

## CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DEL LIXIVIADO GENERADO DEL COMPOSTAJE DE EXCRETA PORCINA PARA SU USO COMO ABONO ORGÁNICO

Elizabeth Cruz, R.E. Almaguel y Zhenia Reyes

Instituto de Investigaciones Porcinas Gaveta. Postal No.1, Punta Brava. La Habana, Cuba  
email: ecruz@iip.geg.cu

### RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue caracterizar desde el punto de vista físico-químico y microbiológico el lixiviado generado del compostaje de excreta porcina con bagacillo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) y heno de gramíneas, pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) y pangola (*Digitaria decumbens* Stent), para su uso como abono orgánico por los pequeños productores porcinos del sector campesino y cooperativo de Cuba. Para el compostaje se utilizó 90 kg de bagacillo de caña de azúcar, 90 kg de heno y 40 kg de excreta porcina. Los parámetros físico-químicos evaluados fueron: nitrógeno total, materia orgánica, fósforo total, potasio, pH y temperatura. Los indicadores microbiológicos medidos fueron: *Salmonella* spp., coliformes totales, coliformes fecales y huevos de helmintos viables.

Se observó la presencia de cuatro etapas dependiendo de la evolución de la temperatura durante el proceso. Los resultados del análisis físico-químico del lixiviado se encuentran dentro de los límites permisibles según la norma del Ministerio de la Agricultura de Cuba, sobre la calidad de abonos orgánicos, nitrógeno (2.10), fósforo (1.3) y potasio (0.7). No hubo presencia de *Salmonella* spp., y se observó una baja población de *Escherichia coli*. Comparando los resultados obtenidos con los estándares establecidos internacionalmente es posible la utilización de estos productos como abono orgánico, teniendo en cuenta las medidas de seguridad y protección establecidas.

**Palabras claves:** compost, lixiviados, residuales porcinos

### PHYSICAL-CHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL CHARACTERIZATION OF THE LEACHATE GENERATED FROM THE SWINE MANURE COMPOSTING FOR USE AS AN ORGANIC FERTILIZER

#### ABSTRACT

The aim of the present work was to characterize from the physical-chemical and microbiological point of view the leachate generated from the composting of swine manure with sugar cane bagasse (*Saccharum officinarum*) and grasses hay, star grass (*Cynodon nlemfuensis*) and pangola grass (*Digitaria decumbens* Stent), for use as organic fertilizer by small pig producers in the peasant and cooperative sector of Cuba. For composting, 90 kg of sugar cane bagasse, 90 kg of hay and 40 kg of swine manure were used. The physical-chemical parameters evaluated were: total nitrogen, organic matter, total phosphorus, potassium, pH and temperature. The microbiological indicators measured were: *Salmonella* spp., total coliforms, fecal coliforms and viable helminth eggs.

The presence of four stages was observed depending on the evolution of the temperature during the process. The results of the physical-chemical analysis of the leachate are within the permissible limits according to the norm of the Ministry of Agriculture of Cuba, on the quality of organic fertilizers, nitrogen (2.10), phosphorus (1.3) and potassium (0.7). There was no presence of *Salmonella* spp., and a low population of *Escherichia coli* was observed. By comparing the results obtained with the internationally established standards, it is possible to use

these products as organic fertilizer, taking into account the security and protection measures established.

**Key words:** compost, leachate, swine waste

## INTRODUCCIÓN

El uso de compostas como abono orgánico permite mejorar la producción, reduce la dependencia de insumos externos de alto costo económico y ambiental y aplica muy bien a la tendencia mundial de agricultura sostenible, ya que disminuye o elimina el empleo de agroquímicos, lo cual contribuye a la protección del ambiente, la salud humana y animal (Larco 2004).

Para pequeños y medianos agricultores, quienes no alcanzan a cubrir los altos costos que demandan el uso de agroquímicos, el uso de tecnologías limpias y amigables con el ambiente como el compostaje, es una alternativa muy importante. Sin embargo, el proceso de compostaje genera un líquido denominado lixiviado, el cual se desprende de la pila de la composta expuesta al agua, cuando la capacidad de retención de humedad de la pila es excedida (Granatstein y Kupferman 2008; Granatstein y Mullinix 2008), es por ello que algunos autores refieren que para considerar que las compostas son una actividad ambientalmente benéfica, es necesario pavimentar la base de la composta para poder canalizar, controlar o tratar los lixiviados y de esta forma evitar el impacto ecológico (Soto 2002; Uribe 2003a; Uribe 2003b; Larco 2004).

Los lixiviados de compostas han sido poco estudiados en cuanto a su composición y utilidad. Aunque Larco (2004); Uicab-Brito (2004) y Utria et al (2006) plantean que el lixiviado emanado del compostaje favorece la nutrición y sanidad de las plantas y provee un valor ecológico y económico. En este sentido, investigaciones realizadas en los Estados Unidos, Alemania y Japón, utilizando diferentes lixiviados de compost, han demostrado su potencial en la protección de cultivos para un amplio rango de enfermedades, como es el tizón de la papa o tomate, el mildiu polvoso y el Fusarium en manzano (Larco 2004).

La eficiencia de los lixiviados generados de los procesos de compostaje y lombricompostaje puede variar considerablemente, en función de su procedencia, preparación del extracto, composición, calidad, grado de maduración, entre otros factores (Sztern y Pravia 1999).

En Cuba se han realizado estudios sobre lixiviados, pero fundamentalmente lixiviados generados de los residuos sólidos urbanos. Espinosa (2010) realizó estudios sobre los lixiviados del vertedero de calle 100 en los años 2004, 2007 y 2008. Los resultados alcanzados en este estudio demostraron el importante efecto ambiental negativo de este tipo de lixiviado, al sobrepasar los Límites Máximos Permisibles Promedio de la Norma Cubana de Vertimiento de Aguas Residuales y la carga orgánica que se dispone directamente en el río, a su paso por el vertedero, recomendándose la necesidad de aplicar una alternativa de tratamiento para estos lixiviados.

El objetivo del presente trabajo fue caracterizar desde el punto de vista físico-químico y microbiológico el lixiviado emanado del compostaje de excreta porcina con bagacillo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) y heno compuesto por una mezcla de las gramíneas pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) y pangola (*Digitaria decumbens* Stent), para su uso como abono orgánico por los pequeños productores porcinos del sector campesino y cooperativo de Cuba.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación fue desarrollada en las instalaciones del Instituto de Investigaciones Porcinas (IIP) situado en la provincia de La Habana, zona donde la temperatura media anual varía entre 23 y 37 °C y la humedad relativa es aproximadamente de 85-90 %. La preparación del compostaje se llevó a cabo en un área techada con fibrocemento de 7.00 x 3.00 m. Se ubicó una base de aluminio de 4.00 x 2.00 cm, a 40 cm sobre la superficie, con una ligera inclinación para recolectar en recipientes plásticos los lixiviados producidos.

Para el compostaje se utilizaron 90 kg de bagacillo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) procedente del central azucarero Héctor Molina en la provincia Mayabeque, 90 kg de una mezcla de las gramíneas pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) y pangola (*Digitaria decumbens* Stent), procedentes de la Empresa Pecuaria Genética "Niña Bonita" en la provincia Artemisa y 40 kg de excreta porcina provenientes de las instalaciones para la ceba de cerdos del área de nutrición aplicada, cuya alimentación estuvo basada en un núcleo proteico de vitaminas y minerales (Nuprovim-75) (tabla 1) más miel rica de caña de azúcar como fuente de energía, cuya composición bromatológica fue la siguiente: Materia seca 85,00 %; Cenizas 2,38 %; Proteína bruta 0,22 %; Energía Digestible 12,75 MJ/kg MS; calcio 0,50 % y fósforo 0,02 %).

**Tabla 1. Fórmula del núcleo proteico de vitaminas y minerales (% BH)**

Harina de soya	60,54
Afrecho de trigo	30,52
Cloruro de sodio	1,81
Fosfato dicálcico	5,78
Premezcla <sup>1</sup>	1,15
Cloruro de colina	0,20
% Proteína bruta	28,50

<sup>1</sup> Vitaminas y minerales según NRC, 1998

La pila de compostaje se conformó utilizando diferentes capas de estos tres residuos hasta llegar a las dimensiones de 3.00 x 1.50 x 1.50 m. La primera capa de 20 cm de altura se confeccionó con el residuo más grueso, el heno de gramíneas para garantizar el drenaje de los lixiviados que genera el proceso, la segunda capa de 20 cm de altura se confeccionó con el bagacillo de caña de azúcar y la tercera capa de 10 cm de altura con la excreta porcina. Seguidamente se fueron colocando diferentes capas de 10 cm de altura cada una, intercalando estos residuos hasta alcanzar una altura de la pila de 1.50 m y un volumen de residuos de la pila de 7.00 m<sup>3</sup>. Cada vez que se conformó una capa se regó por aspersión con abundante agua, es de señalar que las medidas de las capas se realizaron previamente al riego. Finalmente la pila se cubrió con una manta de nylon de polietileno para protegerla de la lluvia, los vientos y evitar la pérdida de calor.

La temperatura se midió diariamente en el núcleo de la pila en dos puntos equidistantes y se registró el valor promedio aritmético entre los dos puntos. Para conservar el termómetro se utilizó una varilla metálica de mayor diámetro que el termómetro a emplear, realizándose una perforación y después se introdujo el instrumento (Sztern y Pravia 1999).

El primer volteo de la pila se realizó cuando la temperatura de la misma comenzó a descender después de haber alcanzado valores termófilos (45-56 °C). El volteo se realizó de forma tal que el material de la corteza pasara a formar parte del núcleo, regándose con agua para mantener la humedad. Después de este primer volteo, el material se continuó volteando una vez a la semana, teniendo en cuenta la temperatura del mismo y se garantizó la humedad durante todo el proceso. Cuando la temperatura de la composta alcanzó valores estables entre 25 y 30 °C se confirmó empíricamente si la humedad del material era inferior al 20 %, mediante la prueba de puño ((Sztern y Pravia 1999), la cual consiste en tomar una muestra del material en la mano, seguidamente se cierra la mano y se aprieta fuertemente y se observa que no se elimine entre los dedos la humedad del material, ni en forma de un hilo de agua continuo ni en un goteo intermitente, posteriormente al abrir el puño se debe haber formado un terrón que no se disgrega.

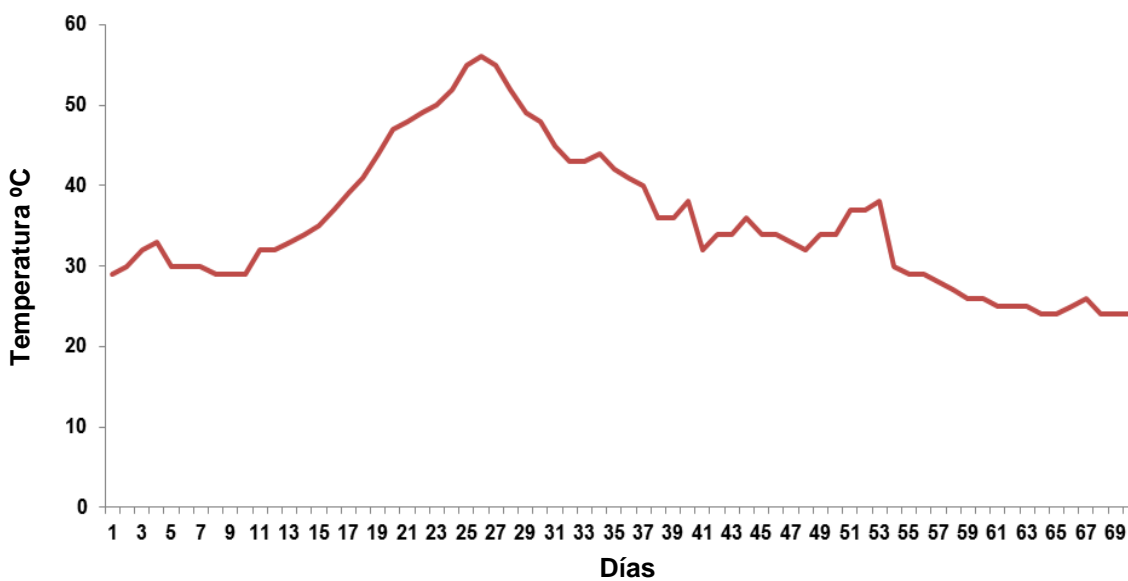
El lixiviado generado durante el proceso se recolectó en recipientes plásticos y según la metodología descrita por Larco (2004) se le adicionó agua suficiente, este líquido recogido fue adicionado nuevamente al material con la finalidad de lavar y recolectar la mayor cantidad de nutrientes y microorganismos del material, durante cinco días seguidos. El lixiviado obtenido finalmente se almacenó en un recipiente de vidrio cubierto con papel de aluminio para evitar el efecto directo de la luz del sol. Luego se almacenó en un lugar oscuro, seco y fresco por 14 días para el análisis físico-químico y microbiológico.

Los parámetros físico-químicos evaluados fueron: nitrógeno total (NT) acorde a la norma ISO 11261:1995 (1995), materia orgánica (MO), fósforo total (PT) y potasio (K) según la norma NRAG (2003), pH por la NC 10390:1999

(1999) y temperatura (°C). Los indicadores microbiológicos medidos fueron: Salmonella spp., coliformes totales y coliformes fecales de acuerdo con APHA AWWA WEF (2000) y huevos de helmintos viables según lo descrito por la norma NOM-004-SEMARNAT (2002). El procesamiento estadístico de los resultados obtenidos se realizó a través de un análisis de varianza simple acorde con Steel et al (1997) con el paquete estadístico SAS (2007) en su versión 9.1.3.

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En la figura 1 se ilustra el comportamiento diario de la temperatura en el proceso de compostaje. Se observó la presencia de cuatro etapas dependiendo de la evolución de la temperatura durante el proceso, resultados similares a los obtenidos por Aubert (1998) y Larco (2004).



**Figura 1. Comportamiento de la temperatura diaria en el proceso de compostaje de excreta porcina y bagacillo de caña de azúcar**

Se observó una etapa mesófila inicial donde la temperatura comenzó a ascender desde los 28 °C a los 40 °C. Posteriormente, el proceso alcanzó temperaturas entre los 45 °C y 56 °C, etapa termófila que se extendió por aproximadamente 12 días, lo que consideró Aubert (1998) citado por Larco (2004) temperaturas óptimas para conseguir la eliminación de patógenos, parásitos y semillas de malas hierbas.

Estos resultados son muy similares a los reportados por Cogger et al (2001) y Larco (2004) donde se determinó que para la destrucción de patógenos se requiere que la temperatura sobrepase los 54 °C y mantener una adecuada ventilación. De acuerdo a Suslow (1997), cuando la temperatura del material alcanza los 60 °C se requiere de una hora para provocar la mortalidad de una población inicial de un millón de células de Escherichia coli o Salmonella spp., en un gramo de estiércol.

Terminada la etapa termofílica, se observan variaciones de temperaturas entre los 33 °C y 43 °C, estableciéndose una nueva etapa mesofílica, en este momento se apreció cambios de coloración y olor en el material. Finalmente, el material entró en una etapa de maduración donde la temperatura fluctuó entre los 25 °C y 30 °C y adquirió una coloración marrón oscuro negro ceniza, sin olor desagradable, características muy diferentes al material original.

A diferencia del material compostado, el lixiviado emanado del mismo tenía un olor desagradable y un color café oscuro, debido a los ácidos húmicos y fúlvicos contenido en él (Larco 2004).

En la tabla 2 se muestran los resultados obtenidos en el análisis físico-químico del lixiviado de excreta porcina con bagacillo de caña de azúcar y heno de gramíneas.

**Tabla 2. Composición química promedio del lixiviado de excreta porcina con bagacillo de caña de azúcar y heno de gramíneas**

Indicadores, %	Límites permisibles NRAG (2003)	
M.O	48.21	17.14 – 63.51
Nt	2.10	0.67 – 2.44
Pt	1.3	0.40 – 4.12
K	0.7	0.33 – 3.6
pH	7.2	-
T, (°C)	26°C	-
Relación C/N <sup>1</sup>	13/1	8/1

<sup>1</sup>relación carbono-nitrógeno

Los resultados del análisis físico-químico del lixiviado en estudio se encuentran dentro de los límites permisibles según lo descrito en la norma ramal del Ministerio de la Agricultura de Cuba, sobre la calidad de abonos orgánicos, NRAG (2003).

El contenido de fósforo fue bajo, lo que pudiera estar relacionado con las variaciones de las condiciones ambientales, ya que este valor no es único y constante, y está estrechamente vinculado al contenido de fósforo en las excretas, a la acidez y humedad del sustrato, al tipo de sustrato o material que se utiliza y a las características de la materia orgánica presente en el material de cama que se utilice, entre otros, (Rojas 2009 citado por Cruz et al 2010 y Cruz et al 2017).

Los valores obtenidos en la relación C/N muestran la madurez o estabilización del lixiviado en estudio. Aunque el valor obtenido es algo superior según NRAG (2003), Marchoil et al (1999) y Rivero et al (2001) plantean que una relación C/N entre 12 y 15 % se considera apropiada para uso agronómico.

En este sentido Larco (2004) plantea que los lixiviados generados por los procesos de compostaje y lombricompostaje mejoran las características físicas y previenen la erosión de los suelos, favorecen la nutrición y sanidad de las plantas, además de proveer un valor ecológico y económico, dependiendo de su procedencia, preparación del compostaje, composición, calidad y grado de maduración.

Quiroz et al (2005) reportan un potencial reducido de contaminación en los lixiviados generados del compostaje de lodos de aguas residuales urbanas y del compostaje de residuos sólidos urbanos, materiales que son igualmente agresivos desde el punto de vista físico-químico y sanitario que las excretas porcinas.

La tabla 3 refiere los resultados de la evaluación microbiológica del material en estudio.

**Tabla 3. Análisis de inocuidad del lixiviado de excreta porcina con bagacillo de caña de azúcar y heno de gramíneas**

	Salmonella spp. (ufc/100 mL)	Coliformes totales (NMP/100 mL)	Coliformes fecales (NMP/100 mL)	Huevos de Helmintos/L
Lixiviado estudiado	Ausencia	<1000	<3	<1

Estos resultados demuestran la ausencia de Salmonella spp. en el lixiviado estudiado, lo cual es requisito indispensable de las organizaciones internacionales de salud (OMS 1989) como control para la utilización de

estos productos, por lo que es posible la utilización del mismo, tomando todas las medidas de seguridad y protección establecidas (Uribe 2003b).

Es importante reiterar que es imprescindible evaluar estos parámetros cuando se utilizan residuales orgánicos tratados, debido al riesgo que lleva implícito para la porción superficial del suelo. Silva et al (2003) plantea que todo sustrato orgánico debe someterse a un control físico-químico y microbiológico para evitar la penetración de contaminantes al suelo con la consecuente incorporación a la cadena alimenticia a través de las plantas, potencializando cierto grado de toxicidad en humanos, animales y plantas.

Según los resultados obtenidos en este estudio el lixiviado emanado del proceso de compostaje de excreta porcina con bagacillo de caña de azúcar y heno de gramíneas constituye una fuente potencial de materia orgánica para ser usado como abono orgánico líquido en la agricultura y cumple con los requisitos de inocuidad establecidos por los organismos internacionales.

## REFERENCIAS

APHA AWWA WEF. 2000. American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation. Standard Methods for the examination of Water and Wastewater, 20th Edition. Washington DC, EUA, pp 1134

Aubert, C. 1998. El huerto biológico. Barcelona, ES. Ed. Integral Barcelona, pp 252

Blandón, G., Rodríguez, N. y Dávila, M. 1998. Caracterización microbiológica y físico-química de los subproductos del beneficio de café en proceso de compostaje. *Cenicafé*, 49(3):169-185

Cruz, E. y Almaguel R.E. 2017. Tecnología de cama profunda en la porcicultura cubana. Editorial Académica Española. ISBN 978-3-639-86037-5, pp 149

Cruz, E., Almaguel, R.E., Mederos, C.M., Cordero, Y. y Ly, J. 2010. Caracterización de composta obtenida de la cama profunda utilizada en la ceba de cerdos. *Livestock Research for Rural Development*, 22(197), versión electrónica disponible en: <http://www.lrrd.org/lrrd22/10/cruz22197.htm>

Espinosa, M.C., López, M., Pellón, A., Robert, M., Díaz, S., González, A., Rodríguez, N. y Fernández A. 2010. Análisis del comportamiento de los lixiviados generados en un vertedero de residuos sólidos municipales de la ciudad de la Habana. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 26(4):313-325

Granatstein, D. and Kupferman, E. 2008. Sustainable horticulture in fruit production. *Acta Horticulturae*, 767:295-308

Granatstein, D. and Mullinix, K. 2008. Mulching options for Northwest organic and conventional orchards. *Horticultural Science*, 43:45-50

ISO-11261:1995. 1995. Determinación de Nitrógeno Total (NT) por el método Kjeldahl volumétrico para residuo sólido. Vigente desde 90, pp 15

Larco, E. 2004. Desarrollo y evaluación de lixiviados de compost y lombricompost para el manejo de *Sigatoka* negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet), en plátano. Tesis en opción al grado de Máster en Ciencias. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza CATIE. Turrialba, Costa Rica, pp 89

Marchoil, L., Mondini, C., Leita, L. and Zerbi, G. 1999. Effect of municipal waste Leachate on seed germination in soil-compost mixtures. *Restoration Ecology* 7:155-161

NC-10390:1999. 1999. Determinación de pH por el método Electrométrico, Vigente desde 87-6, 4 p  
Oficina Nacional de Normalización. La Habana, pp

- Norma Oficial Mexicana NOM.004.SEMARNAT:2002. 2002. Protección ambiental. Lodos y biosólidos. Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. Comité consultivo Nacional de Normalización de medio ambiente y recursos naturales
- NRAG. 2003. Norma Ramal del Ministerio de la Agricultura. Calidad de abonos orgánicos. Ministerio de la Agricultura. La Habana
- NRC. 1998. Nutrient requirements of Swine National Research Council. 11<sup>th</sup> ed Washington DC, National Academy Press, pp 176
- OMS. 1989. Organización Mundial de la Salud. Guidelines on studies in environmental health. Ginebra. Criterios de Salud Ambiental. Schawatzbord sedimentation method, p 27
- Quiroz, E.C., Larraín, P.S. y Sepúlveda, R.P. 2005. Evaluación de corteza de pino y residuos urbanos como componentes de sustratos de cultivo. Revista Agricultura Técnica, 65(4):378-387
- Rivero, H., Kausas, S., González, Y. y Nieves, E. 2001. Estudios de enmiendas orgánicas. Ministerio de ganadería, agricultura y pesca. Dirección general de recursos naturales renovables. División de suelos y aguas. Intendencia municipal de Maldonado, Uruguay. Unidad de divulgación ambiental. Dirección de higiene ambiental. Uruguay, pp 10
- Rojas, W.C. 2009. Interpretación de la disponibilidad de fósforo de los suelos en Chile. Centro Regional de Investigación INIA La Platina. Versión electrónica disponible en: [www.inia.cl/medios/biblioteca/serieactas/NR33852.pdf](http://www.inia.cl/medios/biblioteca/serieactas/NR33852.pdf)
- SAS. 2007. Statistical Analysis Systems (SAS) Institute. Stat version 9.1.3. Cary. Electronic version available in compact disc
- Silva, V.J.P., Piedad, L.M. y Pady, V.A. 2003. Recuperación de nutrientes en fase sólida a través del compostaje. Curso Internacional de Sistemas Integrados Sostenibles para el Tratamiento de Aguas residuales y Opción de Reuso, Guayaquil. Versión electrónica disponible en: [www.ingenierioambientalcom/4014/compostaje.pdf](http://www.ingenierioambientalcom/4014/compostaje.pdf)
- Soto, G. 2002. Abonos orgánicos para la producción sostenible de tomate. Ed. L. Pérez. Turrialba, CR
- Steel, R.G.W., Torrie, J.H. and Dickey, M. 1997. A biometrical Approach. Principles and Procedures of Statistics. MacGraw-Hill Book Company Incompany 3rd Ed. New York, pp 666
- Suslow, T. 1997. Los abonos de estiércol: Una perspectiva de seguridad alimentaria microbiana. California, US, p 1-6
- Sztern, D. Y Pravia, M.A. 1999. Manual para la elaboración de compost. Bases conceptuales y procedimientos, pp 69
- Uicab-Brito, L. A. 2004. Producción de composta a partir de la cama utilizada en la engorda de cerdos. Tesis en opción del título de Máster en Ciencias. Universidad Autónoma de Yucatán, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad de Postgrado e Investigación, Mérida, Yucatán, México, pp 77
- Uribe, L. 2003a. Inocuidad de abonos orgánicos. En Taller de abonos orgánicos (2003, San José, CR).
- Uribe, L. 2003b. Calidad microbiológica e inocuidad de los abonos orgánicos. Versión electrónica disponible en: [www.whatcom.wsu.edu/ag/compost/cascadecuts.html](http://www.whatcom.wsu.edu/ag/compost/cascadecuts.html)
- Utria, E., Reynaldo, I., Cabrera, A., Morales, D., Morúa, A. y Álvarez, N. 2006. Caracterización de los biosólidos de aguas residuales de la estación depuradora de aguas residuales "Quibú". Revista Cultivos Tropicales, 27 (3):83-87. Versión electrónica disponible en: [http://www.inca.edu.cu/otras\\_web/revista/pdf/2006/3/CT27302.pdf](http://www.inca.edu.cu/otras_web/revista/pdf/2006/3/CT27302.pdf)