

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE RESIDUOS ORGÁNICOS PARA UTILIZARSE COMO ABONO O SUSTITUTO DE FERTILIZANTES QUÍMICOS

Juana María Castro Servín

*Centro de Estudios Científicos y Tecnológicos “Miguel Othón de Mendizábal”
Instituto Politécnico Nacional
castrojm@hotmail.com*

Teresa María Cristina Camarena Jiménez

*Centro de Estudios Científicos y Tecnológicos “Miguel Othón de Mendizábal”
Instituto Politécnico Nacional
teresacamarena@yahoo.com.mx*

María Margarita Pérez Arrieta

*Centro de Estudios Científicos y Tecnológicos “Miguel Othón de Mendizábal”
Instituto Politécnico Nacional
margarrieta@hotmail.com*

Jorge Ruíz Sánchez

*Universidad Tecnológica de México
jersuam@hotmail.com*

Resumen

En nuestro país se genera una gran cantidad de residuos orgánicos que se desechan a rellenos sanitarios o tiraderos a cielo abierto provocando daño ambiental. La fermentación en estado sólido es una alternativa de reutilizarlos como materia prima para la producción de compuestos o como abono para el mejoramiento de suelos. El propósito del estudio fue realizar determinaciones físicas y químicas a residuos orgánicos obtenidos de diferentes fuentes, a fin de evaluar si reúnen las características adecuadas para ser aplicados como sustratos alternativos en el crecimiento de vegetales o mejoradores de suelo. De los análisis realizados se observó que las compostas presentaron características físicas y químicas deseables para ser utilizadas como abono en áreas verdes, agricultura y reforestación, y los residuos orgánicos como los estiércoles pueden utilizarse como materia prima para fermentación en estado sólido o composteo y mejoradores de suelo. En cambio, se determinó que los lodos provenientes de una planta de tratamiento no deben ser utilizados como mejoradores de suelo debido a las características presentadas en el análisis.

Palabras clave: Fermentación en estado sólido, composta, residuos sólidos, residuos orgánicos.

Las diferentes actividades productivas que desarrollan las sociedades generan una serie de residuos sólidos, líquidos o gaseosos que pueden tener efectos negativos sobre el

ambiente y la salud humana, (SEMARNAT, 2005). De acuerdo a la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (Ley General para la Prevención y Gestión

Integral de Residuos, 2015), “un residuo es aquel material desechado por el propietario, que se encuentra en estado sólido, líquido o gas y que puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a un tratamiento o disposición final”. Con el fin de identificar que residuos pueden ser aprovechados, se les ha clasificado en tres grupos: residuos sólidos urbanos (RSU), residuos de manejo especial (RME), y residuos peligrosos (RP); a su vez, cada uno de ellos se divide en residuos orgánicos e inorgánicos, de acuerdo al tiempo en que tardan en degradarse.

Los residuos orgánicos son aquellos componentes sólidos que se degradan por medio de la bioquímica de las fermentaciones de forma natural y no tardan mucho tiempo en ser transformados como flores, pasto, hojarasca, ramas restos de comida, fruta, verdura, cáscaras, café, etc. Estos residuos se pueden procesar para convertirlos en abono o fertilizante para plantas. En cambio, los residuos inorgánicos, son materiales que por sus características químicas tardan mucho tiempo en degradarse como los plásticos, latas, vidrios, papel, envases, entre otros, (NADF-024-AMBT-2013 y López, 2014).

En México, poco más de la mitad de los residuos generados son de naturaleza orgánica, 52.4%, (residuos de comida, jardines y materiales orgánicos similares), correspondiendo el 47.6% restante a residuos inorgánicos como el papel y cartón (13.8%), plásticos (10.9%), vidrios (5.9 %), textiles (1.4%), aluminio (1.7%), metales ferrosos (1.1%) y otros metales no ferrosos (0.6%). (SEMARNAT, 2012).

La importancia de contar con un porcentaje alto de residuos orgánicos es benéfico ya que los nutrientes se pueden reincorporar al ciclo de fertilización del suelo mediante tratamientos adecuados, contribuyendo a

conservar y reducir la demanda de recursos naturales forestales, disminuir el consumo de energía, preservar los sitios de disposición final y reducir sus costos, así como reducir la contaminación ambiental al disminuir la cantidad de residuos que van a los sitios de disposición final o que simplemente son dispuestos en cualquier sitio contaminando el ambiente.

Los residuos orgánicos pueden aprovecharse en diferentes actividades cuando reciben un tratamiento adecuado: en la alimentación animal, proceso de compostaje, lombricultura, biocombustibles, biofertilizantes y biofermentos a base de excretas de ganado vacuno o de frutas. En el caso de los biofertilizantes, estos permiten aumentar el contenido de nutrientes en el suelo o la disponibilidad de los mismos. Esta propiedad se puede aprovechar entre otras cosas, para aumentar las posibilidades de producción de viveros y jardines en zonas urbanas o poblaciones en proceso de crecimiento que no cuenten con terrenos fértiles para ello, (Jaramillo y Zapata, 2008).

Una alternativa biotecnológica para el aprovechamiento de residuos agroindustriales es la fermentación en estado sólido (FES), la cual se define como un proceso microbiológico que ocurre comúnmente en la superficie de materiales sólidos que tienen la propiedad de absorber y contener agua, con o sin nutrientes solubles, (Viniegra-González, 1997). Pandey *et al.*, 1999, lo definen como un proceso de fermentación que se produce en ausencia o casi ausencia de líquido libre, empleando un sustrato inerte o un sustrato natural como un apoyo sólido.

La FES se ha convertido en una tecnología potencial para la producción de productos microbianos como combustibles, alimentos, productos químicos industriales y productos

farmacéuticos. Su aplicación en bioprocesos como la biolixiviación, biorremediación de suelos contaminados, tratamiento de residuos industriales, entre otros, ha ofrecido varias ventajas. La utilización de residuos agroindustriales como sustratos en los procesos de FES proporciona una alternativa y una adición de valor a estos residuos que de otro modo no serían utilizados, (Aidoo *et al.*, 1982; Pastrana, 1996; Robinson *et al.*, 2001; Krishna, 2005; Arvanitoyannis, I. S. 2008).

El composteo es una FES de residuos orgánicos y da información de las características del agua y los materiales utilizados para su producción. Dependiendo del uso de la composta y residuo se puede conocer si son apropiados o no. No se pueden comparar directamente con fertilizantes de origen mineral ya que no producirán la misma respuesta sobre el crecimiento vegetal. La norma mexicana de la ciudad de México, NADF-020-AMBT-2011, establece tres tipos de composta en función de la calidad y uso que se les puede dar denominadas como A, B y C.

Existen muchos materiales naturales o subproductos de la agroindustria que reciben un tratamiento de “compostaje” para ser aptos para el cultivo y mejorar los sustratos para el desarrollo óptimo de vegetales. La selección del material se basa en la función que se requiera, el costo y disponibilidad. Entre los subproductos susceptibles de ser utilizados para compostaje y posterior uso como sustrato se pueden encontrar: la fibra de coco, corteza de árboles, residuos madereros en general, estiércoles, cortezas, lodos de depuración de aguas, paja de cereales y residuos sólidos urbanos, entre otros, (Martínez y Roca, 2011; Alvarado y Solano, 2012).

En México, la mayor parte de los sustratos usados en la producción de plantas ornamentales en contenedores, se componen

principalmente de tierra de monte y turba (*peat moss*). Estudios recientes han indicado que el suelo de monte solo o combinado con diferentes materiales (arena de río o perlita) es un sustrato adecuado para la producción de plántulas de hortalizas, plantas ornamentales en maceta y plantas forestales. Sin embargo, si se considera que actualmente se cultivan en México alrededor de 3075 hectáreas de plantas ornamentales en contenedores, las cuales ocupan aproximadamente 500 000 m³ de sustrato, el uso de suelo de monte como principal componente de estos sustratos ocasiona un impacto ambiental indeseable, (García *et al.*, 2001).

Por lo anterior, el presente trabajo tiene como finalidad realizar determinaciones físicas y químicas de residuos orgánicos obtenidos de diferentes fuentes, a fin de evaluar si reúnen las características adecuadas para ser aplicados como sustratos alternativos en el crecimiento de plantas ornamentales, lo que permitirá valorar a su vez, la aplicación de nuevos materiales basados en subproductos reciclables que permitan disminuir el uso de otros sustratos de alto precio que actualmente se están usando.

Objetivo general

Analizar fisicoquímicamente diversos residuos orgánicos sometidos a un proceso de fermentación en estado sólido para utilizarse como sustrato, abono o sustituto parcial o total de fertilizantes químicos inorgánicos.

Objetivos específicos

Recolectar residuos orgánicos procesados por fermentación en estado sólido o sin procesar a partir de diferentes fuentes.

Analizar los residuos orgánicos con técnicas estándar para su uso como abono.

Metodología

Los residuos orgánicos fueron recolectados y donados de diversos lugares domésticos, industriales y comerciales. En la tabla 1 se observan dichos residuos numerados para su análisis así como su procedencia. Las muestras se recolectaron y almacenaron en bolsas de polietileno, molidas y tamizadas en una malla de 5 mm de poro.

Los residuos se analizaron en los laboratorios del Centro de Estudios Científicos y Tecnológicos No. 6 “Miguel Othón de Mendizábal” del Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México.

Los análisis físicos y químicos realizados fueron: contenido de humedad (H), pH en agua (proporción 1:5 (P/V), materia orgánica (MO), nitrógeno total (N), fósforo (P), potasio (K), densidad aparente (Da), conductividad eléctrica (CE) y capacidad de intercambio catiónico (CIC), de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000.

La relación carbono-nitrógeno (C/N) se realizó con base en la Norma NMX-AA-067-1985 y el espacio poroso (EP) de acuerdo al método reportado por Dane, 2002.

Tabla 1. Tipo y origen de los residuos orgánicos.

No	Residuo	Origen *
1	Composta de diversos residuos orgánicos.	Recolección de hogares.
2	Composta de residuos de hongos del género <i>Agaricus</i> .	Productor de champiñón enlatado.
3	Vermicomposta de flores.	Comerciante de flores.
4	Bagazo de coco.	Proveedor de agua de coco.
5	Bagazo de café.	Productor de café. ***
6	Composta de aserrín.	Aserradero.
7	Lodos de planta de tratamiento de agua de uso doméstico.	Planta de tratamiento. **
8	Estiércol de vaca.	Productor de leche.
9	Estiércol de caballo.	Productor de equinos.
10	Estiércol de conejo.	Criadero cunícola para alimento de mascotas.
11	Cono molido.	Residuos navideños.
12	Corteza de árboles.	Aserradero.
13	Suelo de montaña.	Vivero de Chalco.
14	Turba de Musgo (peat moss).	Producto de importación. ****
15	Suelo agrícola.	Productor de flores en Xochimilco.

* Ciudad México, ** Toluca, México, *** Sur de México y **** Canadá.

Resultados y discusión

En la tabla 2, se muestran los valores obtenidos de los análisis físicos y químicos realizados a los residuos. Los residuos se dividieron para su análisis en compostas, residuos orgánicos y suelos. La humedad se determinó inmediatamente de recibidas las

muestras y todos los análisis se reportaron en base seca.

El rango óptimo de humedad inicial en un proceso de compostaje debe ser de 40 a 60 % y durante el proceso no debe sobrepasar del 70% para evitar escurrimientos. En lo que respecta a los residuos analizados, el residuo 2, así como del 6 al 10 y 14 mostraron valores de humedad altos, entre 75% a 98%, excediendo los valores óptimos del 70%. Además se observó que las compostas (residuos 2 y 6) se tendrán que secar antes de ser utilizadas para mantener su calidad si se quieren aplicar en cultivos o suelo. El resto de los residuos mostraron valores óptimos de humedad.

El valor de pH de la composta y de los residuos es fundamental para el desarrollo de vegetales y calidad del suelo. La totalidad de las compostas analizadas presentaron valores de pH de 5.2 a 6.7, es decir, características ácidas. El pH ideal dependerá del uso que se le dé a la composta y de la especie vegetal a establecer. Las compostas de pH bajo se prefieren para plantas de tipo forestal, a valores neutros se adaptan mejor las plantas de tipo ornamental y plantaciones agrícolas, y los medios alcalinos son más adecuados para especies halófilas.

En lo que respecta a los residuos orgánicos, el 11, 12, 13, 14 y 15 presentaron valores ligeramente ácidos, salvo los residuos 8, 9 y 10 que corresponden a los estiércoles de vaca, caballo y conejo, cuyos valores fueron de ligeramente alcalinos a fuertemente alcalinos, por lo que se sugiere no utilizarlos directamente sobre los cultivos.

Los valores de conductividad eléctrica (CE) indican la cantidad de sales solubles que están presentes en el suelo y en la composta. De acuerdo a la literatura, los valores normales en

una composta son de 1 a 10 mS/cm. Alta salinidad en el suelo puede ser perjudicial para el cultivo de vegetales. Los valores adecuados dependen de cada tipo de suelo y de los vegetales que la requieran. Para ajustar los valores se puede mezclar composta con suelo. Todos los residuos analizados presentaron valores de CE recomendables, desde 0.25 a 3.9 mS/cm, mostrando un efecto moderadamente salino.

En cuanto a la materia orgánica (MO), no se tiene un valor ideal de este parámetro en la composta y en el suelo. Para realizar la composta la cantidad de MO inicial es de alrededor del 60 % en base seca, mientras que al terminar el proceso de composteo debe estar entre 30 y 70 %, aunque se puede considerar muy bueno si está entre 50 y 60 % en base seca. En este estudio las compostas (residuos 1 al 6) tuvieron valores bajos de MO, excepto la composta de residuo de café (residuo 5) que mostró un valor alto de 82.2%. Para los residuos orgánicos y de suelos (residuos 7 a 15), también se observaron valores bajos de MO, sin embargo, el *peat moss* (residuo 14) mostró valores muy altos, de 90.5%.

La cantidad de nitrógeno en las compostas incluye el nitrógeno orgánico, iones amonio y nitratos. El nitrógeno total en la materia prima debe tener menos del 1 % y hasta el 5 %; y de 0.5 a 2.5 % en peso en base seca al final del composteo. En lo que respecta a la cantidad de nitratos y de iones amonio, los primeros se encuentran bajos al inicio y altos final del proceso y los iones amonio son altos al inicio y bajos al final del composteo. El nitrógeno orgánico es determinado restando al N total la cantidad de iones amonio y nitratos. Sin embargo, dado que los niveles de nitratos son generalmente menores, la resta de los valores de los iones de amoniaco al N total da una buena estimación del N orgánico. Los valores de nitrógeno inorgánico son inmediatamente

viales para los vegetales mientras los orgánicos son menos viables utilizándose del 10 a 20 % de nitrógeno anual. Sin embargo si se quisiera mineralizar el nitrógeno orgánico dependerá de la relación C/N, humedad y temperatura del suelo.

Como se observa en la tabla 2, la cantidad de nitrógeno total en todos los residuos analizados (residuos 1 a 15) se encuentran en valores desde 0.17% hasta 2.5%, rangos considerados óptimos para compostas, excepto en los lodos de la planta de tratamiento (residuo 7), donde se determinaron valores altos de nitrógeno de 4.10%.

Tabla 2. Características físicas y químicas de los diferentes residuos.

Residuo	H (%)	Da (g/cm ³)	EP (%)	pH 1:5 (P/V)	CE (mS/cm)	MO (%)	N (%)	C/N	P x 10 ⁻⁴ (%)	K x 10 ⁻⁴ (%)	CIC (meq/100 g de residuo)
1	50	0.73	69.6	6.6	0.85	23.2	0.65	20.7	29.1	0.011	27.7
2	75	1.00	58.3	6.7	1.20	25.3	1.12	13.1	28.5	0.113	125.0
3	45	0.49	79.6	5.2	1.00	23.5	0.80	17.4	140.0	0.047	84.0
4	49	0.16	93.3	5.7	0.67	12.8	0.32	23.2	22.6	0.005	50.5
5	43	0.50	73.7	5.6	0.45	82.2	2.50	20.1	36.8	0.059	68.2
6	76	0.29	87.9	4.1	0.55	10.2	0.17	34.8	18.7	0.012	35.4
7	98	1.10	42.1	7.0	1.50	35.0	4.10	8.50	215.2	0.051	234.0
8	90	0.61	53.1	9.8	3.00	31.3	1.43	12.7	76.2	0.086	124.0
9	87	0.31	87.1	10.1	3.90	22.6	1.02	12.9	69.2	0.023	36.7
10	81	0.30	76.9	8.3	2.50	63.4	2.20	28.8	48.9	0.078	273.0
11	40	0.27	88.7	6.3	1.10	11.2	0.34	19.1	8.30	0.020	31.2
12	37	0.37	85.6	4.9	0.37	9.20	0.70	7.60	4.80	0.030	57.8
13	21	0.50	77.5	6.5	0.40	13.8	0.60	14.3	10.7	0.035	64.0
14	98	0.20	89.5	4.3	0.25	90.5	1.10	46.9	15.8	0.020	124.0
15	18	0.70	74.0	5.5	0.28	4.70	0.22	12.4	29.4	0.070	26.2

Residuos: (1) composta de residuos orgánicos, (2) composta del residuo de hongos del género *Agaricus*, (3) vermicomposta de flores, (4) bagazo de coco, (5) bagazo de café, (6) composta de aserrín, (7) lodos de planta de tratamiento de agua de uso doméstico, (8) estiércol de vaca, (9) estiércol de caballo, (10) estiércol de conejo, (11) cono molido, (12) corteza de árboles, (13) suelo de montaña, (14) turba de musgo, (15) suelo agrícola.

La relación C/N es una buena medida de la estabilidad y el N de la viabilidad de la composta. Si al inicio del composteo la relación C/N es mayor de 25, ésta bajará durante el proceso de composteo, pero si la relación de C/N es menor de 15 se incrementará porque el N puede perderse al inicio del proceso. Si la relación C/N de la composta es mayor de 30 y es aplicada en suelo el N se inmovilizará ligeramente, mientras que si es menor de 20 el N se mineralizará a la forma inorgánica para que sea utilizado por los vegetales. En este estudio se observó que la mayoría de los residuos tienen relaciones de C/N menores o cercanos a 20, excepto la composta de aserrín (residuo 6) y el *peat moss* (residuo 14) cuyos valores obtenidos fueron respectivamente de 34.8 y 46.9.

El P y K se reportan generalmente en la forma de P_2O_5 y K_2O . Si los valores de estos elementos se reportan en porcentaje se deberán multiplicar por 2.2919 y 1.2046 respectivamente, para que estén en forma de P_2O_5 y K_2O , esto debido al porcentaje de los elementos en cada molécula.

Si se adiciona composta al suelo (con base a la cantidad de N) generalmente se tendrá un exceso de P y K que no consumen los vegetales. En la primera aplicación, generalmente el P se precipita formando fosfatos de aluminio, calcio y hierro. Si se utiliza la composta en varias ocasiones estos elementos tienden a acumularse sobre los valores necesarios. Para solucionar esto, es necesario hacer rotaciones de cultivos y/o sembrar brócoli ya que puede remover aproximadamente 11 Kg de P/ hectárea. De esta forma se puede mantener en los valores óptimos que son aproximadamente de 56 Kg de P / hectárea.

La cantidad de P en todos los residuos orgánicos analizados fue mayor que los de K, observándose una diversidad de valores entre ellos. Sin embargo, dichos residuos no elevarán drásticamente los niveles de P y K si son utilizados en suelo, dado que los valores obtenidos se encuentran dentro de los rangos óptimos, además la presencia de ellos a ciertos niveles son importantes por ser macronutrientes para los vegetales.

La Da representa la relación entre las partículas de suelo y el espacio poroso (EP), permite evaluar la resistencia del suelo a la elongación de las raíces de los vegetales. A menor EP la DA aumenta y viceversa. La Da varía con la textura del suelo y el contenido de materia orgánica; puede variar estacionalmente por efecto de labranzas y con la humedad del suelo sobre todo en los suelos arcillosos. Los valores entre 0.1 y 0.7 g/cm^3 son comunes para suelos orgánicos y valores de 1.0 a 2.0 g/cm^3 para suelos minerales.

Los residuos analizados que presentaron menor DA tienen el mayor valor de EP. La totalidad de las muestras presentaron Da dentro de los intervalos óptimos, excepto la composta del residuo de hongos del género *Agaricus* y el residuo de lodos de una planta de tratamiento de agua (residuos 2 y 7) quienes presentaron Da altas de 1 y 1.1 g/cm^3 , respectivamente. Estos residuos se pueden combinar con materia orgánica para incrementar el EP y disminuir la DA.

La CIC es una medida de la fertilidad del suelo debido a que las cargas positivas estabilizarán a las negativas que se encuentran en él. Estas cargas dependen de los iones que se encuentran en el aire, agua, fertilizantes, entre otros, y pueden ser intercambiados por contaminantes localizados en el ambiente mediante reacciones químicas que se dan en los diferentes tipos de suelo.

Las cargas eléctricas se encuentran en la superficie de las partículas debido a los cationes y aniones presentes siendo fundamentales para la nutrición vegetal. La cantidad de estos iones es influenciada por el pH, tipos de suelo y muchos otros factores químicos y biológicos pudiendo hacer un efecto tampón o de amortiguamiento del suelo. Los valores de CIC varían según la textura de los distintos suelos, siendo de 3-20 meq/100 g suelo para arenas, de 20-50 para arcillosos y de 50-100 para suelos orgánicos. En general, en la mayoría de suelos la CIC aumenta cuando se incrementan los valores de pH, los valores altos son deseables en los mejoradores de suelo y en suelos más fértiles, puesto que mantienen una reserva de fertilidad para el crecimiento de los vegetales.

En los análisis realizados se observó que las compostas 2 y 3 así como los residuos orgánicos 7, 8, 10 y 14 presentaron valores altos de CIC, siendo los residuos 1, 11 y 15 los que mostraron los valores más bajos; sin embargo, ningún residuo tuvo un valor tan bajo que implicara que no pueda agregarse al suelo.

Conclusiones

Los resultados obtenidos en las compostas (residuos 1 al 6), presentaron características físicas y químicas deseables para ser utilizadas como abono en áreas verdes, agricultura y reforestación. En cambio, el residuo 7 que corresponde a los lodos de una planta de tratamiento, no puede ser empleada como mejorador de suelo, dado que sus características de humedad, densidad aparente, espacio poroso y relación de carbono-nitrógeno no son adecuados.

Se comprobó que el estiércol de vaca (residuo 8), de caballo (residuo 9) y de conejo (residuo 10), así como el cono molido (residuo

11) y corteza de árbol (residuo 12) pueden ser útiles como materia prima en el proceso de composteo y la turba de musgo (residuo 13) puede utilizarse como sustrato vegetal.

Se determinó que los residuos de suelo de montaña (residuo 13) y suelo agrícola (residuo 15) pueden mejorarse para ser utilizados como medio de crecimiento de vegetales con la adición de abonos o biofertilizantes.

Las compostas analizadas pueden sustituir a los fertilizantes químicos u otros sustratos de alto precio, que actualmente se están utilizando para mejorar las propiedades del suelo. Además los estiércoles estudiados se pueden reutilizar como materia prima acondicionándolos con otros materiales para ser aplicados en diferentes actividades productivas.

Referencias

- Aidoo K. E., Hendry R. y Wood B. J. B., (1982). Solid substrate fermentations. *Advanced Applied Microbiology*. 28: 201-237.
- Alvarado V. M. y Solano S. J. A., (2002). Producción de sustratos para viveros. Proyecto VIFINEX- Costa Rica.
- Arvanitoyannis, I. S., (2008). Waste Management for the Food Industries, A volumen in *Food Science and Technology*, 6:345-410.
- Dane, J. H., y C. G. Topp., (2002). Methods of Soil Analysis: Part 4 Physical Methods. SSSA Book Ser. 5.4. SSSA, Madison, WI.
- Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos. (2015). Nueva ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 8 de octubre de 2003 y reformada el 22 de mayo de 2015. México.
- García C. O., Alcántar G. G., Cabrera R. I., Gavi R. F. y Volke H. V. (2001). Evaluación de sustratos para la producción de *Epipremnum aureum* y

Spathiphyllum wallisii cultivadas en maceta. *Terra*, 19(3): 249-258.

Jaramillo, H. G. y Zapata M. L. M., (2008). Monografía de aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia. Facultad de Ingeniería, Posgrados de Ambiental. Especialización en Gestión Ambiental.

Keller, T. y Håkansson, I., (2010). Estimation of reference bulk density from soil particle size distribution and soil organic matter content, *Geoderma*, 154:398–406.

Krishna C., (2005) Solid-state fermentation systems - An Overview. *Critical Review Biotechnology*, 25: 1-30.

López, M. G., (2014). Plan de manejo integral de residuos sólidos para hipermercados. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de México.

Martínez P. F. y Roca, D., (2011). Sustratos para el cultivo sin suelo. Materiales, propiedades y manejo. En: Flórez R.V.J. (Ed.). Sustratos, manejo del clima, automatización y control en sistemas de cultivo sin suelo. Bogotá: Editorial Universidad Nacional de Colombia. pp. 37-77.

NADF- 020-AMBT-2011, Norma ambiental para el Distrito Federal que establece los 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., publicada en la Gaceta Oficial del Distrito Federal, el 22 de abril de 2003 y reformada el 10 de febrero de 2004.

NADF-024-AMBT-2013. Norma ambiental para el Distrito Federal, que establece los criterios y especificaciones técnicas bajo los cuales se deberá realizar la separación, clasificación, recolección selectiva y almacenamiento de los residuos del Distrito Federal. Gaceta Oficial del Distrito Federal, publicada el 8 de Julio de 2015.

NMX-AA-067-1985. Protección al ambiente - contaminación del suelo - residuos sólidos municipales - determinación de la relación carbono/nitrógeno.

NOM-021-RECNAT-2000. Que establece las especificaciones de estabilidad, salinidad y clasificación de suelos, Estudios, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación. México. 17 de octubre de 2000.

Pandey, A., Selvakumar, P., Soccol, C. y Nigam, P., (1999). Solid state fermentation for the production of industrial enzymes. *Current Science* 77, 149–162.

Pastrana, L., (1996). Fundamentos de la fermentación en estado sólido y aplicación a la industria alimentaria. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 1:3, 4-12.

INIFAP. Publicación especial número. 28. Durango, Dgo. México. pag.12.

Robinson T., Sigh D. y Nigan P. (2001) Solid-state fermentation: a promising microbial technology for secondary metabolite production. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 55: 284-89.

SEMARNAT., (2005). Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental. Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas. México. En: <https://es.scribd.com/presentation/261778941/Generacion-de-Residuos-Solidos-en-Mexico>.

SEMARNAT. (2012). Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales. Indicadores clave y de desempeño ambiental. Capítulo 7: Residuos, p. 325.

Viniegra-González G. (1997). Solid-State Fermentation: Definition, characteristics, limitations and monitoring. in: Advances in solid-state fermentation. S. Roussos, B.K. Lonsane, M. Raimbault, G. Viniegra- González (Eds.), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands pp. 5-22.