

CARACTERIZACIÓN DE BIOLES DE LA FERMENTACIÓN ANAERÓBICA DE EXCRETAS BOVINAS Y PORCINAS

CHARACTERIZATION OF BIOLES FROM THE ANAEROBIC FERMENTATION OF CATTLE AND SWINE EXCRETA

Maribel Cano-Hernández¹, Alex Bennet-Eaton², Erika Silva-Guerrero¹, Sergio Robles-González¹,
Uriel Sainos-Aguirre², Hugo Castorena-García¹

¹Instituto Tecnológico del Altiplano, México, km. 7.5. Carretera Federal San Martín Texmelucan-Tlaxcala, San Diego Xocoyucan, Tlaxcala 90122. ²Sistema Biobolsa®, México. (maribel_cano@hotmail.com)

RESUMEN

Los sistemas anaeróbicos producen biocombustibles y líquidos residuales conocidos como bioles. En Sistemas Biobolsa® se realizó la fermentación anaeróbica de excretas bovinas y porcinas, durante dos meses. La diferencia entre los tipos de biol bovino y porcino obtenidos se determinó con análisis de varianza de un factor y para cada parámetro físico y químico evaluado. En los bioles se monitoreó diariamente pH, temperatura, conductividad eléctrica (CE), oxígeno disuelto (OD), potencial oxido reducción (ORP), sólidos disueltos totales (SDT), porcentaje de cloruro de sodio, sólidos volátiles (SV), sólidos totales (ST), cenizas, humedad, P, PO₄, P₂O₅, N, Na, K, Ca, Mg, Zn y Cu en su forma iónica. Con un pH-metro (HANNA HI-255) se determinaron pH, CE, SDT, y NaCl, y en un analizador multiparamétrico (HACH, HQ40d) se evaluaron OD y potencial óxido-reducción. Con métodos gravimétricos se determinó humedad, ST, SV, y cenizas; los macronutrientes (P, de P₂O₅, PO₄, nitrógeno amoniacal (NH₃-H) y K) se midieron con un analizador de nutrientes (HANNA HI-83215) y los micronutrientes con un espectrofotómetro de absorción atómica (GBC AA 904). Todos los análisis se realizaron por duplicado. Los Sistemas Biobolsa® mostraron estabilidad en su funcionamiento, en condiciones mesófilas (variación de $\pm 3\sigma$ en cada parámetro). Existió diferencia significativa en Ca y Mg entre los tipos de excreta. El biol bovino mostró 8.94 4 mS cm⁻¹, 658.9, 80.90 y 581 ppm en CE, NH₄⁺, PO₄³⁻, y K⁺ y 8.4 mS cm⁻¹, 745.0, 80.90, 39 y 521 ppm el biol porcino. El contenido de nutrientes de ambos bioles permite su utilización como enriquecedores de fertilizantes.

Palabras clave: Biol, biorreactores anaerobios, biofertilizantes

ABSTRACT

Anaerobic systems produce biofuels and liquid waste known as bioles. In Sistemas Biobolsa® we evaluated anaerobic fermentation of cattle and pig manure for two months. The difference between the types of cattle and porcine biol obtained was determined by the One Factor Analysis of Variance and the physical and chemical parameters were evaluated. In bioles we daily monitored pH, temperature, electrical conductivity (EC), dissolved oxygen (DO), oxide reduction potential (ORP), total dissolved solids (TDS), percentage of sodium chloride, volatile solids (VS), total solids (ST), ash, moisture, P, PO₄, P₂O₅, N, Na, K, Ca, Mg, Zn and Cu in its ionic form. With a pH meter (HANNA HI-255) we determined pH, EC, TDS, NaCl, and with a multiparameter analyzer (HACH, HQ40d) OD and redox potential we evaluated. With gravimetric methods, we determined humidity, ST, SV, and ash; we measured macronutrients (P, P₂O₅, PO₄, ammonia nitrogen (NH₃-H) and K⁺) with a nutrient analyzer (HANNA HI-83215) and micronutrients with an atomic absorption spectrophotometer (GBC AA 904). All analyses were performed in duplicate. The Sistemas Biobolsa® showed stability in its operation, in mesophilic conditions (variation of $\pm 3\sigma$ in each parameter). There was a significant difference in Ca and Mg between types of excreta. Cattle biol showed 8.94 4mS cm⁻¹, 658.9, 80.90 and 581 ppm in CE, NH₄⁺, PO₄³⁻ and K⁺ respectively while in porcine biol were 8.4 mS cm⁻¹, 745.0, 39 and 521 ppm. The nutrients content of both bioles allows to be applied as fertilizers.

Key words: Biol, anaerobic bioreactors, biofertilizers

* Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: abril, 2015. Aprobado: enero, 2016.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 50: 471-479. 2016.

INTRODUCCIÓN

En México, Perú, Ecuador, Costa Rica, Honduras y Nicaragua se han instalado Sistemas Biobolsa® (biodigestores anaeróbicos). La función de estos sistemas es generar biogás con estiércol animal y fermentación anaeróbica. El biogás generado está enriquecido con metano que se puede usar para generar energía eléctrica en escala pequeña y mediana, la cual puede emplearse en sistemas de calefacción (Weiland 2006; Nagy y Wopera, 2012). Con estos sistemas pueden reciclarse desechos orgánicos, por acción de microorganismos que utilizan NO^{-3} , SO_4^{-2} y CO_2 como aceptores de electrones. Esta es una alternativa biotecnológica para reducir el impacto ambiental que provocan los desechos agrícolas. Así, el problema de contaminación por desechos agrícolas y pecuarios puede convertirse en una oportunidad para generar energía renovable.

La fermentación de estiércol tiene un efecto positivo en la estabilidad del proceso anaeróbico, debido a su capacidad amortiguadora y contenido alto de elementos trazas (Weiland, 2006). Además, el proceso de biodigestión también disminuye la cantidad de patógenos en las excretas usadas como materia prima para los biodigestores (Soria *et al.*, 2001). Uno de los subproductos de la fermentación anaeróbica es el biol, que es rico en microorganismos, fitohormonas y nutrientes (Álvarez-Solís *et al.*, 2010; Siura y Davila, 2008). La aplicación de estos bioles al suelo puede eliminar contaminación, restituir la flora bacteriana y actuar como fertilizante foliar (Siura y Davila 2008). Otra característica de los bioles es su potencial para mejorar el intercambio catiónico en el suelo, lo cual aumenta la disponibilidad de nutrientes en el suelo. Los bioles obtenidos de la fermentación anaeróbica con los Sistemas Biobolsa® pueden usarse como biofertilizantes para cultivos diversos; si se conoce su calidad puede seleccionarse su uso particular.

El objetivo de este estudio fue conocer la calidad nutricional, y la estabilidad física y química de bioles obtenido de la fermentación anaeróbica de Sistemas Biobolsa®.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestreo de Biol novino y porcino

Dos Sistemas Biobolsa® (IRRI de México) de 6000 y 12 000 L se instalaron en el sector agropecuario del Instituto Tecnológico del Altiplano de Tlaxcala (ITAT), México. Los bioles se

INTRODUCTION

In Mexico, Peru, Ecuador, Costa Rica, Honduras and Nicaragua the Sistemas Biobolsa® (anaerobic digesters) were installed. The function of these systems is to generate biogas from animal manure and anaerobic fermentation. The biogas is enriched with methane that can be used to generate electricity at small and medium scale, which in turn can be used in heating systems (Weiland 2006; Nagy and Wopera, 2012). With these systems organic waste can be recycled by microorganisms that use NO^{-3} , SO_4^{-2} and CO_2 as electron acceptors. This is a biotechnological alternative to reduce the environmental impact caused by agricultural waste. Thus, the problem of contamination by agricultural and livestock waste can become an opportunity to generate renewable energy.

Manure fermentation has a positive effect on the stability of the anaerobic process because of its buffering capacity and high content of trace elements (Weiland, 2006). Furthermore, the biodigestion process also decreases the amount of pathogens in the excreta used as feedstock for digesters (Soria *et al.*, 2001). One of the byproducts of anaerobic fermentation is the biol, which is rich in microorganisms, phytohormones and nutrients (Álvarez-Solís *et al.*, 2010; Siura and Davila, 2008). The application of these bioles into the ground can eliminate pollution, restore the bacterial flora and act as foliar fertilizer (Siura and Davila 2008). Another feature of bioles is their potential to enhance the cation exchange on the floor, which increases the availability of nutrients in the soil. The bioles obtained from the anaerobic fermentation with Sistemas Biobolsa® can be used as bio-fertilizers for various crops; if its quality is known its private use can be an option.

The aim of this study was to determine the nutritional quality and physical and chemical stability of bioles obtained from the anaerobic fermentation of Sistemas Biobolsa®.

MATERIALS AND METHODS

Cattle and porcine Biol sampling

Two Sistemas Biobolsa® (IRRI of Mexico) of 6000 and 12 000 L were installed in the agricultural sector of the Technological Institute of the Tlaxcala Altiplano (ITAT),

muestrearon en mayo y junio. Las muestras se tomaron a la salida de los Sistemas Biobolsa alimentados con estiércol bovino y porcino en proporción 1:3 y 1:2 (base fresca). La recolección de muestras se realizó en los sistemas biodigestores en condiciones físicas buenas y funcionamiento correcto. Para homogenizar el líquido dentro de la biobolsa, una frotación manual a cada biodigestor se realizó por 5 min. Porciones homogéneas de biol se colocaron, con un bastón de recolecta, en envases plásticos limpios de 600 mL y tapón de rosca; una muestra se extrajo del interior del biodigestor localizado en la corriente del efluente. Para evitar recolectar muestras a medio día, cuando el calor dilata la biobolsa y dificulta su homogenización, el muestreo se realizó entre 10:00 y 11:00 h. Las muestras recolectadas se almacenaron a 4 °C hasta por 4 h antes de su análisis.

Temperatura, pH, conductividad eléctrica (CE), sólidos disueltos totales (SDT), salinidad y oxígeno disuelto (OD)

Con un pH-metro (HANNA HI-255) se determinaron temperatura, pH, CE, SDT, y salinidad (NaCl) en bioles de estiércol bovino y porcino. Los procedimientos fueron de acuerdo con las normas NMX-AA-007-SCFI-2000, NMX-AA-008-SCFI-2000, NMX-AA-034-SCFI-2001, para temperatura, pH, y sólidos disueltos totales, respectivamente. Curvas de calibración se hicieron para pH con tres puntos, la conductividad se calibró con una solución estándar de 1413 μScm^{-1} (HI 7031), los SDT con una solución de TDS (HI-7032) y la salinidad con una solución estándar (HI-7073), todos fueron de la marca HANNA.

Oxígeno disuelto (OD) y potencial óxido-reducción (ORP)

Para determinar OD y ORP se utilizaron frascos de vidrio para DBO y un medidor multiparamétrico (HACH, modelo Q40d con sondas para oxígeno disuelto) se usó para evaluar LDO y ORP. Estos electrodos se calibraron con el oxígeno ambiental y una solución estándar ORP (HI-7022 y HANNA).

Porcentaje de agua, sólidos totales (ST), sólidos volátiles (SV) y cenizas

El contenido de agua, ST, SV y cenizas se calculó por diferencia de peso después de mantener las muestras a 105 °C o calcinadas a 550 °C; los análisis se realizaron por duplicado. Las fórmulas para calcular el contenido de agua, ST, SV y cenizas, expresado en porcentaje, fueron:

$$H_2O(\%) = \frac{(a - b)}{a} * 100$$

Mexico. The bioles were sampled during May and June. Samples were taken at the exit of the Sistemas Biobolsa fed with cattle and porcine manure in a 1: 3 and 1: 2 (fresh basis) respectively. We collected samples with biodigester systems in good physical conditions and proper functioning. Then, to homogenize the liquid within the biobolsa, we hand rubbed each digester for 5 min. We placed homogeneous portions of biol with a collecting cane in clean plastic containers of 600 mL and screw cap; we took one sample from the digester located in the effluent stream. To avoid collecting samples at noon, when heat causes the dilation of the biobolsa and obstructs its homogenisation, we did sampling between 10:00 and 11:00 h. The collected samples were stored at 4 °C for up to 4 h before performing analysis.

Temperature, pH, electrical conductivity (EC), total dissolved solids (TDS), salinity and dissolved oxygen (DO)

With a pH meter (HANNA HI-255) we determined: temperature, pH, EC, TDS, and salinity (NaCl) in bioles of cattle and porcine manure. The procedures were performed according to the standards NMX-AA-007-SCFI-2000, NMX-AA008-SCFI-2000, NMX-AA-034-SCFI-2001, for temperature, pH, and total dissolved solids respectively. We made calibration curves for pH with samples from three points we calibrated conductivity with a standard solution of 1413 μScm^{-1} (HI 7031), the SDT with a solution of TDS (HI-7032) and salinity with a standard solution (HI-7073), all of them were HANNA brand.

Dissolved oxygen (DO) and oxidation-reduction potential (ORP)

To determine OD and ORP we used glass bottles for BOD and a multiparameter meter (HACH, model Q40d with probes for dissolved oxygen) was utilized to evaluate LDO and ORP. These electrodes were calibrated with ambient oxygen and a ORP (HI-7022 and HANNA) standard solution.

Water percentage, total solids (TS), volatile solids (SV) and ashes

Humidity, ST, SV and ashes were calculated by weight difference after keeping the samples at 105 °C and calcined at 550 °C; the analyses were performed in duplicate. The formulas to calculate the water content, ST, SV and ash, expressed as percentages, were:

$$H_2O(\%) = \frac{(a - b)}{a} * 100$$

$$\text{Sólidos totales (\%)} = \frac{b}{a} * 100$$

$$\text{Sólidos volátiles (\%)} = \frac{b-c}{a} * 100$$

$$\text{Cenizas (\%)} = \frac{c}{a} * 100$$

donde a : masa en gramos del biol húmedo; b : masa en gramos del biol deshidratado a $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$; c : masa en gramos de biol calcinado a $550\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Análisis de macronutrientes: fósforo como P_2O_5 , PO_4 , nitrógeno amoniacal ($\text{NH}_3\text{-H}$) y potasio)

El biol se centrifugó 15 min a 5000 rpm en una centrifuga Hermle Z323; el sobrenadante se usó para cuantificar P, como P_2O_5 y PO_4^{-3} , y $\text{NH}_3\text{-H}$. Los análisis se efectuaron en un analizador de nutrientes HANNA HI-83215; el K se cuantificó en un espectrofotómetro de absorción atómica GBC AA 904.

Análisis elemental de micronutrientes

Los análisis elementales se realizaron con un espectrofotómetro de absorción atómica GBC AA 904. Para el análisis de cada elemento se prepararon curvas de calibración a tres puntos con estándares de concentraciones conocidas. Para cada elemento se usaron lámparas de cátodo hueco de sodio, zinc, magnesio, cobre y calcio. El quemador para cada elemento fue el de aire-acetileno, aunque para calcio se usó el quemador N_2O -acetileno. La metodología fue conforme a la norma NMX-AA-051-SCFI-2001. Las diferencias entre el tipo de biol utilizado se evaluó con un análisis de varianza a un factor para todos los parámetros fisicoquímicos, usando un ANDEVA a un factor de Excel.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Temperatura, pH, CE, SDT y salinidad

La temperatura promedio durante los dos meses en los bioles bovino y porcino fue 22.4 y $23.13\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1.7\text{ }^{\circ}\text{C}$; estas temperaturas dependieron de la hora de muestreo. Este intervalo de temperatura favorece principalmente la reproducción de microorganismos mesófilos ($20\text{-}40\text{ }^{\circ}\text{C}$), la baja temperatura repercute en la velocidad de producción de metano. Aunque la fermentación no se realizó en condiciones termófilas, las cuales son consideradas óptimas (Yokoyama *et al.*, 2007; Nagy y Wopera, 2012), se generó hasta 60 % de metano.

$$\text{Total solids (\%)} = \frac{b}{a} * 100$$

$$\text{Volatil solids (\%)} = \frac{b-c}{a} * 100$$

$$\text{Ash (\%)} = \frac{c}{a} * 100$$

where a : mass in grams of wet biol; b : mass in grams of biol dehydrated at $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$; c : mass in grams of biol calcined at $550\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Analysis of macronutrients: phosphorus as P_2O_5 , PO_4 , ammonia nitrogen ($\text{NH}_3\text{-H}$) and potassium

Biol was centrifuged at 5000 rpm for 15 min in a centrifuge Hermle Z323; the supernatant was used for quantification of P, as P_2O_5 and PO_4^{-3} , and $\text{NH}_3\text{-H}$. Analyses were performed in a nutrient analyzer HANNA HI-83215; K was quantified in an atomic absorption spectrophotometer GBC AA 904.

Elemental analysis of micronutrients

Elemental analyses were carried out with an atomic absorption spectrophotometer GBC AA 904. For the analysis of each element we prepared calibration curves at three points with standards of known concentrations. We used hollow cathode lamps of sodium, zinc, magnesium, copper and calcium for each element. For each element we used the air-acetylene burner, except for calcium, in which the burner N_2O acetylene was used. The followed was according to the NMX-AA-051-SCFI-2001 standard. The differences between the type of biol used were evaluated by One Factor Analysis of Variance for all physical and chemical parameters, and ANOVA at an Excel® factor.

RESULTS AND DISCUSSION

Temperature, pH, CE, SDT and salinity

The average temperature during two months in cattle and porcine bioles was 22.4 and $23.13\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1.7\text{ }^{\circ}\text{C}$; these temperatures depended on the sampling time. This temperature range promotes mainly the reproduction of mesophilic microorganisms ($20\text{-}40\text{ }^{\circ}\text{C}$); low temperature affects the rate of production of methane. Although fermentation was not carried out in thermophilic conditions, considered optimal (Yokoyama *et al.*, 2007; Nagy

La variación de pH durante los 45 d estuvo dentro del intervalo óptimo, lo cual confirmó la operación adecuada del biodigestor. El pH de los bioles de bovino y de porcino son semejantes y muestran cierta relación con los documentados por Quipuzco *et al.* (2011), con intervalo neutro o ligeramente alcalino. Estos valores mostraron que los bioles podrían aplicarse a todos los cultivos, inclusive frutales. El pH y la temperatura tienen efecto directo en la velocidad de generación de metano (González y Longoria, 2005; Amon *et al.*, 2006). Por lo que el intervalo de pH idóneo es 6.0 a 7.8 (Safley, 1992).

Un cambio de CE se observó desde los 35 d (11.09 a 4.06 mS cm⁻¹). Este resultado es similar al reportado por Soria *et al.* (2001) en la biodigestión de excretas líquidas porcinas en un periodo de 50 d; su proceso inició con 5.8 mS m⁻¹ y finalizó con 4.08 mS cm⁻¹. Esos autores indican que la disminución en CE se debió al consumo de compuestos solubles del sustrato por los microorganismos. Esto es posible porque los microorganismos están en su etapa logarítmica de reproducción.

Las concentraciones de sodio en las muestras del día 1 al 19 fueron casi constantes y aumentaron desde los 22 d hasta los 48 d; de forma simultánea disminuyó la concentración de potasio. Al parecer esto se debe a modificaciones en la alimentación a los digestores.

Es probable que con la disminución y aumento de estos iones, el promedio de la conductividad eléctrica fuera 8.94 ± 2.8 y 8.4 ± 2.71 mS cm⁻¹ para biol bovino y porcino. Estos valores equivalen a sus bases intercambiables respectivas de sodio, potasio, calcio y magnesio, cuyas concentraciones también fueron superiores en el biol bovino y con la salinidad expresada en porcentaje de NaCl. Además, la conductividad eléctrica de suelos muy salinos está entre 8 y 16 mS cm⁻¹, por lo cual el biol se puede usar en suelos con salinidad baja o en cultivos resistentes a esta característica.

Oxígeno disuelto (OD) y potencial óxido-reducción (ORP)

El OD en el biol bovino y porcino fue 0.30 ± 0.0196 y 0.29 ± 0.0348 (Figura 1), y el ORP fue $-308,38 \pm 49.036$ y $-223,41 \pm 45,345$ mV para cada biol. La reducción de oxígeno disuelto respecto al agua saturada con oxígeno (7.21 ppm) mostró el

and Wopera, 2012), methane was generated up to 60 %.

The variation of pH during the 45 d remained within the optimal range, confirming the proper operation of the digester. The pH of cattle and porcine bioles is similar and shows some relationship with those documented by Quipuzco *et al.* (2011), with neutral or slightly alkaline range. These values showed that bioles might be applied to all crops, including fruit trees. The pH and temperature have a direct effect on the rate of methane generation (González and Longoria, 2005; Amon *et al.*, 2006). Therefore, the ideal pH range is between 6.0 and 7.8 (Safley, 1992).

We observed a change of EC after 35 d (11.09 to 4.06 mS cm⁻¹). This result is similar to that reported by Soria *et al.* (2001) in bio-digestion of pig liquid manure over a period of 50 d; the process began with 5.8 mS m⁻¹ and ended with 4.08 mS cm⁻¹. The authors point out that the decrease in CE was due to the consumption of substrate soluble compounds by microorganisms. This may be possible since microorganisms are in their logarithmic stage of reproduction.

Sodium concentrations in samples from day 1 to 19 were almost constant and an increase was observed from 22 to 48 d, as well as a lower concentration of potassium. This apparently was due to changes in the feed to the digesters.

It is probable that with the decrease and increase of these ions, the average electrical conductivity was 8.94 ± 2.8 and 8.4 ± 2.71 mS cm⁻¹ for cattle and porcine bioles. These values are equivalent to their respective sodium, potassium, calcium and magnesium exchangeable bases, whose concentrations also showed higher values in cattle biol and salinity expressed as a percentage of NaCl. Furthermore, the electrical conductivity of very saline soils is between 8 and 16 mS cm⁻¹; therefore, the biol can be used in low salinity soils or crops resistant to this feature.

Dissolved oxygen (DO) and oxidation reduction potential (ORP)

The DO in cattle and porcine bioles was 0.30 ± 0.0196 and 0.29 ± 0.0348 , and ORP was $-308,8 \pm 49.036$ and $-223,41 \pm 45,345$ mV for each biol (Figure 1). The reduction of dissolved oxygen in

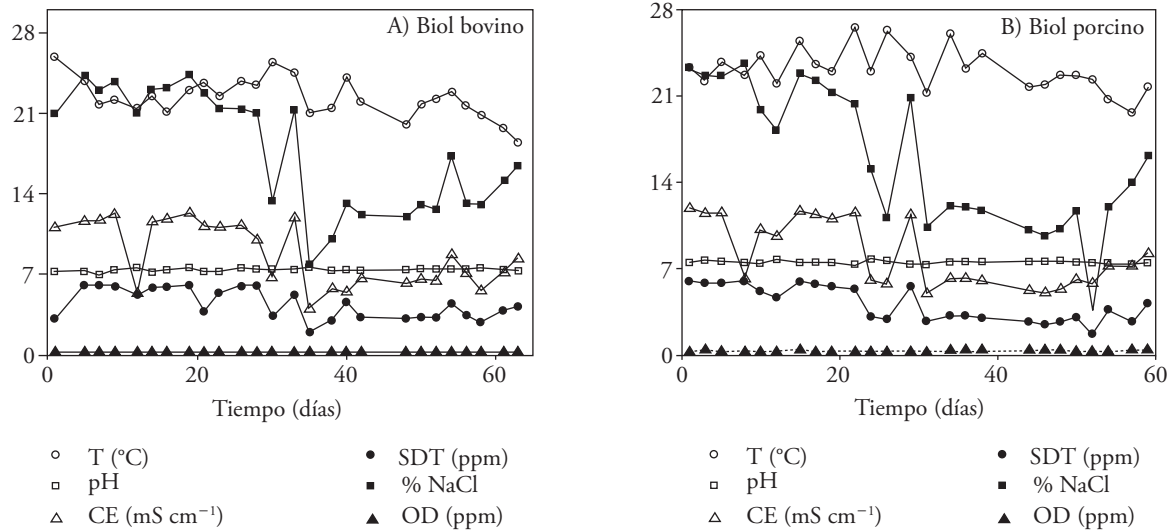


Figura 1. Temperatura, pH, conductividad eléctrica (CE), sólidos disueltos totales (SDT), salinidad y oxígeno disuelto (OD) en: A) biol bovino; B) biol porcino.

Figure 1. Temperature, pH, electrical conductivity (EC), total dissolved solids (TDS), salinity and dissolved oxygen (DO) in: A) cattle biol; B) porcine biol.

consumo de oxígeno por el proceso de biodegradación, y los valores negativos de ORP indicaron que el potencial era fuertemente reducción. El OD y ORP fueron acordes con el proceso anaeróbico en los Sistemas Biobolsa®.

Porcentaje de humedad, sólidos totales (ST), sólidos volátiles (SV) y cenizas

Los porcentajes promedio de humedad fueron 95.18 ± 1.90 y 96.21 ± 2.88 %, de sólidos totales 4.81 ± 1.89 % y 3.87 ± 2.89 %, de sólidos volátiles 3.29 ± 1.40 % y 2.48 ± 2.01 % y cenizas 1.51 ± 0.50 % para los bioles bovino y porcino, respectivamente.

Los ST en ambos bioles fueron inferiores a los reportados por Baserja (1984), quien señaló que los procesos anaeróbicos con excretas pueden ser inestables con niveles de ST menores a 7 %. Por lo cual es posible que el proceso en nuestro estudio estuvo dentro de los límites de control, $3 \pm \sigma$, durante los 45 d de muestreo en ambos bioles (Figuras 1 y 2).

Sin embargo, es posible que la concentración baja de ST haya repercutido en el rendimiento bajo de biogás. Al respecto, Budiyo *et al.* (2010) evaluaron el efecto de los ST en la velocidad de producción de biogás, durante la fermentación anaeróbica de excretas

relation to water saturated with oxygen (7.21 ppm) showed oxygen consumption by the biodegradation process, and the negative values of ORP indicated that the potential was strongly reducing. The OD and ORP were in line with the anaerobic process in the Sistemas Biobolsa®.

Humidity percentage, total solids (TS), volatile solids (SSV) and ashes

The average humidity percentages were 95.18 ± 1.90 and 96.21 ± 2.88 %, total solids 4.81 ± 1.89 % and 3.87 ± 2.89 %, volatile solids 3.29 ± 1.40 % and 2.48 ± 2.01 %, and ash 1.51 ± 0.50 % for cattle and porcine bioles, respectively.

The ST in both bioles were lower than those reported by Baserja (1984) who pointed out that the anaerobic processes with excreta can be unstable, with ST levels below 7 %. Thus, it is possible that the process in our study was within the control limits, $3 \pm \sigma$, during the 45-day sampling in both bioles (Figures 1 and 2).

However, it is possible that the low concentration of ST has affected the poor performance of biogas. In this regard, Budiyo *et al.* (2010) evaluated the effect of ST in the speed of biogas production during the anaerobic fermentation of cattle manure, and the

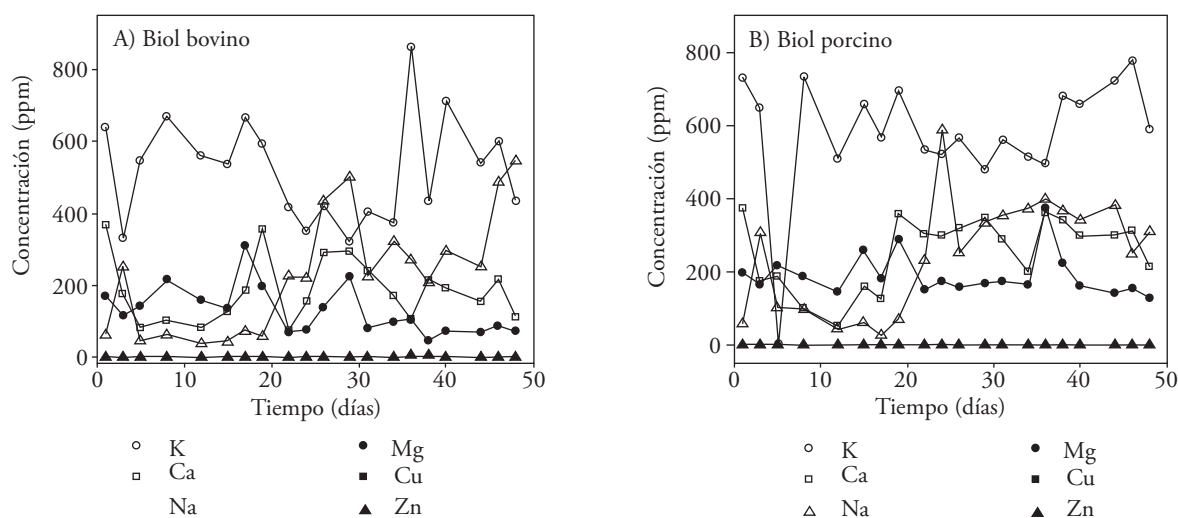


Figura 2. Análisis elemental de micronutrientes de: A) biol bovino; B) biol porcino descargado por el Sistemas Biobolsa® durante dos meses.

Figure 2. Elemental analysis of micronutrients: A) cattle biol; B) porcine biol discharged by the Sistemas Biobolsa® for two months.

bovinas, y el intervalo óptimo de ST fue 7 a 9 % (corresponde a una proporción de excretas al volumen total del líquido 1:1). Weiland (2006) señaló que para una fermentación anaeróbica húmeda este nivel es 8 a 10 %. No obstante, con concentración baja de ST el contenido de agua aumenta, y éste es uno de los parámetros más relevantes en la digestión anaeróbica, por el movimiento y crecimiento de bacterias y por la facilidad de disolución y transporte de nutrientes (Sadaka y Engler, 2003).

Análisis de macronutrientes y micronutrientes

Los valores promedio de fósforo y potasio fueron menores a los reportados por Quipuzco *et al.* (2011) y el nitrógeno amoniacal estuvo en concentración cercana a la observada por Pötsch (2004). La producción de $\text{NH}_4\text{-N}$ se debe a la degradación de proteínas durante el proceso anaeróbico y su concentración fue mayor que cualquier otro elemento. Esto concorció con lo publicado por Álvarez y Lide'n (2008).

Las concentraciones de sodio, calcio y magnesio no variaron, excepto en los días 18 y 26 (Figura 2). No obstante, el funcionamiento del biodigestor se mantuvo estable (variabilidad $\pm 3 \sigma$). Las concentraciones de estos elementos fueron superiores a las obtenidas por Soria *et al.* (2001), lo cual podría beneficiar los cultivos agrícolas, si se utiliza como suplemento o biofertilizante.

optimum range of ST was between 7 and 9 % (which corresponds to a 1:1 excreta and the total volume of liquid ratio). Weiland (2006) pointed out that in a humid anaerobic fermentation this level is between 8 and 10 %. However, with a low concentration of ST water content increases, and this is one of the most important parameters in the anaerobic digestion due to the movement and growth of bacteria, as well as the easy dissolution and transport of nutrients (Sadaka and Engler, 2003).

Analysis of macro- and micronutrients

The average values of phosphorus and potassium were lower than those reported by Quipuzco *et al.* (2011), and ammonia nitrogen recorded a similar concentration to that observed Pötsch (2004). The production of $\text{NH}_4\text{-N}$ is due to protein degradation during anaerobic process, and its concentration was higher than any other element. This was consistent with that published by Alvarez and Lide'n (2008).

The concentrations of sodium, calcium and magnesium did not change, except on days 18 and 26 (Figure 2). However, the operation of the digester was stable ($\pm 3 \sigma$ variability). The concentrations of these elements were higher than those obtained by Soria *et al.* (2001), which could benefit agricultural crops, when used as a supplement or bio-fertilizer.

Los contenidos de Ca y Mg fueron significativamente ($p \leq 0.05$) diferentes entre los bioles. Estas diferencias pueden deberse a la dieta y a la digestión (Miller y Vare, 2003), y no tanto al proceso. La variación también depende de la proporción de agua y excremento en la alimentación de las biobolsas, y de la cual dependen las solubilidades de los macro y micro elementos, que a la vez están relacionadas directamente con el pH (López, 1994; Pérez de Mora *et al.*, 2006).

La concentración de potasio fue cercana al doble de la del sodio y esa proporción coincidió con la obtenida por Lamprey *et al.* (1986). El potasio puede provenir en mayor proporción de la orina, más que del estiércol (Yasukawa y Quintero, 1998).

Las fracciones de materia orgánica fueron 32.85 y 23.86 g L⁻¹ en los bioles bovino y porcino, por lo cual pueden ser aporte importante en suelos pobres en materia orgánica.

CONCLUSIONES

Los Sistemas Biobolsa® se mantuvieron estables durante dos meses, según la temperatura y el pH. Un cambio aislado afectó a los parámetros dependientes CE y SDT y el porcentaje de NaCl. Los valores de pH muestran tendencia a la neutralidad, por lo cual las condiciones de fermentación son las adecuadas. La CE y las concentraciones de K y Na superan a las requeridas para un cultivo agrícola, en tanto que las concentraciones de Ca, Mg, y Zn son aceptables. Por lo tanto el biol puede aplicarse como enriquecedor de fertilizante. Los contenidos de Ca y Mg son diferentes en bioles bovino y porcino.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a IRRI de México, por el soporte económico y técnico para la realización de este Proyecto.

LITERATURA CITADA

- Álvarez-Solís, J. D., D. A. Gómez-Velasco, N. S. León-Martínez, y F. A. Gutiérrez-Miceli. 2010. Manejo integrado de fertilizantes y abonos orgánicos en el cultivo de maíz. *Agrociencia* 44: 575-586.
- Álvarez, R., and G. Lide'n. 2008. The effect of temperature variation on biomethanation at high altitude. *Biores. Tech.* 99: 7278-7284
- Amon, Th., B. Amon, V. Kryvoruchko, V. Bodiroza, E. Potsch, and W. Zollitsch. 2006. Optimising methane yield from anaerobic digestion of manure: Effects of dairy systems and

The contents of Ca and Mg were significantly ($p \leq 0.05$) different between bioles. These differences may be due to diet and digestion (Miller and Vare, 2003), rather than the process itself. Change also depends on the proportion of water and excrement in the food of bio-bags, which the solubilities of the macro and micro elements depend on, which in turn are directly related to the pH (López, 1994; Pérez de Mora *et al.*, 2006).

Potassium concentration was almost twice that of sodium; this ratio coincided with that obtained by Lamprey *et al.* (1986). Potassium can come in greater proportion from urine rather than manure (Yasukawa and Quintero, 1998).

Organic matter fractions were 32.85 and 23.86 g of L⁻¹ in cattle and porcine bioles; therefore, they can greatly contribute to improve the quality of soils poor in organic matter.

CONCLUSIONS

The Sistemas Biobolsa® remained stable for two months, depending on temperature and pH. An isolated change affected CE and SDT dependent parameters, and percentage of NaCl. The pH values showed a tendency to neutrality, so the fermentation conditions were appropriate.

The EC and the concentrations of K and Na exceeded those required for agricultural crops, whereas concentrations of Ca, Mg, and Zn were acceptable. Therefore the biol may be applied as fertilizer enhancer. The contents of Ca and Mg are different in cattle and porcine bioles.

—End of the English version—

—*—

of glycerin supplementation. *Inter. Con. Ser.* 1293: 217-220.

- Baserja, U. 1984. Biogas production from cowdung: Influence of time and fresh liquid manure. *Swiss-Biotech* 2: 19-24.
- Budiyono, I. N. Widiya, S. Johari, and Sunarso. 2010. The Influence of total solid contents on biogas yield from cattle manure using rumen fluid inoculum. *Energ. Res. J.* 1: 6-11.
- González, Á. E., y R. Longoria-Ramírez. 2005. Variación del pH durante los procesos anaerobios de emisión de metano por el secado y la fermentación de excretas de ganado bovino en el centro de México. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 21: 159-170.

- Lamprey, J., M. Moo-Young, and C. W. Robinson. 1986. Use of manure liquor as nutrient source for ethanol fermentation. *Biotechnol. Lett.* 8: 525-528.
- López, A. 1994. El biocompostaje de los residuos agroindustriales y el mejoramiento de la agricultura. Serie: Biocenosis (Costa Rica) 11: 20-25.
- Miller, D. N. and V. H. Varel. 2003. Swine manure composition affects the biochemical origins, composition, and accumulation of odorous compounds. *Am. Soc. Anim. Sci.* 81: 2131-2138.
- Nagy, G., y A. Wopera. 2012. Biogas production from pig slurry – feasibility and challenges. *Mat. Sci. Eng.* 37: 65-75.
- NMX-AA-007-SCFI-2000.- Análisis de agua - Determinación de la temperatura en Aguas Naturales, Residuales y Residuales tratadas -Método de Prueba (Cancela a la NMX-AA-007-1980)
- NMX-AA-008-SCFI-2011.- Análisis de Agua - Determinación del pH -Método de Prueba- (Cancela a la NMX-AA-008-SCFI-2000)
- NMX-AA-034-SCFI-2001.- Análisis de Agua - Determinación de Sólidos y Sales. Disueltas en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas - Método de Prueba (Cancela a las NMX-AA-020-1980 Y NMX-AA-034-1981)
- NMX-AA-051-SCFI-2001- Análisis de Agua - Determinación de Metales por Absorción Atómica en Aguas Naturales, Potables, Residuales y Residuales Tratadas - Método de Prueba (Cancela A LA NMX-AA-051-1981)
- Pérez de Mora, Madrid A., F. Madejón E., y F. Cabrera. 2006. Solubilidad y disponibilidad de elementos traza en suelos contaminados tratados con distintas enmiendas. *Edafología* 13: 39-44.
- Pötsch, E., E. Pfundtner, R. Resch, P. Much. 2004. Stoffliche Zusammensetzung und Ausbringungseigenschaften von Gärrockstanden aus Biogasanlagen (Composición y características de uso de restos fermentados de las plantas de biogás).
- Alpenländisches Expertenforum, Bundessanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein Irdning Austria. pp: 18-19
- Quipuzco, U., L., W. Baldeón Q., y O. Tang C. 2011. Evaluación de la calidad de biogas y biol a partir de dos mezclas de estiércol de vaca en biodigestores tubulares de PVC. *Rev. Inst. Inv. Fac. Geolog. Minas, Metalurg. Cienc. Geográf.* 14: 99-107.
- Sadaka, S.S. and C. R. Engler. 2003. Effect of initial total solids on composting of raw manure with biogas recovery. *Compost. Sci. Util.* 11: 361-369
- Safley L. M. 1992. Global Methane Emissions from Livestock and Poultry Manure. U.S. Environmental Protection Agency, Washington. 175 p.
- Siura, S. and S. Davila. 2008. Effect of green manure rotation, biol and cultivar on the production of organic spinach (*Spinacea oleracea*) 16th IFOAM Organic World Congress, Modena, Italy, June 16-20.
- Soria M., de J., R. Ferrera-Cerrato, J. Etchevers, G. Alcántar, J. T. Santos, L. Borges, y G. Pereyda. 2001. Producción de biofertilizantes mediante biodigestión de excreta líquida de cerdo. *Terra Latinoam.* 19: 353-362.
- Weiland, P. 2006. Biomass digestion in agriculture: a successful pathway for the energy production and waste treatment in Germany. *Eng. Life Sci.* 6: 302-309.
- Yasukawa, K., y M. Quintero. 1998. Las hortalizas más seguras y sabrosas. Panamá. Programa de Agricultura Orgánica. MIDA-JICA. Ministerio de Desarrollo Agropecuario. Dirección Nacional de Agricultura. Departamento de Hortalizas, Raíces y Tubérculos 1: 26-37
- Yokoyama, H1, M. Waki, N. Moriya, T. Yasuda, Y. Tanaka, and K. Haga. 2007. Effect of fermentation temperature on hydrogen production from cow waste slurry by using anaerobic microflora within the slurry. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 74: 474-483.