NTEA-006-SMA-RS-2006. El proceso de composteo obtuvo una reducción en peso de los biosólidos y RSO en aproximadamente un 70% con respecto al peso inicial, lo que permitirá utilizar un área menor para el almacenamiento del producto, así como la valoración de los residuos, por lo que la investigación mostró la viabilidad de esta alternativa de tratamiento.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo brindado por la Dirección General de Educación Superior Tecnológica a través del proyecto: "Compostear biosólidos y residuos orgánicos utilizando arcilla como sustrato de inóculo, obteniendo una composta con una calidad que permita utilizarla como abono orgánico con una relación carbono/nitrógeno C/N entre 4 y 8" con clave 4427.11-P.

Referencias

- Boulter J.I., Boland G.J. & Trevors J.T. (2000). Compost: A study of the development process and end-product potential for suppression of turfgrass disease. Review. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 16, 115-134.
- Campos M., E., García R., N., Velásquez R., A. & García F., M. (2009). Análisis básico del reúso de lodos residuales de una planta de tratamiento de aguas residuales en suelos de pradera del Parque Nacional Nevado de Toluca. *Quivera*, 11:2. México. ISSN 1405-8626. pp. 35-51.
- Cariello M., E., Castañeda, L., Riobo, I. & González, J. (2007). Inoculado de microorganismos endógenos para acelerar el proceso compostaje de residuos sólidos urbanos. R.C. *Suelo Nutriente Vegetal*, 7(3), 26-37.
- Castrillón Q., O., Bedoya M., O. & Montaya M., D. (2006). Efectos del pH sobre el crecimiento de microorganismos durante la etapa de maduración en pilas estáticas de compost. *Producción + Limpia Vol 1 (2)*. 87-98.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). (2013). Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación [En línea: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGAPDSINVENTARIO%202011%20FINAL.pdf>] [Consulta: Noviembre 2012].
- Coyne, M. (2000). *Microbiología del suelo: un enfoque exploratorio*. Ed. Paraninfo. ISBN 84-283-2648-7.
- Craig G., C., Kurtz, K. & Brown, S. (2000). Washington State Department of Ecology Solid Waste & Financial Assistance Program. *Biosolids Management Guidelines for Washington State Publication 93 -80*.
- Deacon, L.J., Pryce-Miller, E.J., Frankland, J.C., Bainbridge, B.W., Moore, P.D. & Robinson, C.H. (2006). Diversity and function of decomposer fungi from a grassland soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 38, 7–20.
- Hoog D., Barth J., Centemero M., Caimi V., Amlinger F., Deuliegher W., Brinton W. & Antler S. (2002). Comparison of compost standards within the EU, North America and Australasia. Banburg, Oxon. p41 (MainReportSection 3).
- Íñiguez C., G. (2011). *El ABC del compostaje*. 1ra Ed. Universidad de Guadalajara. ISBN: 978-607-450-384-5, 93.
- Kiely, G. (1999). *Tratamientos de Residuos Sólidos*. En: *Ingeniería Ambiental*. Ed. A. García. Mc Graw Hill interamericana de España, S.A.U. España, 843-931.
- O'Brien, H.E., Parrent, J.L., Jackson, J.A., Moncalvo, J.M. & Vilgalys, R. (2005). Fungal community analysis by large-scale sequencing of environmental samples. *Applied and Environmental Microbiology*, 71, 5544–5550.
- Ortiz, Ma. L., Gutiérrez-Ruiz, M. E. & Sánchez S., E. (2011). Propuesta de manejo de los lodos residuales de la planta de tratamiento de la Cd industrial del Valle de Cuernavaca, Estado de Morelos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 11 (2), 105-115.

Rezacova V, Hrselova H, Gryndlerova H, Miksik I. & Gryndler M. (2006). Modifications of degradation-resistant soil organic matter by soil saprobic microfungi. *Soil Biology and Biochemistry*, 38, 2292–2299.

SCFI (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial). (2008). Norma Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2008. Lombricomposta. Especificaciones y método de prueba [En línea: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5044562&fecha=10/06/2008]. [Consulta: 15 Octubre 2012].

SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2000). Norma Mexicana NMX-AA-021-SEMARNAT-2000. Especificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. [En línea: <http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/documents/html>] [Consulta: 15 Octubre 2012].

SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, Protección ambiental.-. Lodos y biosólidos.- Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. [En línea: <http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/documents/html/lodos.html>] [Consulta: 15 Octubre 2012].

SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2010). Compendio de estadísticas ambientales. México. [En línea: www.semarnat.gob.mx.] [Consulta: 15 Octubre 2012].

SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2012). Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambiental. Indicadores clave y de desempeño ambiental. Capítulo 7. [En línea: http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_12/07_residuos/cap7_1.html] [Consulta: 15 Octubre 2012].

SMA (Secretaría del Medio Ambiente). (2006). Norma Técnica Estatal Ambiental NTEA-006-SMA-RS-2006 que establece los requisitos para la producción de los mejoradores de suelo elaborados a partir de residuos orgánicos. [En línea: <http://www.edomex.gob.mx/legistelfon/doc/pdf/gct/2009/may211.PD>][Consulta: 12 abril 2013].

Tavares, C., M.E. & Alvarado, R., H. (2011). La factibilidad tecnológica para la producción de composta en el D.F. 1ra ed. Instituto Politécnico Nacional. ISBN: 978-607-414-272-3.

Tavares C., M.E., Galicia V., S. & Escamilla G., P. (2010). La composta como alternativa para el aprovechamiento de los residuos orgánicos en México. 6to. Simposio Internacional de Aplicaciones del Ozono. V Simposio Internacional de medio ambiente.

Tchobanoglous, G., Theisen, H. & Vigil, S. (1998). Gestión Integral de Residuos Sólidos. Vol. 1. Ed. Mc Graw Hill. 1087.

Torres, P., Pérez, A.E., Escobar, J.C., Uribe, I.E. & Imery, R. (2007). Compostaje de biosólidos de plantas de tratamiento de aguas residuales. *Ingeniería Agrícola Jaboticabal*, 27 (1), 267-275.