

Tratamiento de residuos de agar caduco mediante el proceso de compostaje

Treatment of agar waste expired by composting process

José Aurelio Sosa Olivier^{*1}, José Ramón Laines Canepa^{*}, Ana Guadalupe De La Cruz Pérez^{*},
Lucía Guadalupe Martínez Domínguez^{*}, Miguel Ángel Pérez Méndez^{*}, Jorge Abisaí Bautista Gómez^{*}

DOI: 10.15446/rev.colomb.biote.v19n1.65970

Resumen

Los residuos generados en los laboratorios de las instituciones de educación superior (IES) suelen ser considerados peligrosos por sus características fisicoquímicas, al igual de otros materiales que representan una alta carga orgánica si son dispuestos inadecuadamente. El objetivo del presente trabajo, fue tratar agar residual generado en los laboratorios de microbiología del edificio multifuncional de la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiol), mediante compostaje tradicional. Con la finalidad de conocer la viabilidad del proceso de compostaje, se trabajó con dos pilas de composta conformadas de 95.95 kg lodos y 141.5 kg residuos vegetales (un total de 237.45 kg), a una de ellas (pila 1), se le añadió 25 kg de agar caduco. Se monitorearon los parámetros fisicoquímicos y analíticos durante 63 días. Se obtuvo una temperatura máxima de 57.71 ± 5.07 °C, en la pila con agar y en la segunda pila de 50.23 ± 4.30 °C. Los valores de pH fueron de 5.93 ± 0.02 y 7.02 ± 0.01 , estabilizándose al final con valores de 8.00 ± 0.07 y 7.95 ± 0.11 . La conductividad eléctrica presentó valores finales de 6.87 ± 0.46 dS m⁻¹ y 3.02 ± 0.09 dS m⁻¹. El compostaje es una tecnología opcional para el tratamiento de agar residual ya que los valores de pH y temperatura no se afectaron durante el proceso, solo se presenta un valor elevado de conductividad eléctrica. La DACBiol, por contar con una certificación en calidad ambiental y contar con un programa de manejo de residuos de laboratorios, debe cumplir el objetivo de minimizar la generación de residuos.

Palabras clave: conductividad eléctrica, oxidación aerobia, pH, residuos, tratamiento.

Abstract

Waste generated in the laboratories of higher education institutions (HEIs) is often considered hazardous due to its physicochemical characteristics, as well as other materials that represent a high organic load if inadequately disposed. The objective of this work, was to treat residual agar generated in the microbiology laboratories of the multifunctional building of the Academic Division of Biological Sciences (DACBiol), through traditional composting. To know the viability of the composting process, was worked with two compost piles made of 95.95 kg sludge and 141.5 kg plant residues (a total of 237.45 kg), to one of them (stack 1), 25 kg of waste agar was added. Physicochemical and analytical parameters were monitored for 63 days. A maximum temperature of 57.71 ± 5.07 °C was obtained, in the agar cell and in the second cell of 50.23 ± 4.30 °C. The pH values at baseline were 5.93 ± 0.02 and 7.02 ± 0.01 , stabilizing at the end with values of 8.00 ± 0.07 and 7.95 ± 0.11 . The electrical conductivity presented final values of 6.87 ± 0.46 dS m⁻¹ and 3.02 ± 0.09 dS m⁻¹. Composting is an optional technology for the treatment of residual agar since the values of pH and temperature were not affected during the process, only a increase of electrical conductivity is presented. In addition, DACBiol, for having a certification in environmental quality and have a program of waste management of laboratories, must meet the objective of minimizing the generation of waste.

Key words: electric conductivity, aerobic oxidation, pH, waste, treatment.

Recibido: noviembre 18 de 2016 **Aprobado:** abril 27 de 2017

^{*}División Académica De Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México. ¹ing-jaso@hotmail.es

Introducción

Las instituciones de educación superior (IES) que albergan un gran número de población estudiantil y realizan actividades de docencia, investigación y servicios, repercuten en una importante generación de residuos, y sus laboratorios, generan sustancias que pueden ser consideradas como residuos peligrosos (Bomant *et al.*, 2016). La Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) con la Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior (ANUIES), firmaron un acuerdo en el 2000, con el objetivo de promover en varias IES Planes Ambientales Institucionales (PAI), con diferentes niveles de consolidación y en diferentes temporalidades (Espinoza *et al.*, 2013). Esto permitió que las IES, implementen programas que buscan manejar adecuadamente sus residuos. Sin embargo, existe poca información sobre el manejo y tratamiento *in situ* de los residuos de laboratorio en IES. En México, algunas IES se han sumado al programa nacional de auditorías ambientales, que promueve la Procuraduría Federal de Protección Ambiental, la cual promueve que las empresas, organizaciones e instituciones participantes mejoren su desempeño ambiental, sean más eficientes y competitivas en sus procesos disminuyendo los impactos ambientales negativos que generen por sus operaciones, en materia de aire, agua, suelo y residuos, como resultado del cumplimiento de los propósitos ambientales, se obtienen certificaciones, una de ellas es la de “calidad ambiental” (PROFEPA, 2013). La LGPGIR (2015) menciona que los tratamientos de residuos pueden ser físicos, químicos, térmicos y biológicos. Dentro del grupo de tratamientos biológicos, el compostaje perdura, como el proceso mayormente utilizado en la degradación de materiales y algunos contaminantes orgánicos. Es un proceso biológico aeróbico en el que sustratos orgánicos son oxidados a formas biológicamente estables como el humus; los microorganismos transforman los compuestos orgánicos mediante reacciones metabólicas, en las que se separan los electrones de los compuestos y las estructuras de carbono se oxidan, generando dióxido de carbono y agua (Eweis *et al.*, 1999). 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). Se ha reportado un amplio rango de contaminantes ambientales comunes que se degradan rápidamente en la composta, tales como hidrocarburos totales del petróleo, hidrocarburos aromáticos polinucleares y plaguicidas. Sin embargo, no existe una tecnología de tratamiento apropiada para todos los contaminantes y todas las situaciones (Sauri *et al.*,

2002). Durante el proceso de compostaje, se lleva a cabo la respiración microbiana y con ello, se alcanzan temperaturas termofílicas mayores a 40 °C, realizando la degradación de materia orgánica e inhibiendo y destruyendo microorganismos patógenos (Bertoldi *et al.*, 1996, Burton & Turner 2003, Huang *et al.*, 2006, Said-Pullicino *et al.*, 2007). Krikorian (1991), menciona que los microorganismos requieren una variedad de nutrimentos, macros y micros, orgánicos e inorgánicos, generalmente las células de crecimiento pueden fabricar sus proteínas a partir de fuentes adecuada de nitrógeno y carbono, suministradas por el medio de cultivo. Muchas veces, el manejo de los medios de cultivo (agar) después de su uso, se realiza de forma inadecuada, sin embargo, es importante, que este lleve un tratamiento de esterilización a 134 °C durante 35 min (Méndez, 2014), para finalmente, disponerse como un residuo de manejo especial. Algunos autores plantean tiempos y temperaturas de inhibición y destrucción de patógenos, en procesos de compostaje. El tiempo de exposición y la temperatura requerida para inactivar *Salmonella* en matrices de compostaje se ha reportado de 1 a 13 días, con temperaturas de 38 a 55 °C en biosólidos (Burge *et al.*, 1982, Ahmed & Sorensen 1995, Zaleski *et al.*, 2005). Para el caso de *E. coli*, se reportan temperaturas de 65 °C durante 12 días, en el compostaje de heces fecales y residuos alimenticios (Himathongkham *et al.*, 1999, Vinneras, 2007). Vázquez *et al.* (2015), menciona que una composta adecuada posee un rango óptimo de pH de 5.5 a 8, un alto contenido de materia orgánica y la baja conductividad eléctrica, ya que esto inhibe el crecimiento de semillas y crecimiento de plántulas. La NADF-020-AMBT-2011 plantea parámetros de control de calidad en compostaje, la calidad óptima de la composta terminada debe cumplir con los siguientes parámetros analíticos y fisicoquímicos: humedad 25 – 25%, pH de 6.7 – 7.5, conductividad eléctrica <4 dS m⁻¹, temperatura con una diferencia <10 °C, respecto al ambiente. La División Académica de Ciencias Biológicas de la UJAT cuenta con el certificado de “calidad ambiental” lo cual, sustenta la aplicación de metodologías en pro del manejo adecuado de los residuos que en ella se generan, por lo que el presente trabajo tiene como objetivo tratar agar residual caduco, generado en los laboratorios de microbiología, mediante el proceso de compostaje aerobio.

Materiales y métodos

Sustratos de compostaje. El sustrato de interés fue el agar residual (caduco), el cual se obtuvo del edificio multifuncional y del Almacén de Residuos Peligrosos de la DACBiol, en su mayoría, de tipo hidrosκόpio



Figura 1. Conformación de pilas de compostaje.

con contenido de Agar de Hierro y Triple Azúcar (Lactosa, Sacarosa, Dextrosa), en polvo. Además, se utilizaron residuos orgánicos vegetales generados de las cafeterías (cáscaras de naranja, mango, pepino, piña, cacao, jícama), como sustrato para conformar las pilas de composta.

Compostaje. Para el proceso de compostaje se conformaron dos pilas de forma cónica de 50 cm de altura. A una de ellas se le añadió 24 kg (10 %, respecto al total) de agar residual, residuos orgánicos y lodos digeridos (figura 1).

En la tabla 1, se muestran las proporciones de sustratos, que conforman cada pila de compostaje.

Aireación. Las pilas eran aireadas diariamente de forma manual. Esto consistió en extender las pilas con palas de forma horizontal, hasta alcanzar una altura de 10 cm, durante el lapso de una hora. Posterior-

mente los sustratos eran vueltos a su forma cónica y eran cubiertos con lonas hasta su próxima aireación.

Temperatura. Se realizó el registro diario de la temperatura de cada pila, para ello se utilizaron termómetros de mercurio de 110 °C. Se registró la temperatura en cuatro secciones (N, S, E y OE) y en el centro superior, con un total de nueve puntos por pila. Además, se registró la temperatura ambiente, como control.

Monitoreo de parámetros. Se realizó el monitoreo de parámetros durante 12 semanas, estos fueron hechos en la planta piloto tres de Tratamiento atmosférico y Residuos Sólidos de la DACBioL- UJAT. Las determinaciones se describen a continuación.

Parámetros analíticos

Humedad: para determinar humedad se empleó el método gravimétrico (SE, 1984a). Se tomaban muestras homogéneas de 100 g por cada pila. Las muestras eran secadas en un horno a 103 °C, durante 24 horas. La pérdida de peso, se considera como % de humedad.

Porcentaje de Materia Orgánica (MO) y Carbono orgánico Total (COT): para determinar la materia orgánica se tomaron 10 g de muestras de cada pila previamente secas y trituradas; posteriormente, se colocaban en una mufla a 550 °C durante un lapso de tiempo de dos horas, concluido este tiempo las muestras regresaban a la estufa por 20 minutos para regular su temperatura y luego eran colocadas en un desecador por 20 minutos (Sadzawka et al., 2006). Se registró el

Tabla 1. Proporción de las pilas de composta.

Sustratos	Pila 1 (kg)	Pila 2 (kg)
Lodos digeridos	87.17	96.95
Residuos vegetales	127.36	141.5
Agar residual	24.00	-
Total	238.53	238.45

*Nota: El 10% es proporcional a la cantidad total de la pila.

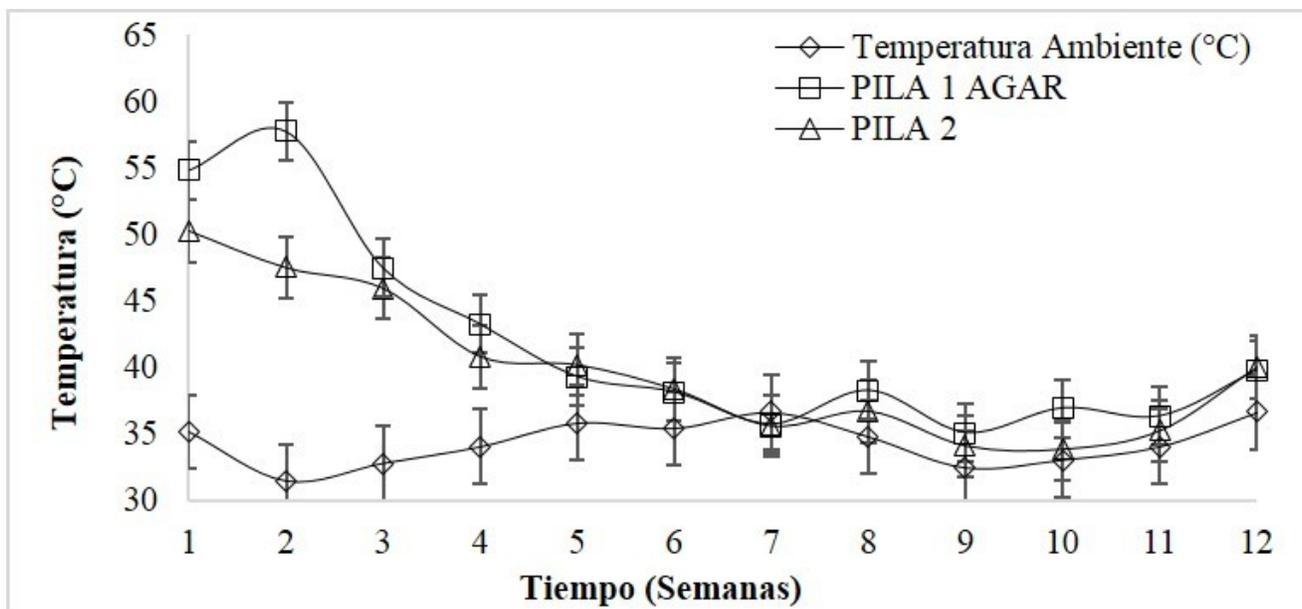


Figura 2. Comportamiento de Temperatura.

peso final de las muestras utilizando una balanza analítica para determinar el peso de las muestras y con la ecuación siguiente se determina el porcentaje de MO.

$$\% MO = \left(\frac{a - b}{a} \right) * 100$$

Donde:

a: masa (g) de la muestra seca, antes de calcar

b: masa (g) de la muestra calcinada a 550 °C

Para la determinación de COT se utilizó el método propuesto por Sadzawka *et al.* (2006), utilizando el factor de Van Bennelemn, como se muestra en la siguiente ecuación. Estos procedimientos se realizaron semanalmente, a partir de la tercera semana de iniciado el proceso de compostaje.

$$\% COT = \frac{\% MO}{1.724}$$

Donde:

1.724: Factor Van Benmelen (Sadzawka *et al.*, 2006).

Parámetros Físicoquímicos

Semanalmente se determinaron parámetros físicoquímicos, como pH y conductividad eléctrica (CE). Se tomaban 10 g de muestra seca, se trituraban en un mortero y se diluían en 90 ml de agua destilada. Posteriormente, se agitaban en una parrilla magnética a 100 rpm durante 10 min, posteriormente se dejaban reposar por 30 min (SE. 1984b), para finalmente tomar alícuotas de 20 ml del sobrenadante. Las alícuo-

tas eran medidas con un equipo multiparamétrico marca Hanna® HI9828, por triplicado.

Análisis estadísticos. Los resultados obtenidos se analizaron estadísticamente mediante ANOVA´s de una vía, utilizando el paquete estadístico Statgraphics® Centurion XV.

Resultados y Discusión

Proceso de compostaje

Temperatura: la máxima temperatura registrada fue de 57.71±5.07 °C, en la pila 1 durante una semana, superior que la pila 2 (si agar) con un valor máximo de 50.23±4.30 °C, durante una semana (figura 2).

Los valores de temperatura registrados, cumplen con lo establecido en la NADF-020-AMBT-2011, y es similar a lo reportado por Bertoldi *et al.* (1996), Burton & Turner (2003), Huang *et al.* (2006), Said-Pullicino *et al.* (2007). Las temperaturas alcanzadas, son óptimas para la destrucción de *Salmonella sp.*, según reporta Burge *et al.* (1982), Ahmed & Sorensen (1995) y Zaleski *et al.* (2005).

Humedad: la humedad inicial fue superior al 50 % en la pila 1 y 2, al final del proceso los valores de humedad fueron de 26.35 % y 28.90 %, respectivamente (figura 3).

Materia Orgánica (MO): los valores porcentuales de MO inicial en la pila 1 y 2 fueron de 39.06 % y 33.86

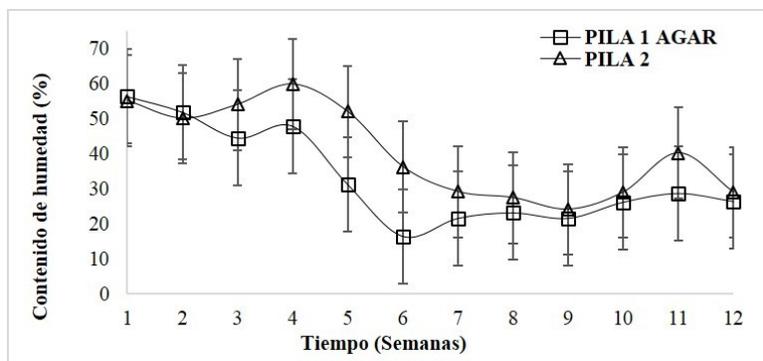


Figura 3. Humedad de las pilas durante el proceso.

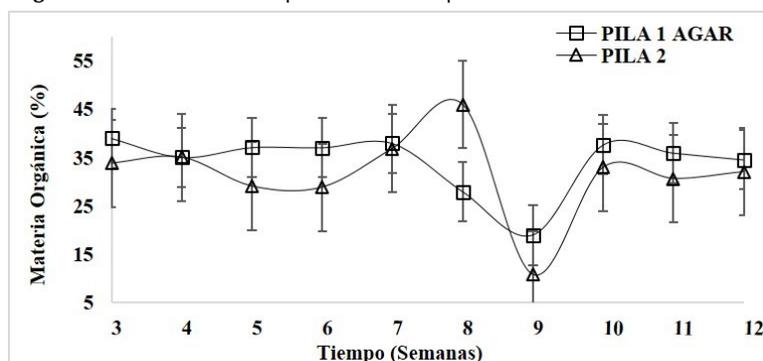


Figura 4. Monitoreo de materia orgánica.

%, respectivamente. En ambas pilas se presentó una muy ligera disminución, respecto al final, con valores de 34.60 % y 32.10 %, respectivamente (figura 4).

Carbono orgánico (CO): el porcentaje de CO inicial en la pila 1 y 2 fue de 10.27 % y 8.36 %, respectivamente. En ambas pilas se presentó una muy ligera disminución, respecto al final, con valores de 9.17 % y 7.356 %, respectivamente (figura 5).

Parámetros Físicoquímicos

La variación de los valores registrados durante las 12 semanas del proceso son las siguientes.

pH: la figura 6, muestra el promedio semanal del comportamiento de los valores de pH para cada pila. El pH de la pila 1, presento un pH menor respecto a la pila 2, 5.93 ± 0.02 y 7.02 ± 0.01 , respectivamente. Al final del proceso, el pH se estabilizó, con valores de 8.00 ± 0.07 y 7.95 ± 0.11 , respectivamente.

Los valores de pH, son similares a lo reportado por Vázquez et al. (2015), y NADF-020-AMBT-2011.

Conductividad eléctrica (CE): la figura 7 muestra el promedio semanal del comportamiento de los valores de conductividad eléctrica para cada pila. En este parámetro, fue evidente el efecto del agar, ya que al

final del proceso, la pila 1 presentaba 6.87 ± 0.46 dS m^{-1} y la pila 2, 3.02 ± 0.09 dS m^{-1} . Esta diferencia, se debe al contenido de sales del agar, ya que gran parte de los nutrientes se presentan como sales y minerales, para su aprovechamiento en el cultivo de bacterias.

El % humedad está dentro de los parámetros de la NADF-020-AMBT-2011, sin embargo, la conductividad eléctrica se incumple en la pila 1. El tiempo de proceso (12 semanas), es óptima, debido a que la diferencia de la temperatura (<10 °C, respecto al ambiente), se cumple.

Análisis estadístico: el análisis de varianza de los valores registrados de temperatura durante las primeras 5 semanas (fase termofílica), demuestra que existen diferencias estadísticamente significativas entre los grupos, con un valor de $P = 0.0001$. Siendo las temperaturas de la Pila 1, mayores y diferentes entre los grupos (figura 8).

Conclusiones

Los resultados obtenidos, indican que el proceso de compostaje es viable, al no presentarse inhibición alguna, durante el proceso. Se demuestra estadísticamente que los valores de temperatura, tienden a ser

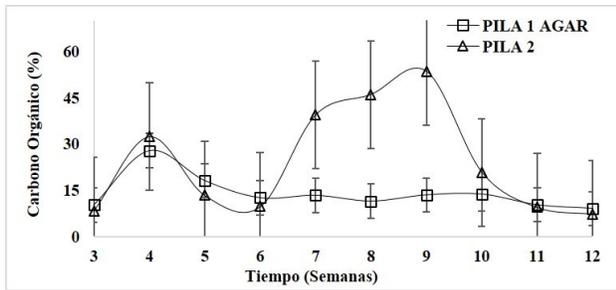


Figura 5. Registro Carbono Orgánico.

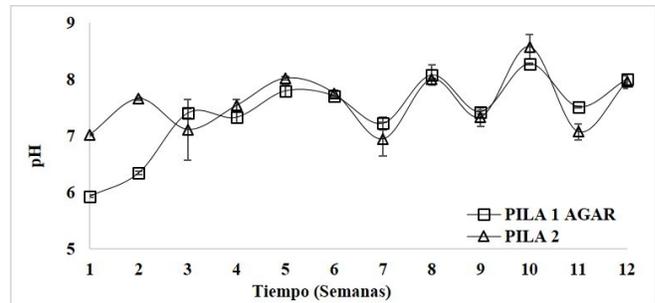


Figura 6. Variaciones de pH de las pilas.

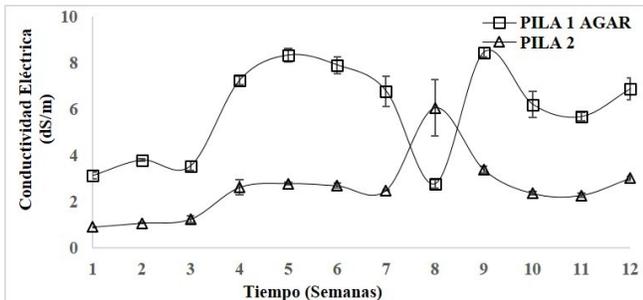


Figura 7. Conductividad eléctrica de las pilas.

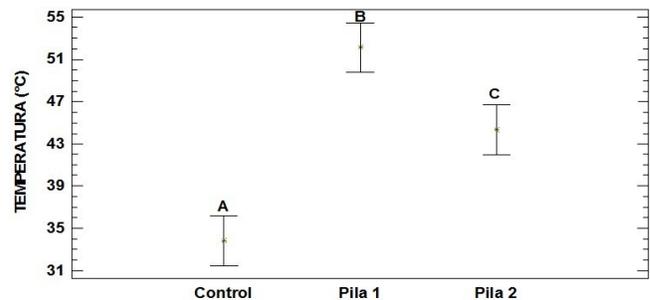


Figura 8. Gráfico del análisis de varianza (letras diferentes, indican diferencia entre grupos).

mayor, con el uso de agar caduco. Esta investigación debe proseguir, buscando combinaciones para abatir el aumento de la conductividad eléctrica. El compostaje es un proceso adecuado para el tratamiento *in situ* de agar residual (caduco), lo que podría implementarse en IES donde se tengan problemas de manejo de estos residuos, disminuyendo el posible costo de manejo. La DACBioL, alcanza el objetivo de minimización de residuos, generados en laboratorios, lo cual coadyuva en el cumplimiento de los requerimientos de su certificación de “calidad ambiental”.

Referencias bibliográficas

Ahmed, A. U., & Sorensen, D. L. (1995). Kinetics of pathogen destruction during storage of dewatered biosolids. *Water Environment Research*, 67(2), 143-150. Doi: <http://dx.doi.org/10.2175/106143095X131286>.

Bertoldi, M., Sequi, P., Lemmes, B. & Papi, T. (1996). *The Science of Composting*. Chapman & Hall. London, England, p 1452. Doi: 10.1007/978-94-009-1569-5.

Burge, W. D., Colacicco, D., & Cramer, W. N. (1981). Criteria for achieving pathogen destruction during composting. *Journal (Water Pollution Control Federation)*, 1683-1690.

Burton, C. H., & Turner, C. (2003). *Manure management: Treatment strategies for sustainable agriculture*. Editions Quae.

Espinosa Valdemar, R., Turpin Marion, S., Vázquez Solís, R., Vázquez Morillas, A., Cisneros Ramos, A., de la Torre Vega, A., & García García, B. (2013). La gestión ambiental en una institución de educación superior asociada a las prácticas de separación y recuperación de residuos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 29, 49-57

Eweis, J. B., Ergas, S. J., Chang, D. P., & Schroeder, E. D. (1999). *Principios de Biorrecuperación: Tratamientos para la descontaminación y regeneración de suelos y aguas subterráneas mediante procesos biológicos y fisicoquímicos*. Madrid. España. McGrawHill. 327 p.

Himathongkham, S., Bahari, S., Riemann, H., & Cliver, D. (1999). Survival of *Escherichia coli* O157: H7 and *Salmonella typhimurium* in cow manure and cow manure slurry. *FEMS Microbiology Letters*, 178(2), 251-257. Doi: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1574-6968.1999.tb08684.x>

Huang, G. F., Wu, Q. T., Wong, J. W. C., & Nagar, B. B. (2006). Transformation of organic matter during co-composting of pig manure with sawdust. *Bioresource Technology*, 97(15), 1834-1842. Doi: 10.1016/j.biortech.2005.08.024

Krikorian, A. D. (1991). Medios de cultivo: generalidades, composición y preparación. *Cultivo de tejidos en la agricultura: fundamentos y aplicaciones*. Cali: CIAT, 41-77.

Méndez, M. P. (2014). Mejoramiento del tratamiento de desechos hospitalarios por esterilización en autoclaves.

- Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 41-77.
- Procuraduría Federal de Protección Ambiental. (2013). Programa Nacional de Auditorías ambientales. Recuperado de: <http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/26/1/poster.pdf>.
- Sadzawka, A., Carrasco, M. A., GREZ, R., Mora, M. L., Flores, H., & Neaman, A. (2006). Métodos de análisis recomendados para los suelos de Chile. Revisión 2006. Ministerio de Agricultura, Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). *Serie Actas INIA*, (34). Centro Regional de Investigación La Platina. 164p. <http://www.inia.cl/medios/biblioteca/serieactas/NR33998.pdf>.
- Said-Pullicino, D., Erriquens, F. G., & Gigliotti, G. (2007). Changes in the chemical characteristics of water-extractable organic matter during composting and their influence on compost stability and maturity. *Bioresource technology*, 98(9), 1822-1831. Doi: 10.1016/j.biortech.2006.06.018.
- Sauri, M. R., & Castillo, E. R. (2000). *Utilización de la composta en procesos para la remoción de contaminantes*. *Red Ingeniería Revista Académica*, 6(3), 55-60.
- Secretaría de Economía. 1984. (NMX-AA-16-1984a). Secretaría de Economía. Protección al ambiente -contaminación del suelo - Residuos sólidos municipales - determinación de humedad.
- Secretaría de Economía. (1984). (NMX-AA-25-1984b). Protección al ambiente -contaminación del suelo - Residuos sólidos municipales - determinación de pH, método de potenciómetro.
- Secretaría del Medio Ambiente del D.F (NADF-020-AMBT). (2011). Requerimientos mínimos para la producción de composta a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, agrícolas, pecuarios y forestales, así como las especificaciones mínimas de calidad de la composta producida y/o distribuida en el Distrito Federal.
- Semple, K. T., Reid, B. J., & Fermor, T. R. (2001). Impact of composting strategies on the treatment of soils contaminated with organic pollutants. *Environmental pollution*, 112(2), 269-283. Doi:10.1016/S0269-7491(00)00099-3
- Vinnerås, B. (2007). Comparison of composting, storage and urea treatment for sanitising of faecal matter and manure. *Bioresource Technology*, 98(17), 3317-3321. Doi: 10.1016/j.biortech.2006.07.011
- Zaleski, K. J., Josephson, K. L., Gerba, C. P., & Pepper, I. L. (2005). Survival, growth, and regrowth of enteric indicator and pathogenic bacteria in biosolids, compost, soil, and land applied biosolids. *Journal of residuals science and technology*, 2(1), 49-63.