

RESIDUOS AGROINDUSTRIALES CON POTENCIAL DE COMPOSTAJE

AGROINDUSTRIAL RESIDUES WITH COMPOSTING POTENTIAL

Hernández-Cázares, A.S.¹; Real-Luna, N.¹; Delgado-Blancas, M.I.²; Bautista-Hernández, L.¹; Velasco-Velasco, J.^{3*}

¹Colegio de Postgraduados *Campus* Córdoba. Carretera Córdoba-Veracruz km 348, Congregación Manuel León, Municipio de Amatlán de los Reyes, Veracruz, México. C.P. 94946. ²Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca. Av. Veracruz S/N Esq. Héroes de Puebla, Colonia Pemex, Tierra Blanca, Veracruz, México. C.P. 95180.

Autor responsable: joel42ts@colpos.mx

RESUMEN

Los residuos agroindustriales constituyen un serio problema a nivel mundial, impactando directamente en el cambio climático, ya que su disposición final se realiza en tiraderos a cielo abierto o en cuerpos de agua. Algunas investigaciones indican que un aprovechamiento adecuado de residuos agroindustriales podría tener un impacto en la productividad agrícola y la fertilidad del suelo a través del compostaje generando un producto útil, contribuyendo a mejorar la calidad física, química y biológica de suelos, además de incrementar la materia orgánica y su fertilidad. En este trabajo se resalta la importancia de los residuos agroindustriales y su potencial para ser manejados y aprovechados, considerando que mediante el compostaje se pueden obtener productos derivados útiles para el suelo, además de la reducción del riesgo ambiental.

Palabras clave: agroindustria, residuos, compost.

ABSTRACT

Agroindustrial residues constitute a serious problem at the global level, impacting directly on climate change, since their final disposition is carried out in open-air landfills or in water bodies. Some studies indicate that an adequate use of agroindustrial residues could have an impact on agricultural productivity and soil fertility through composting, generating a useful product, contributing to improving the physical, chemical and biological quality of soils, in addition to increasing organic matter and its fertility. In this study, the potential, management and use of agroindustrial residues is highlighted, taking into account that composting can produce useful products to the soil, in addition to the reduction of environmental risk.

Keywords: agroindustry, residues, compost.

Agroproductividad: Vol. 9, Núm. 8, agosto, 2016. pp: 10-17

Recibido: julio, 2016. **Aceptado:** abril, 2016.



INTRODUCCIÓN

En México la industria de alimentos, bebidas y tabaco es de gran importancia económica y social, y constituye 27.4% de la industria de manufacturera, únicamente inferior a productos metálicos maquinaria y equipo, que contribuye con 32% (INEGI, 2012). En 2012, el PIB agroindustrial generó más de \$459 mil millones de pesos, siendo el valor agregado de la producción de alimentos el que aportó 78% de éste y durante el periodo de 1993 a 2012 creció a una tasa media anual de 2.2% (SAGARPA, 2013). Aun cuando estos datos son muy alentadores para la economía de México se conoce que las emisiones y los residuos originados de la agroindustria han dado lugar a medidas de control cada vez más estrictas, siendo las emisiones de aguas residuales las que han recibido mayor atención por su potencial contaminante (Arvanitoyannis, 2008), sin dejar de lado los residuos sólidos. En México, los residuos generados del procesamiento de alimentos derivados de la industria azucarera, agricultura, pesca, industria animal y fabricación de bebidas son considerados sectores contaminadores potenciales del medio ambiente (Uicab-Brito y Sandoval, 2003). No obstante, estos residuos sólidos tienen un potencial importante como materia prima para el proceso de compostaje, con el objetivo de mejorar física, biológica y químicamente el suelo, lo que se traduce en mayor fertilidad y productividad (Ozores-Hampton *et al.*, 2011) o constituir una actividad productiva extra para generar ingresos. En este sentido, se ha tenido la necesidad de reciclar dichos desechos y subproductos orgánicos mediante tecnologías innovadoras para la producción de abonos orgánicos de alta calidad (biofertilizantes, bionutrientes, bioactivadores), a partir de procesos de descomposición de desechos sólidos (Alonso *et al.*, 2011), y transformarse en acondicionadores del suelo que aumenten la disponibilidad de nutrientes.

Sin embargo, según el tratamiento que se quiera dar a los residuos orgánicos, se puede obtener diferentes abonos o humus. Para la obtención de abonos, Ruiz-Figueroa (2009) menciona que es necesario conocer

los porcentajes de materias fermentables, minerales y agua que contenga el residuo orgánico para que, de esta forma, se pueda determinar el porcentaje de carbono orgánico (C), nitrógeno (N) y el valor de la relación C:N (como indicador de la madurez del compost), el contenido en calcio, magnesio, fósforo y potasio. Mientras, si se desea obtener humus se debe distinguir, por una parte, las materias orgánicas que se descomponen rápidamente sin proporcionar humus, pero que liberen N, calor, azúcares y almidones para materias orgánicas de origen animal, y para las de origen vegetal, celulosa, lignina que utilizarán el N y energía liberada para descomponerse lentamente. No obstante, dependiendo del origen de la materia prima y las fallas en la tecnología de compostaje, se pueden generar sustancias nocivas al medio ambiente, tales como agentes patógenos (bacterias: *Salmonella*, *Shigella*, *Escherichia coli*, *Enterobacter*, *Yersinia*, *Streptococcus* y *Klebsiella*, y hongos: *Aspergillus fumigatus*), bioaerosoles, metales pesados y sustancias orgánicas tóxicas (Pepe *et al.*, 2013), siendo las pilas estáticas aireadas la mejor opción que garantiza la higienización del compost, ya que las altas temperaturas durante el proceso de compostaje no siempre logran tal objetivo (Bustamante *et al.*, 2008). En una unidad de compostaje (UC) se generan procesos de fermentación en determinadas etapas y, bajo ciertas condiciones, lo deseable es que prevalezca un metabolismo aerobio, tratando de minimizar los procesos anaerobios, ya que los productos finales de este tipo de metabolismo no son adecuados para su aplicación como biofertilizante. Durante el proceso se producen emanaciones de gases que escapan por el lomo de la UC y algunos de estos pueden ser letales en ambientes cerrados; también se debe tener cuidado de los líquidos lixiviados que deben ser recolectados para su tratamiento, de ahí la importancia de considerar el diseño y la construcción de una planta de tratamiento (Uicab-Brito y Sandoval, 2003).



Figura 1. Proceso de compostaje (Modificado de Ruiz-Figueroa, 2009).

En este contexto, el proceso de compostaje (Figura 1) se define como un proceso biológico controlado de conversión y valorización de residuos orgánicos en productos estabilizados (compost y lixivia-

dos). En términos prácticos, el compost es el producto final obtenido mediante el proceso de descomposición biológica de la materia orgánica, en condiciones controladas de humedad y temperatura; es inocuo y químicamente estable (Ruiz-Figueroa, 2009). Así, los sustratos complejos, como celulosa, proteínas, lípidos, etcétera, se hidrolizan en compuestos solubles (azúcares, aminoácidos y grasas) por la acción de enzimas extracelulares de las bacterias principalmente, mismos que son fermentados a ácidos grasos volátiles, alcoholes, hidrógeno y CO₂. Mientras tanto, los lixiviados, extractos o té de compost es la fracción líquida que se obtiene del proceso de compostaje, los cuales se producen directamente de las pilas y son ricos en elementos nutritivos y contienen microorganismos benéficos. Incluso están siendo utilizados para el control de plagas y enfermedades (Piccinini y Bortone, 1991). Sin embargo, la Norma Oficial Mexicana NOM-083- SEMARNAT-2003 y la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos en su artículo 5 fracción XVI definen a los lixiviados como el "líquido que se forma por la reacción, arrastre o filtrado de los materiales que constituyen los residuos y que contiene en forma disuelta o en suspensión, sustancias que pueden infiltrarse en los suelos o escurrirse fuera de los sitios en los que se depositan los residuos y que pueden contaminar el suelo y cuerpos de agua provocando deterioro, además de riesgos a la salud humana y otros organismos vivos".

La utilización del compost como biofertilizante se recomienda en suelos con bajo contenido de materia orgánica y suelos erosionados, y su aplicación dependerá del tipo de cultivo. Un compost joven, en proceso de descomposición, se emplea para plantas hortícolas de papa, maíz, tomate, pepino o calabaza que soportan bien este tipo de abono, mientras que uno maduro, es aquel cuya materia orgánica se ha estabilizado, y se puede utilizar en cultivos como cobertura, o no soporten materia orgánica fresca (Gordillo et al., 2011).

Producción de residuos agroindustriales en México

La producción de residuos agroindustriales depende del origen de la materia prima y proceso de transformación; sin embargo, coinciden en que tienen un alto contenido de materia orgánica en sus diferentes niveles de celulosa, lignina, hemicelulosa y pectina (Saval, 2012). Como ya se ha destacado, compostar dichos residuos proporciona una alternativa de aprovechamiento de los desperdicios orgánicos en productos útiles, dando al suelo efectos benéficos mediante la imitación de los procesos de descomposición que ocurren en el suelo de manera natural, pero de manera acelerada y dirigida. El Cuadro 1 muestra la clasificación de la industria alimentaria en México, según el INEGI (2012), relacionada con residuos agroindustriales con potencial para compostaje; asimismo, se muestran algunos ejemplos de formulación y aplicación del proceso de composteo utilizando resi-

Cuadro 1. Residuos agroindustriales de interés para la producción de compost.

Fuente	Tipo de residuo
Elaboración de alimentos para animales	Pastas proteicas Estiércol (explotaciones ganaderas) Lodos
Elaboración de productos lácteos	Suero Lodos de aguas residuales
Molienda de granos y de semillas y obtención de aceites y grasas	Pastas sólidas proteicas Residuos líquidos con alto contenido de grasa
Elaboración de azúcares, chocolates, dulces y similares	Caña de azúcar (bagazo, melazas, cachaza, cenizas, residuales líquidos, paja, cogollo)
Conservación de frutas, verduras y alimentos preparados	Residuos de material verde (tallos, hojas) Residuos líquidos de procesos de lavado
Matanza, empacado y procesamiento de carne de ganado, aves y otros animales comestibles	Sangre Contenido ruminal
Elaboración de productos de panadería y tortillas	Salvado
Otras industrias alimentarias	Destilerías (mostos residuales, vinaza)
Industria de las bebidas y del tabaco	Residuos líquidos de proceso de lavado Residuos de material verde (cáscaras, hojas, tallos, bagazo de frutas)

INEGI, Sistema de Cuentas Nacionales de México (SCNM) y SIREM (2014).

duos agroindustriales como materia prima principal.

Agroindustria azucarera

Entre los residuos del proceso de elaboración de azúcar de caña (*Saccharum* spp.) más importantes están el bagazo, cachaza y ceniza. El bagazo ha sido utilizado en múltiples ramas como alimento para la producción animal, materia prima para la producción de etanol, combustible, celulosa, papel y compost, entre otros. Matheus (2004) evaluó un compost o biofertilizante elaborado con desechos sólidos de la industria azucarera (cachaza y bagazo) mediante el proceso de biodegradación aerobia y el uso de una mezcla polienzimática, como catalizador del proceso para restaurar la fertilidad de un suelo degradado en el rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L.), encontrando que el mayor rendimiento en grano de maíz se obtuvo con la mezcla de 50% fertilizante químico (159 kg N ha⁻¹, 90 kg P₂O₅ ha⁻¹ y 90 kg K₂O ha⁻¹) y 2 t de biofertilizante ha⁻¹. Otros autores como Meunchang *et al.* (2005) realizaron estudios para determinar la rapidez con que la mezcla de cachaza y bagazo (2:1 v:v) se puede convertir en un producto estable y alcanzar la madurez adecuada para ser útil en la producción de cultivos sin la pérdida de N durante el proceso de compostaje, considerando como variable de calidad el índice de germinación (valores mayores a 80% se consideran un compost estable, maduro y exento de sustancias fitotóxicas).

Agroindustria del café

La agroindustria del café (*Coffea arabica* L.) es uno de los principales sectores de la economía de México, que tan solo utiliza 9.5% de fruto en la preparación de bebidas y el resto

(90.5 %) son subproductos y constituyen un problema de contaminación de suelo, agua y medio ambiente. Se han implementado tecnologías para minimizar este impacto, tales como su utilización como materia prima en la producción de concentrados para las industrias porcícolas y ganaderas, preparación de otras bebidas, vinagre, biogás, cafeína, pectinas, enzimas pépticas, proteínas y abonos. Algunos de los subproductos del proceso de transformación del cultivo del café (pulpa, mucílago, aguas mieles, borra del café, cascarilla o pergamino, hojarasca y leña) poseen una importante carga de nutrientes que pueden reutilizarse en el proceso de compostaje y ser aplicado como abono orgánico. Escobar *et al.* (2012) evaluaron la pulpa de café, desecho que se acumula por periodos largos y genera malos olores con diferentes tipos de abonos orgánicos (residuos de plátano, hojarasca, bovinaza o gallinaza), encontrando que el tratamiento con gallinaza obtuvo los mejores valores de calidad y mayor diversidad microbológica, necesaria para la producción de compost. Sin embargo, el proceso de compostaje de la pulpa de café tarda de cinco a nueve meses para realizar la bio-transformación, mineralización o degradación completa.

Agroindustria de la leche

Los sólidos y las aguas residuales derivados del procesamiento de productos lácteos son, en su mayoría, de origen orgánico (proteínas, carbohidratos, lípidos, aceites y grasas), con una alta demanda química y bioquímica de oxígeno (DQO y DBO), alta concentración de sólidos suspendidos y contenido de nitrito (Britz *et al.*, 2006). Benito *et al.*, (2003) indican que el proceso de compostaje es una alternativa para estabilizar los lodos generados mediante el proceso de descomposición de los residuos orgánicos, disminuyendo la actividad microbiana y los compuestos lábiles. Aunque en los últimos años el proceso de vermicompostaje, el cual implica la acción conjunta de lombrices de tierra y microorganismos para transformar sustancias orgánicas complejas ricas en energía y humus estabilizado, es la alternativa más viable para estabilizar este tipo de residuos agroindustriales (Domínguez, 2004). Mediante este proceso, Suthar *et al.* (2012) demostraron reducción significativa del pH, carbono orgánico, relación C:N y aumento sustancial del N total, P disponible y el K en lodos de aguas residuales de la industria procesadora de leche (60%) enriquecida con estiércol de vaca (10%), residuos frescos de caña de azúcar (30%) o paja de trigo (*Triticum* spp.) (30%), y obteniendo un producto con alto valor agregado para la reestructuración de suelos.

Agroindustria ganadera

En la industria ganadera el estiércol animal es otro de los componentes esenciales en el proceso de compostaje, destacando el de bovino (Figura 2), pollo (gallinaza) (Figura 3), conejo (conejina o sirle), caballo, oveja y purines porcinos (excremento lavado con agua). Estudios recientes sobre el uso de estiércol en combinación con residuos de cultivos y otros agroindustriales han sido investigados para probar su eficiencia en el uso del suelo con diferentes técnicas de composteo. Karak *et al.* (2014) demostraron el incremento de nutrientes y calidad del compost obtenido de la mezcla de estiércol de vaca (5.37%), montículos de termitas (3.16%) y residuos de cosecha [cacahuete (*Arachis hipogaea* L.) (22.86%), soya (*Glycine max* L.) (22.41%), papa (*Solanum tuberosum* L.) (22.60%), mostaza (*Brassica* spp.) (23.60%)].

Sellami *et al.* (2008) demostraron la mejora de la fertilidad del suelo al incrementar los niveles de P disponible y K mediante la evaluación del incremento en el rendimiento de papa de 30.5 a 37.5 t ha⁻¹, en comparación con utilizar solo estiércol, con una combinación de pasta sólida de oliva (*Olea europea* L.) (orujo, 4-9% de aceite), estiércol de aves (alto contenido de N) y residuos líquidos de la industria confitera altamente contaminantes por la concentración de azúcar. En general, el estiércol de cerdo contiene una gran cantidad de metales (Cu y Zn), que limitan su aplicación directa al suelo. Lu *et al.* (2014) demostró que el compost de estiércol de cerdo en combinación con paja de arroz y roca fosfórica (5%) redujeron la disponibilidad de los metales, afectando la especiación de los metales tóxicos mediante el aumento de pH y haciendo más estable y segura la adición de estiércol de porcino en el suelo. Por otra parte, Ruggieri *et al.* (2008) propusieron la biodegradación de grasas animales proveniente de las plantas de procesa-

miento de carnes en un proceso de compostaje con lodos de las aguas residuales, a fin de equilibrar la relación C:N, materia orgánica biode-

gradable y biomasa activa, alcanzando niveles de 92% de biodegradación, además de lograr la prevención de la formación de aglomerados y aumentar la duración del periodo termófilo del proceso de compostaje.

Agroindustria de frutas y hortalizas

Los residuos derivados de esta agroindustria, que incluye la elaboración de jugos, pulpas, mermeladas, conservas, deshidratación, congelación, confitado y fermentación de frutas y hortalizas, generan importantes cantidades de residuos lí-

quidos (sólidos suspendidos, materia orgánica disuelta, pesticidas, insectos, lechada soluble, jugos, hojas, tallos, etcétera) y sólidos (restos de fruta y hortalizas, frutas en mal estado, semillas, etcétera) con alta carga de material orgánico, pueden ser transformados en compost, o bien, a través de la digestión anaerobia

en biogás (mezcla de dióxido de carbono y metano) con alto poder calórico. La transformación en estos productos es de gran importancia, dado su carácter estacional, ya que se presenta una alta generación de contaminantes en un período relativamente breve. Muchos de estos desechos hortofrutícolas también se emplean como materia prima o "subproducto" para otros procesos de transformación, tales como la obtención de antioxidantes y flavonoides a partir de la epider-

mis de varias frutas (uva prensada, cáscara de cítricos, etcétera) o la utilización de compost de residuos de champiñón como medio de absorción de pesticidas y fuente de microorganismos para enjuagar insecticidas en diversos cultivos.



Figura 3. Gallinaza como subproducto de la industria avícola.



Figura 2. Recolección de estiércol en corrales de bovino de engorda.

Agroindustria de procesos de fermentación

La industria cervecera, vinícola y destilera se caracterizan por generar caudales variables de aguas residuales, vinazas y mostos con alta carga orgánica, pH bajos, alta relación C:N, polifenoles y un contenido significativo de P y K, factores importantes en la fertilidad del suelo; sin embargo, estos residuos tienen alto contenido de metales pesados, principalmente plomo (Bustamante *et al.*, 2008), y a menudo muestran una fuerte fitotoxicidad, atribuida a la presencia significativa de ácidos orgánicos (láctico y acético) y etanol. Una vez extraído el jugo, los desechos de uva (pastas sólidas/orujos) se han utilizado como materia prima para la fermentación y producción de enzimas hidrolíticas (celulasas, xilasas y pectinasas), usando *Aspergillus awamori* (Botella *et al.*, 2005), así como materia prima para procesos de compostaje, pero requiere de tratamientos previos para evitar efectos adversos, derivado de la liberación de varios productos de degradación que inhiben el crecimiento de las raíces (Inbar *et al.*, 1991). Estudios sobre el proceso de compostaje de residuos lignocelulósicos fraccionados en celulosa, hemicelulosa y lignina han demostrado la reducción de fitotoxicidad en residuos agroindustriales de la industria vinícola (Paradelo *et al.*, 2013). Los residuos líquidos de la agroindustria azucarera tienen gran cantidad de nutrientes y materia orgánica, por lo cual pueden ser utilizados como fertilizantes de suelos cañeros (fertilización), aunque es necesario verificar periódicamente la salinidad del suelo y analizar los residuos para determinar si necesitan un tratamiento previo a las descargas en cañadas, arroyos, ríos, etcétera (Basanta *et al.*, 2007).

Esquilmos agrícolas

Los esquilmos agrícolas han sido, por excelencia, componentes principales del proceso de compostaje, debido en gran parte a su influencia demostrada en la fertilidad del suelo, aunque su efecto depende de la composición química de los mismos y varía según su procedencia, edad, manejo y contenido de humedad (Uribe *et al.*, 2012). Torres *et al.* (2004) mostraron la eficiencia de transformar la fibra de raquis de racimos y efluentes de la agroindustria de la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en abono orgánico, tanto para solucionar el problema ambiental de este tipo de agroindustrias, como el de degradación de los suelos, sin dejar de lado la rentabilidad económica que genera la producción comercial del compost. En lo que respecta a los residuos de la agroindustria azucarera, presentan varias ventajas su naturaleza orgánica, su bio-degradabilidad y su potencial de reutilización; mediante el compostaje se puede con-

tribuir a la recuperación de suelos degradados, el mejoramiento de zonas afectadas por salinidad, la restauración de paisajes, la producción de proteína microbiana como fuente alternativa para la alimentación animal y la producción de sustratos para cultivos agrícolas y en viveros (Basanta *et al.*, 2007). Autores como Vicente *et al.* (1996) estudiaron la fermentación aerobia del bagazo de sorgo dulce (material con bajo contenido de macro y micronutrientes y alto contenido de materia orgánica) con mezcla de aditivos activadores ricos en N (bagazo de malta de cebada, sangre, estiércol, sedimentos producto de la fermentación del vino, celulosa, bio-enzima, nitrato amónico, nitrato potásico y nitrato de calcio) para la obtención de compost, registrando que la fuente más apta para ello es la utilización de sedimentos producto de la fermentación del vino y el bagazo de malta (*Hordeum vulgare* L.) y, en menor medida, el estiércol. En este sentido, Goyal *et al.* (2005) ratifica que la pérdida de nitrógeno durante el proceso de compostaje se produce en desechos que contienen alto contenido de N, como los de las aves de corral, con un efecto inicial de aumento en la relación C:N, seguido de una disminución drástica debido a su descomposición. La Figura 4 muestra el proceso de compostaje en condiciones de campo y uso de residuos orgánicos locales.

CONCLUSIÓN

Esta información sugiere que la producción de composta a partir de residuos agroindustriales es una alternativa potencial para generar materia orgánica estabilizada que permita mantener e incrementar el contenido de materia orgánica del suelo y aumentar su fertilidad. El manejo de los residuos agroindustriales por medio del compostaje reducirá elementos de contaminación ambiental, además de generar un compost con valor agregado, estable y útil en la agricultura. Sin embargo, para la obtención de un compost de calidad se debe considerar cuidadosamente la naturaleza y origen de los residuos.

LITERATURA CITADA

- Alonso J.L., Domínguez H., Garrote G., González-Muñoz M.J., Gullón B., Moure A., Santos V., Vila, C., Yáñez R. 2011. Biorefinery processes for the integral valorization of agroindustrial and forestall wastes. *CyTA-Journal of Food*. 9(4):282-289.
- Arvanitoyannis J.S. 2008. Potential and representatives for application of environmental management system (EMS) to food industries. *In: Waste Management for the food industry*. Food Science and Technology, International series. Elsevier. USA. pp. 3-38.
- Basanta R., García D.M.A., Cervantes M.J.E., Mata V.H., Bustos V.G. 2007. Sostenibilidad del reciclaje de residuos de la agroindustria



Figura 4. A: Elaboración de composta a base de pasto estrella con estiércol equino y bovino. B: Elaboración de composta con residuos agrícolas y estiércol de bovino, para la producción de hortalizas.

azucarera: una revisión. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*. 5(4):293-305.

Benito M., Masaguer A., Moliner A., Arrigo N., Palma R. M. 2003. Chemical and microbiological parameters for the characterization of the stability and maturity of pruning waste compost. *Biology and Fertility of Soils*. 37(3):184-189.

Botella C., De Ory I., Webb C., Cantero D., Blandino A. 2005. Hydrolytic enzyme production by *Aspergillus awamori* on grape pomace. *Biochemical Engineering Journal*. 26 (2-3):100-106.

Britz T.J., Van Schdkwyk C., Hung Y.T. 2006. Treatment of dairy processing waste water. *In: Waste Treatment in the Food Processing Industry*. Yapijakis, C., Hung, Y.T., Lo, H.H. and Wang, L.K. (Eds). CRC Press, New York, pp. 1-28.

Bustamante M.A., Moral R., Paredes C., Vargas-García F., Suárez-Estrella F., Moreno, J. 2008. Evolution of the pathogen content during co-composting of winery and distillery wastes. *Bioresource Technology*. 99(15):7299-7306.

Escobar E.N., Mora D.J., Romero J.N.J. 2012. Identificación de poblaciones microbianas en compost de residuos orgánicos de fincas cafeteras. *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural*. 16(1):75-88.

Dominguez J. 2004. State of the art and new perspectives on vermicomposting research. *In: CA Edwards (ed) Earthworm Ecology (2nd edition)*. CRC Press LLC. pp 401-424.

Gordillo F., Peralta E., Chávez E., Contreras V., Campuzano A., Ruiz O. 2011. Producción y evaluación del proceso de compostaje a partir de desechos agroindustriales de *Saccharum officinarum* (caña de azúcar). *Revista de Investigaciones Agropecuarias*. 37(2):140-149.

Goyal S., Dhull S.K., Kapoor K.K. 2005. Chemical and biological changes during composting of different organic wastes and assessment of compost maturity. *Bioresource Technology*. 96:1584-1591.

Inbar Y., Chen Y., Hadar Y. 1991. Carbon-13 CPMAS NMR and FTIR spectroscopic analysis of organic matter transformations during composting of solid wastes from wineries. *Soil Science*. 152: 272-282.

INEGI. 2012. Sistema de Cuentas Nacionales de México. Cuentas de bienes y servicios.

Karak T., Sonar I., Ranjit K.P., Das S., Boruah R.K, Dutta A.K., Das D.K. 2014. Composting of cow dung and crop residues using termite mounds as bulking agent. *Bioresource Technology*. 169:731-741

Lu D., Wang L., Yan B., Ou Y., Guan J., Bian Y., Zhang Y. 2014. Speciation of Cu and Zn during composting of pig manure amended with rock phosphate. *Waste Management*. 34:1529-1536.

Matheus L.J.E. 2004. Evaluación agronómica del uso de compost de residuos de la industria azucarera (biofertilizante) en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). *Nota Técnica. Bioagro*. 16(3):219-224.

Meunchang S., Panichsakpatana S., Weaver R.W. 2005. Co-composting of filter cake and bagasse; by-products from a sugar mill. *Bioresource Technology*. 96:437-442

Ozores-Hampton M., Stansly P.A., Salame T.P. 2011. Soil chemical, physical, and biological properties of a sandy soil subjected to long-term organic amendments. *Journal of Sustainable Agriculture*. 35: 243-259.

Paradelo R., Moldes A.B., Barral M.T. 2013. Evolution of organic matter during the mesophilic composting of lignocellulosic winery wastes. *Journal of Environmental Management*. 116:18-26.

Pepe O., Ventrino V., Blaiotta G. 2013. Dynamic of functional microbial groups during mesophilic composting of agro-industrial wastes and free-living (N₂)-fixing bacteria application. *Waste Management*. 33:1616-1625.

Piccinini S., Bortone G. 1991. The fertilizer value of agriculture manure: simple rapid methods of assessment. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 49: 197-208.

Ruggieri L., Artola A., Gea T., Sánchez A. 2008. Biodegradation of animal fats in a co-composting process with wastewater sludge. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 62:297-303.

Ruiz-Figueroa J.F. 2009. *Ingeniería del compostaje*. Universidad Autónoma Chapingo. ISBN: 978-607-12-0049-5. 237 p.

SAGARPA. 2013. *Monitor Agroeconómico e Indicadores de la Agroindustria*.

Saval S. 2012. Aprovechamiento de Residuos Agroindustriales: Pasado, Presente y Futuro. *Bio-Tecnología*. 16(2):14-46

Sellami F., Jarbouli R., Hachicha S., Medhioub K., Ammar E. 2008. Co-composting of oil exhausted olive-cake, poultry manure and industrial residues of agro-food activity for soil amendment. *Bioresource Technology*. 99:1177-1188.

- Suthar S., Mutiyar P.K., Singh S. 2012. Vermicomposting of milk processing industry sludge spiked with plant wastes. *Bioresource Technology*. 116:214-219.
- Torres R., Acosta A., Chinchilla C. 2004. Proyecto comercial de compostaje de los desechos agroindustriales de la palma aceitera. *Palmas*. 25(2):377-387.
- Uicab-Brito L.A., Sandoval C.C.A. 2003. Uso del contenido ruminal y algunos residuos de la industria cárnica en la elaboración de composta. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 2(2):45-63.
- Uribe S., Jesús K., Uribe M. 2012. Evaluación de lixiviados de composta y vermicomposta de residuos agropecuarios como mecanismo de fertilización y control de enfermedades en cultivos tropicales. Nota científica. Universidad Politécnica del Centro. Tabasco. México.
- Vicente J., Carrasco J.E., Negro M.J. 1996. El compostaje como tecnología para el tratamiento de residuos: compostaje de bagazo de sorgo dulce con diferentes fuentes nitrogenadas. Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas. Ed. Ciemat. Madrid, España. Informe Técnico No. 802. 49 p.

