



REVISTA LATINOAMERICANA EL AMBIENTE Y LAS CIENCIAS



ISSN 2007-512X

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA
LICENCIATURA EN INGENIERÍA AMBIENTAL

Número Especial
Memorias del XIV congreso internacional y
XX congreso nacional de ciencias ambientales
ANCA 2015

*"El aprovechamiento sustentable de los
recursos naturales nos beneficia a
todos"*

Reserva de derechos
04-2011-101313134800-203

CUERPO ACADÉMICO CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

Revista Semestral de la Facultad de Ingeniería Química



DIRECTORIO

Rector

Mtro. Alfonso Esparza Ortiz

Secretario General

Dr. René Valdiviezo Sandoval

Vicerrectora de Docencia

M.C.E. María del Carmen Martínez Reyes

Vicerrector de Investigación y Estudios de Posgrado

D. C. Ygnacio Martínez Laguna

Director de la Facultad de Ingeniería Química

Dra. Ma Auxilio Osorio Lamas

Consejo Editorial

Dr. José Carlos Mendoza Hernández (Editor)

Dra. Janette Arriola Morales

Dra. Gabriela Pérez Osorio

La Revista Latinoamericana El Ambiente y las Ciencias es una revista semestral que se publica electrónicamente en los meses de junio y diciembre de cada año, la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, con un número certificado de reserva otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de autor **04-2009-121512352000-01** con domicilio de la publicación en 4 sur 104, Centro, CP 72000, Puebla, Pue., publicada electrónicamente por el departamento de diseño del Sistema Universitario de Información SIU, correo electrónico riac.fiq@correo.buap.mx, siendo el cuerpo académico Control de la Contaminación el responsable de la publicación. **Revista Indexada en Latindex**

Prohibida su reproducción total o parcial de los artículos publicados en la Revista Latinoamericana El Ambiente y Las Ciencias conforme a las disposiciones establecidas en la Ley Federal del Derecho de Autor. El contenido de los artículos publicados es responsabilidad exclusiva de los autores de los mismos.

ISSN 2007-512X

Cintillo legal difusión vía red de cómputo

Revista Latinoamericana El Ambiente y las Ciencias, Volumen 6, No. 12, número especial de memorias del XIV Congreso Internacional y XX Congreso Nacional de Ciencias Ambientales; es una publicación semestral editada por la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Domicilio calle 4 sur número 104, centro Puebla, Puebla, México. C. P. 72000, teléfono (01-222) 2295500 ext. 7050, Fax ext. 7255. Dirección electrónica: www.rlac.buap.mx, correo electrónico: rlac.fiq@correo.buap.mx, Editor responsable: José Carlos Mendoza Hernández correo electrónico: josecarlos.mendoza@correo.buap.mx, Reserva de derechos al Uso Exclusivo No. 04-2011-101313134800-203 y ISSN 2007-512X.

Edificio 106 H, Ciudad Universitaria.

Colonia Jardines de San Manuel,

Puebla, Pue., C. P. 72570,

Fecha de la última modificación Diciembre 2014.

Las opiniones expresadas por los últimos autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

TB-109 COMPOSTAJE DE LODO RESIDUAL Y LIRIO ACUÁTICO SECOJiménez M. M. C., Lucero Ch. M., Peña P. P.

Centro Interamericano de Recursos del Agua, Universidad Autónoma del Estado de México,
Carretera Toluca-Atlacomulco km 14.5, Unidad San Cayetano, Toluca, Estado de México, Código
Postal 50200, México.

(mcjimenezm@uaemex.mx; mluceroch@uaemex.mx)

Introducción

El beneficio de tratar las aguas residuales es alto, porque permite aumentar el grado de depuración y reusó del agua tratada, el inconveniente es que el tratamiento de las aguas residuales aerobio genera residuos conocidos como lodos residuales, que son desechos de difícil disposición final. Estos lodos son una mezcla de altas concentraciones de materia orgánica y microorganismos que provienen de los reactores de digestión y que poseen características compatibles con la posibilidad de utilizarlos como agentes de remediación en suelos con baja fertilidad, sin embargo, el alto contenido de organismos patógenos constituye un riesgo de contaminación. Existen formas de minimizar estos riesgos, una de estas opciones es el compostaje. El compostaje es un proceso biológico aerobio, que transforma los residuos orgánicos degradables, en un producto estable e higienizado, aplicable como abono o sustrato. El producto obtenido al final de un proceso de compostaje, el compost, posee importantes contenidos en materia orgánica y nutrientes. Así como, el lodo residual, el lirio acuático son dos problemas ambientales actuales. El lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) es una maleza que se reproduce rápidamente en los cuerpos de agua que infecta, y cuando se implementa programas de recuperación de las zonas afectadas, la cantidad de biomasa residual producida es grande, y de difícil disposición final, es por ello que en esta investigación se trabajó con el lirio acuático seco. El lodo residual tiene características que permiten considerarlo como un buen sustrato para el compostaje, mientras que el lirio acuático puede ser utilizado como material de enmienda y soporte, por su contenido de carbono.

Objetivo

Analizar la variabilidad de las cualidades físico-químicas y microbiológicas de las compostas obtenidas a partir de diferentes proporciones de lirio acuático seco y de lodo residual.

Metodología

La elaboración de la composta se realizó a partir de lodo residual deshidratado y lirio acuático.

Recolección, limpieza, acondicionamiento y caracterización del lirio acuático

El lirio acuático fue recolectado en el Bordo de San Martín la Puerta perteneciente a Toluca, Estado de México (Contreras, 2010).

La selección de las plantas a recolectar se hizo en forma visual, considerando que presentaran un aspecto saludable, con hojas de color verde uniformemente. A las plantas recolectadas se les dio el tratamiento indicado por Gajalakshmi et al. (2002), posteriormente para la obtención del lirio acuático seco, se procedió a trozar el lirio (entre 0.5 y 1 cm) y llevarlo a secar a una temperatura de 100-110°C, y el proceso de secado se

detuvo hasta alcanzar el peso constante del lirio deshidratado, lo que se logró a las 48 horas.

La caracterización de lirio acuático se realizó con las determinaciones indicadas en la tabla 1. La digestión de metales pesados se realizó de acuerdo con el método descrito por Contreras (2010), el análisis se realizó por la técnica de absorción atómica.

Recolección, acondicionamiento y caracterización de los lodos residuales

Para procurar la homogeneidad de la muestra (tanto en el lodo residual, como en las mezclas de compostas), se empleó el método de cuarteo.

Los lodos residuales crudos (LR) fueron recolectados de la PTAR perteneciente al centro comercial Galerías Metepec, en Metepec, Estado de México. Los lodos fueron deshidratados en el filtro-prensa perteneciente a dicha planta (humedad cercana al 70%). La caracterización de lodo residual se realizó con las determinaciones indicadas en la tabla 1.

Tabla 1. Métodos de caracterización de los sustratos (Lirio, Lodo residual) y de las compostas

Parámetro	Método	Equipo
Humedad total (%)	Método AS-05 (NOM-021-RECNAT-2000)	Material de vidrio y porcelana común de laboratorio. Estufa
Carbono orgánico total	COT (Método de combustión directa)	Analizador de carbono orgánico total O.I. Analytical. Modelo 1020A.
Nitrógeno Total Kjeldahl	Método Kjeldahl. Método AS-08 (NOM-021-RECNAT-2000)	Aparato de digestión Büchi Destilador Büchi (ICAR, UAEM)
Relación C/N	NMX-AA-067-1985	N.A.
Fósforo Total	NMX-AA-029-SCFI-2001	Realizado en la Facultad de Química, UAEM
Temperatura		Termómetro
Conductividad eléctrica	Método AS-18. Contenido en: NOM-021-RECNAT-2000	Conductímetro CE
pH	Potenciométrico. Método AS-02 (NOM-021-RECNAT-2000)	Potenciómetro laboratorio de calidad del agua
Metales: ¹ Arsénico, cadmio, plomo, níquel, zinc, cromo, ¹ mercurio y cobre, potasio, sodio.	NOM-004-SEMARNAT-2002	Espectrofotómetro de absorción atómica marca Varian, modelo Spectra 600. ¹ Realizados en la Facultad de Química, UAEM
Índice de germinación semillas de rábano (<i>Raphanus sativus</i>).	Varnero et al. (2007)	Material común de laboratorio. Equipo para análisis microbiológico.
Coliformes fecales	NOM-004-SEMARNAT-2002	Material común de laboratorio. Equipo para análisis microbiológicos
Salmonella	NOM-004-SEMARNAT-2002	Realizado en el CIESA, UAEM
Huevos de helmintos	NOM-004-SEMARNAT-2002	Realizado en el CIESA, UAEM

ICAR: Instituto de Ciencias Agropecuarias, CIESA: Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Salud Animal

La biodegradabilidad del lirio acuático basado en su contenido de lignina, se calculó con el método desarrollado por Chandler et al (1980).

Relación de los sustratos utilizados en el proceso de compostaje

Pila 1: 100% Lodo residual (27778 g Lodo residual)

Pila 2: 75% Lodo residual – 25% Lirio (2084g lodo residual + 187.5g lirio)

Pila 3: 50% Lodo residual – 50% Lirio (1389g lodo residual + 375g lirio)

Pila 4: 25% Lodo residual – 75% Lirio (694g lodo residual + 562.5g lirio)

Cada una de las proporciones se trabajó por duplicado, con la finalidad de minimizar el error experimental.

Se aplicó la técnica propuesta por Gajalakshmi et al (2002). Durante el proceso de compostaje se hizo un seguimiento continuo de los parámetros de control (Temperatura, Humedad y pH). Los parámetros indicados en la Tabla 1 se analizaron en las diferentes mezclas antes y después del proceso.

Resultados y discusión

La conductividad eléctrica (CE) obtenida en el lodo residual y lirio acuático estuvo por arriba de lo reportado por Vera-Reza et al. (2004), así como el contenido de sodio, al que se le atribuye el valor alto a la CE. El pH fue ácido en los dos sustratos, pero esto no represento un inconveniente para el uso de los mismos en la composta, de acuerdo con Moreno y Mormeneo (2008), durante el compostaje se mantuvo en un pH entre 5-6. La humedad se mantuvo durante la mayor parte del tiempo del compostaje dentro del rango recomendado de 50-60%.

La relación C/N del lodo residual utilizado fue baja en esta investigación, de 6.35 ± 0.30 , (debido a la elevada concentración de NTK de $5.82 \pm 0.1\%$), y la del lirio acuático fue de 26.29 (la concentración NTK fue de $2.03 \pm 0.08\%$). La relación C/N inicial óptima para el compostaje es considerada entre 25 – 30; la combinación de los materiales hizo que la relación C/N aumentara de acuerdo a la proporción adicionada del lirio acuático en las pilas en un rango de 9 a 16 %, funcionando el lirio acuático como material de enmienda.

El proceso de compostaje se realizó durante un periodo de 111 días. El proceso inició con una humedad superior a 60%, por lo que la humedad represento un factor negativo en las compostas, debido al riesgo de generar condiciones anaerobias por la compactación. Al inicio del proceso, los volteos de la mezcla lodo residual – lirio acuático seco fueron más frecuentes (cada 2 días durante 2 semanas), para ajustar el exceso de humedad. La temperatura fue prácticamente igual a la temperatura ambiente al inicio del proceso, durante el mismo la temperatura estuvo por arriba de la temperatura ambiente (rango entre 15.12 y 16.31°C), los microorganismos mesofílicos proliferaron a estas temperaturas, lo que indica que se llevó a cabo el proceso de compostaje. No se alcanzó la etapa termofílica, y se consideraron dos factores para explicar este hecho: los volteos continuos de las pilas que pudieron haber disipado la temperatura de las mismas y las bajas temperaturas ambientales.

En el lodo residual y lirio acuático los porcentajes de COT fueron de $36.93 \pm 2.56\%$ y $53.36 \pm 2.36\%$, respectivamente, conteniendo el lirio acuático un mayor porcentaje. El contenido de COT analizado al inicio y al final del proceso de compostaje no mostró diferencia significativa, lo que se atribuyó a que no se llevó a cabo la biodegradación del material de enmienda. Para fundamentar que el lirio acuático no fue biodegradable, se investigó la composición del mismo. Rodríguez (1997) menciona que contiene 18.94% de Lignina. La fracción biodegradable de lirio acuático fue de 0.3223, lo que indica que alrededor del 30% del lirio acuático es susceptible a biodegradarse de manera aeróbica.

Gunnarsson y Mattson (2007) mencionan que cuando en el proceso de compostaje, la relación C/N es inferior al límite recomendado (C/N 25-30), se produce la pérdida de nitrógeno en forma de amoníaco, como mecanismo de la mezcla a compostear para aumentar la relación C/N. En el proceso de compostaje se presentó un decremento en el

porcentaje de nitrógeno. Los decrementos fueron en la Pila 1, 1.8%; Pila 2, 1.6%; Pila 3, 1.7%; Pila 4, 1.4%.

El potasio y el fósforo fueron evaluados al finalizar el proceso de compostaje. Los valores de potasio estuvieron entre 4238 y 15893 mg K/kg p.s. y los de fósforo total entre 8414 y 10863 mg P_{TOTAL}/kg p.s, obteniéndose valores superiores a la NTEA-006-SMA-RS-2006 (GGEM, 2006), que establece los requisitos para la producción de los mejoradores de suelos elaborados a partir de residuos orgánicos.

Los coliformes fecales disminuyeron al finalizar el compostaje (1 Ulog) permitiendo clasificar a las compostas como biosólidos categoría C de acuerdo con la NOM-004-SEMARNAT-2002; este descenso se debió al efecto inhibitor que posee el amoníaco liberado en el compostaje.

La *Salmonella* al inicio del proceso de compostaje no se detectó, al final estuvo presente en la pila 1 (2×10^3 NMP/g p.s.), cabe hacer mención que durante el ensayo de compostaje las pilas se encontraban abiertas a la intemperie durante el volteo semanal y que en cualquier momento pudieron ser inoculadas por vectores externos, principalmente por moscas (Valdespino et al., 1994).

En el lodo residual, los metales analizados fueron Zn, Pb, Cu, Cr, Cd, Ni, As y Hg, los resultados obtenidos estuvieron por debajo del límite máximo permisible de acuerdo con la NOM-004-SEMARNAT-2002 (DOF, 2002) clasificándose en una categoría excelente, excepto para el Zn que se clasificó en una categoría buena. En el lirio acuático seco los metales analizados fueron los mismos que para el lodo residual, los valores obtenidos fueron inferiores al límite máximo permisible de acuerdo con la NOM-004-SEMARNAT-2002 (DOF, 2002), clasificándose en la categoría de excelente.

En el lodo residual el índice de germinación determinado fue de $60 \pm 5.66\%$, moderadamente fitotóxico (Vamero et al., 2007). La fitotoxicidad reportada para el lodo residual utilizado en esta investigación pudo deberse a las razones expuestas por Zubilaga et al. (2008), quienes mencionaron que el alto contenido de compuestos nitrogenados de bajo peso molecular, como la urea y el ácido úrico (que se encuentran contenidos en la orina), liberan importantes cantidades de amoníaco por hidrólisis enzimática, y producen pérdidas por volatilización, las cuales poseen efecto fitotóxico.

En el caso del lirio acuático el valor obtenido para el índice de germinación fue 32%, que indicó una fuerte fitotoxicidad, al encontrarse por debajo del límite de 50% (Vamero et al., 2007). Este resultado pudo deberse a que el lirio acuático es una especie que absorbe, concentra y precipita compuestos como sales de nitrógeno y metales, como resultado del proceso llamado de fitofiltración. Al final del proceso de compostaje, el índice de germinación en las pilas estuvo en un rango de 64 ± 3 a $67 \pm 3\%$, clasificándose como moderadamente fitotóxico.

Conclusiones

- El proceso de compostaje de lodos residuales con lirio acuático seco ensayado en esta investigación, no desarrolló su fase termofílica dentro del periodo de tiempo que se mantuvieron en observación las pilas (111 días), se consideraron dos factores para explicar este hecho: (a) los volteos continuos de las pilas que pudieron haber disipado la temperatura de las mismas y (b) la dificultad de biodegradar el material de enmienda (lirio), debido a su contenido de lignina.

- No hubo diferencia significativa en el contenido de COT analizado al inicio y al final del proceso de compostaje, como consecuencia no fue posible determinar los efectos de la variación en la proporción del lino en las pilas de compostaje.
- En todas las pilas analizadas, el valor para el índice de germinación del inicio al final del proceso de compostaje tuvo un incremento del orden del 7 al 21%, que pudo deberse a la liberación de sustancias amoniacales y al lixiviado del sodio durante el proceso, las cuales tienen un marcado carácter fitotóxico.

Agradecimientos

A la Universidad Autónoma del Estado de México (Proyecto 3449/2013CHT) y a la Fundación Educación Superior - Empresa (Proyecto 3379/2013E).

Referencias

- Contreras, P.A. (2010), *Acumulación de Fe, Mn, Cu, Zn, Cr, Pb, Cd y Ni en Eichhornia crassipes de cuerpos de agua en el curso alto del río Lerma*. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Chandler, J., Jewell, J., Gossett, P., Van Soest, P., Robertson, J., (1980), "Predicting methane fermentation biodegradability", *Biotechnology and Bioengineering Symposium* No. 10. pp. 93-107.
- Gajalakshmi, S., Ramasamy, E.V., Abbasi, S.A. (2002), "High-rate composting-vermicomposting of water hyacinth (*Eichhornia Crassipes*, Mart. Solms)", *Bioresource Technology*. Vol. 83 No. 3, pp. 235-239.
- Gunnarsson, C., Mattsson, C. (2007) Water hyacinths as a resource in agriculture and energy production: A literature review. *Waste Management*. Vol. 27 pp.117-129.
- Moreno, C.J., Mormeneo, B.S. (2008), *Microbiología y bioquímica del proceso del compostaje*. Editorial Mundiprensa. Universidad de Valencia España.
- Ortiz-Hernández, M., Sánchez-Salinas, E., Gutierrez-Ruiz, M. (1995), "Propuesta de manejo de lodos residuales de la planta de tratamiento de la ciudad industrial Del Valle de Cuernavaca, Estado de Morelos, México". *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. Vol. 11 No. 2, pp. 105-115.
- Rodríguez, J.C. (1997), Valor nutritivo de la bora *Eichhornia Cressipes* (Mart.) Solms. en relación a su utilización como forraje. *Zootecnia Tropical*. Vol. 15 No. 1, pp. 51-63.
- Valdespino, J.L., Velasco, O.C., Escobar, A.G., Del Rio, A.Z., Ibañez, B.S., Magos, C.L. (1994), *Enfermedades tropicales en México: Diagnóstico, tratamiento y distribución geográfica*. SSA-INDRE.
- Varnero, M.T., Rojas, C., Orellana R. (2007), "Índices de fitotoxicidad en residuos orgánicos durante el compostaje". *J. Soil Science Nutrition*. Vol. 7 No. 1, pp. 28-37.
- Vera-Reza, A., Sánchez-Salinas, E., Ortiz-Hernández, L., Peña-Camacho, J., Ortega-Silva, M. (2004), *Estabilización de lodos residuales municipales por medio de la técnica de lombricompostaje*. Centro de investigación en Biotecnología. Universidad Autónoma del Estado de Morelos.
- Zubilaga, M., Branzini, A., Lavado, R. (2008). Problemas de fitotoxicidad en compost. *Revista Pilquen*, Vol. 10 No 9, pp. 1-9.