

## CARACTERIZACIÓN DEL BIÓSOLIDO GENERADO POR UNA PLANTA DE DIGESTIÓN ANAEROBIA. PERSPECTIVAS DE UTILIZACIÓN

Yamilé Jiménez, L., Valdés, Milagros Marrero, Yania Pérez, Vania Vidal y, A. Negrin

Centro de Investigaciones en Bioalimentos (CIBA). Carretera a Patria Km 1½. Morón. Ciego de Ávila. Cuba  
e-mail: yamile@ciba.fica.inf.cu

### RESUMEN

*El trabajo se realizó en el Centro de Investigaciones en Bioalimentos con el objetivo de caracterizar los biosólidos generados en la planta de tratamiento por tecnología de digestión anaerobia de residuales de origen pecuario, compuesta fundamentalmente por un digestor de primera generación, tipo cúpula fija de 60 m<sup>3</sup> de volumen operacional y tiempo de retención hidráulico de 30-40 días, con tratamiento secundario para los efluentes a través de lechos de secado y laguna de estabilización.*

*Se tomaron ocho muestras homogéneas de biosólidos estabilizadas y deshidratadas, recolectadas en cuatro lechos de secado de 1.7 x 2.5 m ubicados en la planta. Se les determinó contenido total de metales pesados, composición microbiológica y composición físico-química.*

*Se concluye que los biosólidos estudiados, tienen potencialidades para ser aplicados en la agricultura, pues contienen altos niveles de materia orgánica (53 %) y nutrientes esenciales para el desarrollo de las plantas (2.5 % N, 1.2 % P, 0.8 % K), el contenido de metales pesados y microorganismos patógenos estuvieron por debajo de los límites máximos permisibles establecidos para este tipo de residuo.*

**Palabras claves:** biosólidos, composición, aprovechamiento

**Título corto:** Caracterización de biosólidos pecuarios

## CHARACTERIZATION OF BIOSOLID GENERATED IN ANAEROBIC DIGESTION PLANT. PERSPECTIVES OF UTILIZATION

### SUMMARY

*The study was conducted at the Centre for Research in Bioalimentos with the aim of characterizing the biosolids generated at the treatment plant anaerobic digestion technology for waste of animal origin, mainly composed of first-generation digester, fixed dome type 60 m<sup>3</sup> operational volume and hydraulic retention time of 30-40 days, a secondary treatment for effluent through beds of drying and stabilization pond.*

*Eight samples were taken homogeneous of biosolids stabilized and dehydrated, collected in four drying beds of 1.7 x 2.5 m located on the ground. The total content of heavy metals, microbial composition and physical-chemical composition were determined.*

*It was conclude that the biosolids studied with potential for application in agriculture, because its contains high levels of organic matter (53%) and essential nutrients for plant growth (2.5% N, 1.2% P, 0.8% K) content of heavy metals and pathogens were below the limits set for this type of waste.*

**Key words:** sludge, composition, use

**Short title:** Characterization of sludge

## INTRODUCCIÓN

Uno de los principios abordados en la Estrategia Ambiental Cubana y que sustenta la gestión y la política ambiental, es el referido a la aplicación integral del concepto de producciones más limpias. Esta estrategia persigue para elevar la eficiencia y productividad, que se traduce en: minimizar la generación de residuos y emisiones así como manejar adecuadamente los residuales incluyendo su aprovechamiento económico, para propiciar el ahorro de recursos hídricos y energéticos (CITMA 2007).

En las explotaciones ganaderas, a diferencia de otros sectores productivos, se utiliza menor cantidad de elementos o compuestos de alto riesgo; sin embargo, el volumen de excreta producida es uno de los principales problemas a los que se enfrenta el sector (Flotats et al 2000). Los efluentes de origen pecuario poseen una alta concentración de sustancias orgánicas y compuestos de nitrógeno y fósforo los que fluctúan considerablemente en composición y cantidad (CITMA 2000; Costa y Urgel 2000; Smith et al 2001).

Uno de los objetivos primordiales que se persigue con la implementación de un sistema de tratamiento a partir de la digestión anaerobia, es descontaminar y cerrar el ciclo de producción mediante la disminución de la contaminación y la producción de energía renovable. El lodo residual del proceso de fermentación en el biodigestor resulta menos agresivo desde el punto de vista epizootico, que las excretas, ya que los procesos de fermentación anaerobia que se producen, favorecen la reducción de los huevos de parásitos y bacterias, entre las cuales se encuentran muchos de los microorganismos patógenos que afectan a los animales y al hombre (Mawdsley et al 1995; Dumontet et al 2001). Una de las alternativas para la disposición final de los biosólidos es su utilización como enmienda orgánica, debido a que son una fuente importante de nutrientes para los cultivos por su contenido de materia orgánica, macronutrientes como el N, P y K y algunos micronutrientes como Cu y Zn (Azevedo et al 2003; Utria et al 2006).

El objetivo de este trabajo fue caracterizar a través de indicadores físicos, químicos y microbiológicos los biosólidos generados en una planta de tratamiento por digestión anaerobia.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló en la planta de tratamiento con tecnología de digestión anaerobia del Centro de Investigaciones en Bioalimentos (CIBA), ubicada en la provincia Ciego de Ávila, en el período comprendido entre Abril-Julio del 2009. La planta de tratamiento consta fundamentalmente por un digestor de primera generación, tipo cúpula fija de 60 m<sup>3</sup> de volumen operacional, con tiempo de retención hidráulico de 30-40 días y tratamiento secundario de los efluentes a través de lechos de secado y laguna de estabilización.

Los biosólidos utilizados fueron obtenidos mediante un proceso de digestión anaerobia y su producción fue aproximadamente de 260 kg en base seca. El origen de los residuales fue aproximadamente 70 % excretas porcinas y 30 % de vacuno. Las muestras de biosólidos estabilizadas y

deshidratadas fueron recolectadas en los cuatro lechos de secado de 1.7 x 2.5 m ubicados en la planta de tratamiento.

Se muestreó cada 15 días y se obtuvieron 8 muestras compuestas de aproximadamente 20 kg cada una, para homogeneizar dichas muestras se empleó el método del cuarteo según NOM-004- SEMARNAT (2001). Se dispusieron 4 kg por muestra en bolsas de polietileno para su traslado al laboratorio.

A las muestras homogenizadas de aproximadamente 4 kg de biosólidos se le determinó el contenido total de metales (Pb, Zn, Cu, Co, Ni, Mn, Cr, Cd), por fundición con metaborato de litio y la determinación final por el método de Espectroscopía de Emisión Atómica por plasma inductivamente acoplado (Inductively Coupled Plasma) según NOM-004- SEMARNAT (2001).

Se determinaron los coliformes fecales, patógeno (*Salmonella* spp) y parásitos (Huevos de helmintos viables) según lo descrito por la NOM-004-SEMARNAT (2001). Se determinó además, pH, humedad, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio (expresados en por ciento) y la conductividad eléctrica según los procedimientos descritos por NRAG (2003). Los datos fueron procesados utilizando el paquete estadístico SPSS (2001).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 aparecen los resultados de los indicadores químicos que con más frecuencia se analizan en los biosólidos para uso agrícola, los cuales se encuentran en orden decreciente: MO oxidable > Ca > N > P > Mg > K. Los niveles hallados fueron comparables con los informados por Paneque y Calaña (2004) para los abonos más utilizados en la agricultura cubana.

**Tabla 1. Composición química promedio de los biosólidos**

Porcentaje	Intervalo de confianza	Límites permisibles	
MO	53.0	54.49 - 51.51	17.14-63.51
Ca	8.8	9.49 - 8.11	-
N	2.2	2.48 - 1.92	0.67-2.44
P	1.5	1.64 - 1.36	0.40-4.12
Mg	1.2	1.44 -0.96	-
K	0.8	0.9 - 0.7	0.33-3.6
<b>Relación</b>			
C/N <sup>1</sup>	14/1	16/1-13/1	8/1
pH	7.5	7.7 - 7.3	-
CE <sup>2</sup> , mS/cm	1.4	1.68 - 1.2	1-2

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

<sup>2</sup> Conductividad eléctrica

Los biosólidos estuvieron representados mayormente por la materia orgánica oxidable, Ca, el N y el P, condicionado por la alta carga orgánica presente en las excretas del ganado porcino y vacuno principalmente, en relación directa con la base alimentaria de estas especies, pues contienen una serie

de nutrientes importantes para el crecimiento y desarrollo del animal, entre las que se pueden mencionar las proteínas, vitales para el mantenimiento, crecimiento, reproducción y producción láctea del animal, así como minerales que son esenciales, pues intervienen en la formación de tejidos, procesos bioquímicos y producción láctea entre otros (Rodríguez et al 1999).

Es de señalar, que aunque los niveles de potasio hallados en los biosólidos fueron comparables con los abonos orgánicos más utilizados en la agricultura, su contenido en este tipo de residuos se considera relativamente bajo, debido a que este elemento es muy soluble en agua y gran parte se pierde una vez depurada el agua, fenómeno que fue descrito anteriormente por Soliva (2000) y Shober et al (2003).

La relación C/N del biosólido hallada se encontró dentro del rango informado por Shober et al (2003) para los abonos orgánicos más utilizados en la agricultura y fue similar al encontrado en el humus de lombriz, el cual varía 10/1-13/1. Esta baja relación indica que la materia orgánica presente en el biosólido, es un material estabilizado y con nivel avanzado de mineralización, lo que evidencia que este residuo es una fuente potencial de nutrientes.

El pH hallado en los biosólidos mostró valores cercanos a la neutralidad, lo que puede propiciar que cuando se aplique al suelo actúe como corrector de este parámetro, en los casos en que sus magnitudes estén por debajo o por encima del neutro (Azevedo et al 2001). Este aspecto, es importante ya que a valores de pH cercanos a la neutralidad los macronutrientes tienen alta movilidad en el suelo y su mayor tasa de asimilación por las plantas; mientras que la absorción de los metales pesados por las mismas se ve limitada y de esta manera se evita que las plantas absorban niveles extremadamente excesivos o tóxicos de estos elementos, fenómeno suele ocurrir en plantas desarrolladas en sustratos con pH ácido como ha sido informado por Matolva et al (1989).

La conductividad eléctrica se halló entre los niveles aceptados para este tipo de residuo, por lo que la incorporación de este biosólido al suelo, no debe influir en el poder de infiltración de las sales ni obstaculizará la absorción, tanto del agua como de otros iones presentes en el suelo, que incidirán directamente en las plantas o cultivos (Seoáñez 2000).

**Tabla 2. Contenido total promedio de metales pesados en biosólidos y su comparación con normas internacionales (mg kg<sup>-1</sup> base seca)**

Metales	Media	Intervalo de confianza	NOM-004- ECOL-		Comunidad Europea		
			2001	USEPA 1993	pH < 7	pH > 7	
Cd	0.7	0.8-0.6	39-85	85	39	20	40
Cr	7.31	7.7-6.9	1200-3000	-	-	1000	1500
Cu	4.27	4.97-3.57	1500-4300	4300	1500	1000	1750
Co	0.35	0.45-0.25	-	-	-	-	-
Ni	0.90	1.00-0.8	420	420	420	300	400
Pb	21.9	22.7-12.1	300-840	840	300	750	1200
Zn	15.4	17.9-12.9	2800-7500	7500	2800	2500	4000
Mn	24.7	27.6-21.8	-	-	-	-	-

Según Álvarez et al (2002), uno de los factores que puede limitar el uso de biosólidos en la agricultura es la presencia de elementos potencialmente tóxicos, sin embargo, en la tabla 2 se refleja que todos los niveles de contenidos de metales pesados analizados en los biosólidos objeto de estudio, se hallaron por debajo de los límites establecidos, según las normativas de México (NOM 004-ECO2001), Estados Unidos (USEPA 1993) y la Comunidad Europea, las cuales regulan la utilización de lodos y biosólidos con fines agrícolas, por lo que puede considerarse que este residuo es apto para ser utilizado en la agricultura.

En la tabla 3 se muestran las características microbiológicas del residual en estudio, en este caso los resultados también estuvieron en los rasgos permisibles establecidos en las normas internacionales. En el proceso de digestión anaerobia actúan diversos microorganismos que facilitan la degradación de la materia orgánica, el biosólido estabilizado, que se obtiene de este proceso no es putrescible y su contenido en organismos patógenos es nulo o muy bajo. Esta conversión biológica del sustrato complejo, en el que se encuentra la materia orgánica en suspensión o disuelta, se realiza a través de una serie de reacciones bioquímicas que transcurren tanto

consecutiva como simultáneamente (Strauss, 1985 ; Cairncross et al 1990; Vives 2003).

**Tabla 3. Características microbiológicas de los biosólidos**

Indicadores	Este estudio	USEPA, 1993	
		Nivel de microorganismos patógenos aceptable en biosólidos	
		Biosólido Clase A	Biosólido Clase B
Coliformes Fecales, NMP/4gBS	< 1000	< 1000	< 1000
Salmonella spp, NMP/4gBS	ausente	< 3	< 3
Huevos de Helminthos	< 1	< 1	< 10

Los indicadores microbiológicos analizados en los biosólidos, no constituyeron una limitante para la disposición final de los biosólidos en la agricultura, ya que los valores detectados se

encontraron por debajo de los niveles aceptables para ser aplicados en sistemas de producciones agrícolas (USEPA 1993), por lo que se pueden clasificar como Biosólido de CLASE A, todo lo anterior evidencia que el proceso de depuración mediante digestión anaerobia operó en el período de estudio de manera eficiente.

Los indicadores analizados en los biosólidos procedentes de la planta de tratamiento de los residuales de origen pecuario ubicada en el Centro de Investigaciones en Bioalimentos indican que este producto cumple con todas las características para ser utilizado como abono orgánico. Se recomienda evaluar el efecto agronómico de estos biosólidos en cultivos de ciclo corto.

## REFERENCIAS

- Álvarez, E.A., Mochon, M.C., Sánchez J.C.J. y Rodríguez M.T. 2002. Heavy metals extractable form in sludge from wastewater treatment plants. *Chemosphere*, 47:765-775
- Azevedo, M.L. De Rocha, A., Lima, M.R. y De Pohlman, M. 20001. Efeito residual do lodo de esgoto alcalinizado em atributos químicos e granulométricos de um cambissolo húmico. *Scientia Agraria*, 2(1-2):87-91
- Azevedo, M.L., Ferracciú L.R. y Guimaraes L.R. 2003. Biosolids and heavy metals in soils. *Science of Agriculture*, 60:793-806
- Cairncross, S. y Mara, D. 1990. Directrices para el uso sin riesgos de aguas residuales y excretas en agricultura y acuicultura. Organización Mundial de la Salud. Ginebra, p 210
- CITMA. 2000. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. Informe sobre el diagnóstico integral en instalaciones pecuarias. La Habana
- CITMA 2007. Estrategia Ambiental Nacional 2007-2010. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, La Habana, pp 300-338
- Costa, A y Urgel, O. 2000. El nuevo reto de los purines. *EDIPOR*, 30:24-28
- Dumontet, S., Scopa, A., Kerje, S. y Krovacek, K.J. 2001. The importance of pathogenic organisms in sewage and sewage sludge. *Journal Air Wastes management Association*, 51:848-860
- 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. *Cultivos Tropicales*, 27(3):83-87
- Flotats, X., Bonmati, A., Campos, E. y Teira, M.R. 2000. El proceso de secado de purines en el marco de una gestión integral de residuos ganaderos. *Residuos*, 53:1
- Matolva, E., Vitti, G.C. y De Oliveir, S.A. 1989. Avalicao do estado nutricional das plantas: principios y aplicacoes. Piracicaba: Associacao Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, p 201
- Mawdsley, J. L. R., Bardgett, R. J., Merry, B. F. Paain y Theodorou, M.K. 1995. Pathogens in livestock waste, their potential for movement through soil and environmental pollution. *Applied Soil Ecology*, 2:1-5
- NOM-004-ECOL-2001. Norma Oficial mexicana, protección ambiental; lodos y biosólidos; especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.
- NRAG. 2003. Norma Ramal del Ministerio de la Agricultura. Calidad de abonos orgánicos. Ministerio de la Agricultura. La Habana
- Paneque, V.M y Calaña, J.M. 2004. Abonos orgánicos. Conceptos prácticos para su evaluación y aplicación. La Habana. ACTAF, p 54
- Rodríguez, I.I., Borroto, A., Róthe, L.R., Mayer, C., Mazorra, C. y Tapia, L. 1999. Elementos prácticos para la crianza de cerdos. Monografía. Centro de Investigaciones en Bioalimentos, Ciego de Ávila, pp 11-15
- Seoáñez, C. M. 2000. Tratado de reciclado y recuperación de productos de los residuos. Ediciones Mundi-Prensa. Barcelona
- Shorber, A., Stehouwer, R.C. y Macneal, K. 2003. Eon.Farm assessment of biosolid effects on soil and crop tissue quality. *Journal of Enviroment quality*, 32(5):1873-1880
- Soliva, M. 2000. Aplicación de lodos resultantes de la depuración de aguas residuales urbana en la agricultura. IQPC. En: Forum Internacional sobre tratamiento de lodos de depuradoras. Su minimización, valorización y destino final. Madrid, pp 21
- Smith, K.A., Brewer, A.J., Crabb, J. y Dauven, A. 2001. A survey of the production and use of animal manures in England and Wales. II. Poultry manure. *Soil use and management*, 17:48
- Strauss, M. 1985. Survival of excreted pathogens in excreta and faecal sludges. *IRCWD News*, 23:4-9
- SPSS. 2001. Statistical Package for the Social Sciencies. Versión 15.0. Versión renovable para Windows
- USEPA (U.S. Enviromntal Protection Agency) .1993. Standards for the use or disposal of sewage sludge. *Fed Regis*, (58):9248-9415
- Vives, C. 2003. Presentación y argumentación de un Sistema de tratamiento de cerdo por fermentación anaeróbica con recuperación de gas en Agrosuper. *Gestión Ambiental*, pp 34