

ESTIMATION OF THE MICROBIOLOGICAL VARIABLES OF THE BOVINE AND GOAT MANURE MIXTURE ANAEROBIC DIGESTION

ESTIMACIÓN DE LAS VARIABLES MICROBIOLÓGICAS DE DIGESTIÓN ANAERÓBICA DE LA MEZCLA ESTIERCOL BOVINO Y CAPRINO

BRITTO, Y. K.¹; COTES, D. A.²; RUDAS, A³

¹ **Msc. Yassuana Katyuska Britto López. Profesor,**
Programa de Ingeniería de Minas, Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas, Fundación Universitaria del Área Andina, e-mail: yabritto@areandina.edu.co. ORCID. <https://orcid.org/0000-0002-4398-5650>

² **Msc. Daniel Andrés Cotes García. Profesor Asistente,**
Programa Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas, Fundación Universitaria del Área Andina, e-mail: dcotes@areandina.edu.co. ORCID. <https://orcid.org/0000-0003-3936-2669>

³ **Msc. Antonio Rudas Muñoz. Ingeniero Forestal**
Programa de Maestría en Gestión Ambiental e Ingeniería Ambiental, Fundación Universitaria del Área Andina, e mail: anrudas@areandina.edu.co. ORCID. 0000-0002-8401-6071

Entidad

Fundación Universitaria del Área Andina, Dir: Calle 43 No. 57 - 14. CAN. Bogotá, Colombia

E-mail: yabritto@areandina.edu.cob

Recibido: 08/07/2023 / Aceptado: 15/11/2023

Resumen

El proceso de digestión anaerobia permite que por medio de un biodigestor en ausencia de oxígeno y utilizando excretas de animales se pueda obtener como resultado biogás + biofertilizante. Este proceso permite que dentro del biodigestor se genere una serie de reacciones bioquímicas, donde diferentes microorganismos a temperaturas y pH, determinado, generen la descomposición de la materia orgánica convirtiéndola en biogás y biofertilizante. En este artículo se realizó un análisis microbiológico del afluente y efluente del biodigestor y el análisis de control de calidad del biofertilizante producto del proceso de la codigestión de excretas caprinas y bovinas en la finca la Esperanza en Aguas Blancas, Cesar. Se pudo concluir que el proceso de generación de biogás es óptimo debido a que en su proceso se ha evidenciado por medio de análisis de laboratorio la presencia de microorganismos necesarios en cada una de las etapas del proceso de biometanización.

Palabras clave: Microorganismos, biofertilizante, biogás, biodigestor, digestión anaerobia.

Abstract

The anaerobic digestion process allows that by means of a biodigester in oxygen absence and using animal excreta we can obtain biogas + biofertilizer as a result. The anaerobic digestion process allows a series of biochemical reactions to be generated within the biodigester, where different microorganisms at temperatures and pH, determined, generate the organic matter decomposition, turning it into biogas and biofertilizer. In this article, a microbiological analysis of the tributary and the biodigester effluent and the biofertilizer quality control analysis product of the goat and bovine excreta codigestion process at La Esperanza farm in Aguas Blancas, Cesar was carried out. It is concluded that the biogas generation process is optimal because in its process the presence of microorganisms necessary in each of the biomethanization process stages has been evidenced by means of laboratory analysis.

Keywords: Microorganisms, biofertilizer, biogas, biodigester, anaerobic digestion.

1. INTRODUCCIÓN

La digestión anaeróbica consiste en la descomposición por la acción de las bacterias en ausencia de oxígeno de los desperdicios orgánicos, a partir de este se obtiene el biogás, el cual se utiliza para generar calor o electricidad (Creus, 2009).

En este proceso, las especies de microorganismos involucrados varían dependiendo de los materiales que serán degradados; por ejemplo, los alcoholes, ácidos grasos, y los enlaces aromáticos pueden ser degradados por la respiración anaeróbica de los microorganismos. Sin embargo, otros microorganismos también compiten por el nitrato como aceptor de electrones, por lo que el nitrato se reduce rápidamente a amonio y el nitrato como reductor juega un papel secundario en los procesos de fermentación (FAO, 2011).

Como resultado de lo anterior, las excretas producto de la ganadería tienen un gran aporte de GEI (Gases de efecto invernadero) puesto que además del CO₂ se generan otros gases representativos como son el CH₄ y el N₂O, ya que, según

estudios, el mayor porcentaje de GEI enviados al ambiente están relacionados con la fermentación entérica y la descomposición del estiércol; por lo tanto, se considera que la ganadería aporta aproximadamente un 18% de los GEI emitidos a nivel mundial (FAO, 2011).

Dentro de este orden de ideas, un elemento fundamental para obtener biogás a partir de la digestión anaeróbica es el biodigestor, el cual es un tanque cerrado que puede tener cualquier forma (cilíndricos, rectangulares, esféricos o semiesféricos), tamaño (dependiendo la producción de biogás), y material (Corona, 2007).

Cabe considerar, que para el diseño de biodigestores y la combinación de excretas, en los últimos años se han publicado varios estudios relacionados con bovinos y ovinos, pero con caprinos estos no se consiguen con mucha frecuencia; dentro de los estudios más recientes, se resalta el estudio realizado por Palacios (2020), quien evaluó el efluente líquido de un biodigestor alimentado con excretas bovinas con diferentes tipos de retención

hidráulica, en el cual se analizaron nutrientes, P, Zn, Mn, Mg, K, relación Carbono Nitrógeno y Ph.

Además, la FAO (2019) publicó la Guía Teórico-Práctica sobre el biogás y los biodigestores, en la cual se menciona la importancia de evaluar los microorganismos presentes en la biodigestión, ya que estos hidrolizan rápidamente los carbohidratos, proteínas y grasas (moléculas complejas y de alto peso).

Así mismo, Díaz y Vecino (2017) publicaron un estudio en el cual evaluaron el digerido de un biodigestor rural a la Estruvita, el cual presentó altos contenidos de nutrientes que son importantes para su uso como fertilizante. Sin embargo, la aplicación requirió un post-tratamiento debido a la presencia de agentes patógenos (Coliformes fecales, huevos de Helminto y Salmonella spp.).

En la misma línea, Carhuancho (2017) realizó un estudio en el que evaluó la calidad del biol obtenido de la digestión anaerobia de gallinaza, con el fin de determinar coliformes totales y fecales y elementos como fosforo, nitrógeno, potasio, calcio y magnesio.

Sin duda alguna, el Cesar es uno de los departamentos ganaderos por excelencia y esta actividad económica genera residuos con gran potencial energético que hoy en día se están desaprovechando. Según el censo ganadero del ICA (2019), el departamento tiene 1.482.922 cabezas de ganado bovino y 31.832 cabezas de ganado caprino. Además, la cantidad de estiércol que esta actividad genera en el

departamento es aproximadamente 1.527 t (Vera, et al., 2013).

Debido a lo anterior, la finalidad de este estudio es estimar las variables microbiológicas de digestión anaeróbica de la mezcla estiércol bovino y caprino en un biodigestor aplicado en la finca la esperanza en aguas blancas cesar, para ello se realizará un diagnóstico del estado actual de las excretas bovinas y caprinas generadas en la finca; luego, se identificarán las variables microbiológicas que se estimarán para la digestión anaeróbica de la mezcla estiércol bovino y caprino, y finalmente, se analizarán las variables microbiológicas estudiadas a partir de la realización de los ensayos (Medina *et al.*, 2015).

2. METODOLOGIA

2.1 Localización geográfica

La finca La Esperanza se encuentra ubicada en el Corregimiento Aguas Blancas en el municipio de Valledupar, Cesar, en las coordenadas 10.240460, -73.475828, a una altura de 100 m.s.n.m.). Este corregimiento limita al norte con el municipio de Pueblo Bello, al oriente limita con el corregimiento Valencia de Jesús; hacia el sur limita con el municipio de San Diego; y hacia el occidente limita con el corregimiento de Mariangola (Ver figura 1).

2.2 Materiales

Inicialmente, se hizo una revisión documental de las diferentes bases de datos académicas y científicas. Posteriormente, se realizaron salidas de campo a la finca La Esperanza, en donde se instaló un biodigestor tabular: "Sistema 8" (Ver figura 2), suministrado por la empresa Sistema.Bio® (Sistema.Bio,

2020), el cual está compuesto por: una tina de alimentación, reactor, tina de biol, tuberías de entrada y salida, válvula de alivio, filtro de biogás, estufa y línea de biogás.

El proceso de biodigestión para este proyecto comenzó con la fase de instalación del reactor, la cual se realizó el 1 de octubre del 2020, con una carga inicial de 180 kg de excretas bovinas y aproximadamente 540 litros de agua, con el fin de tener una relación 1:3, con esta carga inicial se dejó el reactor por 20 días, y al día 20 de monodigestión, la cúpula alcanzó al máximo de extensión, alcanzando un tiempo de retención hidráulica óptimo para la temperatura ambiente de 35 a 37°C (temperatura media del corregimiento) (Ver tabla 1).

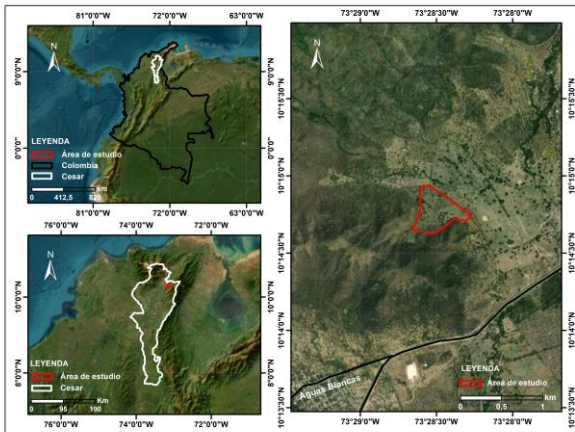


Figura 1. Localización de la zona de estudio.
Fuente: Autores (2023).



Figura 2. Biodigestor sistema bio 8 instalado.

2.3 Fases de instalación, arranque y estabilización del biodigestor

Tabla 1. Tiempo de Retención Hidráulica de la FAO

Fermentación	Mínimo	Óptimo	Máximo	Tempo de Fermentación
Psycrophilica	4-10°C	15-18°C	20-25°C	Sobre 100 días
Mesophilica	15-20°C	25-35°C	35-45°C	30-60 días
Thermophilica	25-45°C	50-60°C	75-80°C	10-15 días

Luego de ese día se procedió a la carga diaria de 65 kg de estiércol bovino y 190 litros de agua diariamente, con esta carga se obtuvo la estabilización de reactor, obteniendo una producción de biogás con curva creciente.

Después de 4 meses de estabilización del sistema en monodigestión, se inició el proceso de codigestión, en el mes de febrero de 2021, con una relación de 3:1, pero en este caso con una mezcla de relación: 16,66% de excretas caprinas, un 83,33% de excretas bovinas (Ver tabla 2).

Tabla 2. Relación de proporción excretas-Agua y el THR

Excreta bovina	Excreta Caprina	Agua	TRH
50 Kg	10 Kg	180 Lts	25 días

2.4 Procedimiento

El presente estudio se dividió en tres fases, las cuales se describen a continuación:

Fase I: Diagnóstico del estado actual de las excretas bovinas y caprinas generadas en la finca. En esta etapa se realizó una entrevista al propietario de la finca y se llevó a cabo el proceso de observación en las instalaciones de la misma.

Fase II: Identificación de las variables microbiológicas que se estimarán para la digestión anaeróbica de la mezcla estiércol bovino y caprino. Esta etapa se basó en la revisión bibliográfica relacionada con estudios previos en donde se hayan analizado los efluentes que resultan de la digestión anaerobia.

Fase III: Análisis de las variables microbiológicas estudiadas. En esta última etapa se realizaron ensayos microbiológicos y de calidad para el afluente, efluente y biol, en el laboratorio Dr. Calderón Asistencia Técnica Agrícola Ltda en la ciudad de Bogotá.

3. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1 Diagnóstico del estado actual de las excretas bovinas y caprinas

Para el proyecto se contó con las excretas provenientes de los dos establos de caprinos y bovinos que había en la finca, cabe aclarar que estos fueron rotando durante la duración del proyecto, y hubo épocas del mismo donde vario la cantidad de excretas disponibles (principalmente de caprinos). La finca contaba con una población de 91 bovinos (entre machos, hembras y terneros) y 20 caprinos (entre

machos y hembras), los cuales estaban ubicados en establos diferentes, para los bovinos existen dos establos, uno abierto y sin piso, y otro con techo (que era del que se recolectaba la excreta fresca) (Ver figura 3 y 4).

Todo el día se recolectaba la excreta fresca y se mezclaba en un tanque con una porción de agua, dejándose reposar por algunas horas, antes de verterla dentro del biodigestor (Ver figura 5).



Figura 3. Establo de bovinos



Figura 4. Establo de caprinos

Algunas veces para cumplir con el requerimiento de la mezcla, se recolectó estiércol caprino de un establo aledaño, donde los chivos tienen el mismo tipo de alimentación que los propios de la finca.



Figura 5. Tanque amarillo para la mezcla de las excretas antes de verterlo en el biodigestor

3.2 Variables microbiológicas que se estimarán en la digestión anaeróbica de la mezcla estiércol bovino caprino

El proceso de digestión anaerobia permite la descomposición de materia orgánica, en ausencia de oxígeno, por medio del cual se pueden obtener biogás y biofertilizante; para que estos bioprocesos se puedan realizar de manera óptima la transformación de estos residuos necesitan unas condiciones de temperatura, pH, humedad, entre otros factores, que permitan un ambiente óptimo para que se genere un proceso de metanogénesis dentro del reactor. Cada etapa del proceso de biodigestión está marcada por bacterias y protozoos que permiten la desintegración y transformación en este caso de las excretas bovinas y caprinas que entran en el reactor hacer sinergia., en donde aproximadamente un 90% de la energía generada por el proceso de oxidación

permite la generación de metano, en donde el trabajo lo llevan a cabo los microorganismos metanogénicos que permiten la transformación del residuo en biogás (FAO, 2011).

Para que se lleve a cabo el proceso de fermentación metanogénica, por medio de la descomposición anaerobia de la materia orgánica, se deben generar 4 etapas principales: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis, y metanogénesis. En cada una de estas participan una serie de microorganismos los cuales actúan dependiendo del tipo de material que será degradado según la etapa del proceso presente, en todo el proceso de digestión anaerobia pueden intervenir alrededor de 139 especies de microorganismos diferentes.

Durante todo este proceso si se compara el afluente con el efluente, se evidencia que el proceso de digestión anaerobia dentro del reactor permite que se aumente el contenido de nitrógeno, se disminuyan los olores, y se disminuyan considerablemente las bacterias patógenas que pueden estar presente en el estiércol fresco, se disminuyen considerablemente los huevos de parásitos que pueden ser perjudiciales para la salud humana, haciéndolos casi nulos después del proceso de biodigestión, logrando que se puedan convertir en útiles para la utilización por medio del biofertilizante (Vargas, 2010).

Lo que se busca con este artículo es evaluar como es el comportamiento microbiológico enfocado a los principales patógenos animales que están presentes en las excretas caprinas y bovinas, que por medio de la digestión anaerobia

(temperatura, pH y tiempo de retención hidráulica), permiten que estos disminuyan su presencia.

Para el proceso de muestreo, se tomaron 2 litros de muestras de la entrada y salida del biodigestor y se determinó el análisis microbiológico de cada una de estas muestras, con ayuda de Laboratorios Calderón (Bogotá-Colombia), se llevaron a cabo los siguientes análisis de laboratorios (Ver tabla 3).

Tabla 3. Relación de ensayos microbiológicos a realizar.

TIPO ANÁLISIS	DE	MÉTODO ANALÍTICO
Salmonella SP		NTC 5167
Coliformes Totales		APHA 9221B
Coliformes Fecales		EPA 1680
Huevos de Helminetos	de	LBC 197
Bacterias Mesofílicas		NOM-004-SEMERNAT-2020 Anexo V
Aerobias		
Pseudomonas SP		LBC 197
Levaduras		LBC 198
Penicillium SP		LBC 199
Aspergillus SP		LBC 200
Mucor SP		LBC 201

3.3 Análisis de las variables microbiológicas estudiadas

Como resultados de los ensayos microbiológicos de entrada y salida, se evidenció que no había presencia de Salmonella SP, ni presencia de huevos de Helminetos; se evidenció un leve crecimiento de coliformes totales y fecales (Ver tablas 4 y 5).

Tabla 4. Análisis microbiológico de entrada del biodigestor

ENT. No.	NOMBRE CIENTÍFICO	POBLACIÓN
1	Salmonella SP	Ausencia/25ml
2	Coliformes Totales.	35 x 10 E 3

		NMP/ml
3	Coliformes Fecales	24 x 10 E 2
4	Huevos de Helminetos	< 1 Huevo/4g
5	Bacterias Mesofílicas	28 x 10 E 5
	Aerobias	UFC/ml
6	Pseudomonas SP.	12 x 10 E 3
		UFC/ml
7	Levaduras	< 10 UFC/ml
		3 x 10 E 1
8	Penicillium SP.	UFC/ml
		1 x 10 E 3
9	Aspergillus SP	UFC/ml
		1 x 10 E 1
10	Mucor SP.	UFC/ml

Tabla 5. Análisis microbiológico de salida del biodigestor

ENT. No.	NOMBRE CIENTÍFICO	POBLACIÓN
1	Salmonella SP	Ausencia/25mL
		54 x 10 E 3
2	Coliformes Totales.	NMP/ml
		24 x 10 E 2
3	Coliformes Fecales	NMP/ml
4	Huevos de Helminetos	< 1 Huevo/4g
5	Bacterias Mesofílicas	10 x 10 E 5
	Aerobias	UFC/ml
		12 x 10 E 2
6	Pseudomonas SP	UFC/ml
		1 x 10 E 3
7	Levaduras	UFC/ml
		1 x 10 E 3
8	Penicillium SP	UFC/ml
		5 x 10 E 2
9	Aspergillus SP	UFC/ml
		1 x 10 E 2
10	Mucor SP	UFC/ml

Se visualizó una notable disminución en los valores de la presencia de los microorganismos con respecto a entrada y salida del biodigestor.

Algunas de las entidades patógenas y no patógenas encontradas fueron: Penicillium (Hongo productor de penicilina, y es beneficioso para los humanos), Aspergillus (es un hongo común en heno y compostaje) y Mucor (es un hongo que se conoce comúnmente como moho), tanto en entrada como salida del biodigestor (Ver figura 5).

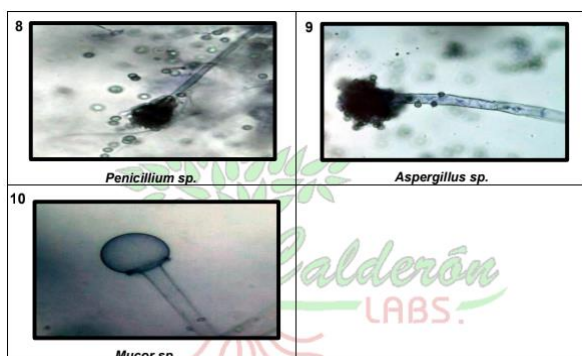


Figura 6. Microorganismos presentes en el efluente y afluente del biodigestor.

3.4 Control de Calidad del biol, como subproducto del proceso de codigestión de excretas bovinas y caprinas

Luego de realizar el análisis microbiológico del afluente y el efluente en el biodigestor alimentado con excretas bovinas y caprinas, se procedió a realizar el análisis de control de calidad del biol obtenido del proceso de digestión anaeróbica.

Los biofertilizantes son sustancias producto de la fermentación de materia orgánica (estiércol, purín, residuos vegetales, follajes), en los cuales una serie de microorganismos descomponen el material (Wong y Jiménez, 2009). Con el fin de evaluar su calidad, se aplicaron los siguientes métodos analíticos (ver tabla 6). Con estos análisis se pudo determinar algunas variables muy importantes para el uso posterior del biol, y también nos arroja información sobre la óptima actividad fisicoquímica, que se lleva a cabo dentro del biodigestor.

Tabla 6. Métodos analíticos para análisis de calidad del biol

ENSAYO	MÉTODOS ANALÍTICOS
Densidad a 20°	LBC 36 Gravimetría
pH en 10%	LBC 44

	Potenciometría
	LBC 41
C.E. en 1:200	Potenciometría
	SUMA DE
N. TOTAL	NITROGENOS
	NTC 211
N-NH4	Destilación
N-NO3	NTC 209 Devarda
N-ORGÁNICO	LBC 7 Kjeldahi
POTASIO SOLU.H2O	NTC 202 Emisión
	NTC 1369
CALCIO SOLU. H2O	Absorción A
	NTC 1369
MAGNESIO SOLU. H2O	Absorción A
	NTC 234
FOSFORO SOLU. H2O	Colorimetría
AZUFRE NTC 1154	
Turbidimetría	NTC 1860
BORO	Colorimetría
	NTC 1369
COBRE	Absorción A
	NTC 1369
MANGANESO	Absorción A
	NTC 1369
HIERRO	Absorción A
	NTC 1369
ZINC	Absorción A
	NTC 1146
SODIO	Emisión
C. ORGANICO	NTC 5167 Walkey
OXIDABLE TOTAL	Black
Rel. (C/N)	Cálculo
	LBC 426
Solidos Insoluble en H2O	Gravimetría

Dentro de los resultados obtenidos algunas variables de calidad más representativas que se obtuvieron fueron las siguientes:

1. pH: Según el manual de biogás de la FAO, el PH óptimo para actividad metanogénica debe estar en rangos entre 7.8 y 8.2. Aun que se aclara que para que funcione de manera óptima este no debe ser menor a 6.0 ni mayor a 8.0. Este factor influye directamente en la producción diaria de biogás.

2. Relación Carbono/Nitrógeno: Esta es la que permite conocer la cantidad de carbono que necesitan los microorganismos como fuente de energía para descomponer la materia orgánica, con respecto a la cantidad de nitrógeno que utilizan en su propia estructura celular. Normalmente la relación C/N que utilizan los microorganismos en la degradación orgánica están entre 20:1 y 30:1 (Guerrero et al, 2011).
3. Nutrientes (Nitrógeno, fosforo y potasio): Estos son nutrientes solubles que son muy beneficiosas al utilizarse como fertilizante natural en plantas (Martínez y López, 2018).

3.5. Análisis de Control de Calidad del biol, como subproducto del proceso de codigestión de excretas bovinas y caprinas

En el estudio de calidad del biol, resultante de la codigestión de excretas bovinas y caprinas, se obtuvo entre algunos de los datos más representativos una densidad del biol de 1,0034 g/ml, pH de 7,89, lo cual demuestra que el biodigestor está en una buena fase de metanogénesis, estando dentro del rango de funcionamiento; una relación C/N de 25.25:1 (Ver tabla 7).

Tabla 7. Análisis de calidad del biol

DENSIDAD a 20°C	1,0 g/ml 03 4.	MÉTODOS ANALÍTICOS	
pH en 10%	7,9 8.	LCB	36
C.E. en 1:200	0,0 dS/m 5	Gravimetría	
N. TOTAL	0,4 g/l 0	LCB	44
N-NH4	<0. g/l 10	Potenciometría	
N-NO3	<0. g/l 10	LCB	41
		Potenciometría	
		SUMA DE NITROGENOS	
		NTC	211
		Destilación	

N-ORGANICO	0,4 g/l 0		NTC	209
POTASIO SOLU. H2O	1,4 g/l 0	K2O Sol.	LCB	7 Kjeldahl
CALCIO SOLU. H2O	0,3 g/l 0	H2O 1,7 g/L Cao Sol.	NTC	202 Emisión
MAGNESIO SOLU. H2O	0,2 g/l 0	H2O 2 g/L MgO Sol.	NTC	1369 Absorción A.
FOSFORO SOLU. H2O	0,0 g/l 5	H2O 0,3 g/L P2O5 Sol.	NTC	1369 Absorción A.
		H2O 1 g/L		
AZUFRE	0,1 g/l 1		NTC	234 Colorimetría
BORO	0,0 g/l 3		NTC	1154 Turbidimetría
COBRE	0,0 g/l 02		NTC	1860 Colorimetría
MANGANE SO	0,0 g/l 07		NTC	1369 Absorción A.
HIERRO	0,0 g/l 14		NTC	1369 Absorción A.
ZINC	0,0 g/l 02		NTC	1369 Absorción A.
SODIO	0,1 g/l 0		NTC	1369 Absorción A.
C.ORGANI CO OXIDABLE TOTAL	10, g/l 10		NTC	1146 Emisión.
Rel. (C/N)	25, 25.		NTC	5167 Walkey Black
Sólidos Insolubles en H2O	1,6 g/l 0		Cálculo	
			LBC	426 gravimetría

Los nutrientes del biol más representativos, relacionados en los laboratorios N total: 0,40 g/l; P total: 0.05 g/l; K total: 1.40 g/l; Ca total: 0.30 g/l; Mg total: 0,2 g/l; Na total: 0,10 g/l; Fe total: 0,014 g/l; Cu total: 0,002 g/l; Zn total: 0,002 g/l; Mn total: 0,007 g/l; y B total: 0,03 g/l.

4. CONCLUSIONES

Se estimaron las variables microbiológicas de digestión anaeróbica de la mezcla de estiércol bovino y caprino en el biodigestor

ubicado en la finca La Esperanza, y se concluyó que hay ausencia de Salmonella, de huevos de helminto, y de hongos fitopatógenos.

Además, se encontró que hay presencia de coliformes totales y fecales, tanto en entrada como en salida, pero los fecales se mantienen constantes, y los totales tienen un aumento significativo.

A partir de lo anterior, se concluyó que el proceso de generación de biogás es óptimo, no solo porque es evidente y se está utilizando el biogás producido, sino también porque en su proceso se ha evidenciado por medio de análisis de laboratorio la presencia de microorganismos necesarios en cada una de las etapas del proceso de biometanización.

Adicionalmente, al biol resultado del proceso se le realizó el análisis de calidad, por medio del cual se llegó a la conclusión de que a no ser por la presencia de coliformes totales se podría utilizar en el riego de siembra de frutales y hortalizas, ya que tiene considerables presencias de minerales como son el potasio, magnesio, fosforo, nitrógeno, entre otros.

Por otro lado, el biofertilizante obtuvo un pH de 7,89, lo cual indica que el proceso de biometanización dentro del biodigestor es óptimo ya que se encuentra dentro del rango del pH deseado.

Finalmente, la relación carbono/nitrógeno obtenido fue de 25,25:1, la cual está dentro de lo esperado, teniendo en cuenta que en la mezcla se tiene mayor porcentaje de excreta de ganado bovino que caprino (ya que la relación de C/N de

ganado bovino es de 25:1 y la de caprino es de 40:1).

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Dios primeramente por darnos la sabiduría para desarrollar esta investigación, a nuestras familias por su apoyo incondicional, así como también a la Fundación Universitaria del Área Andina por los recursos asignados para la ejecución de las actividades de campo.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Corona, I. (2007). Biodigestores. Monografía para obtener el título de Ingeniero Industrial. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería. México.
- Creus, A. (2009). Energías renovables. Ed. Cano III, Ediciones de la U.
- FAO (2011). Manual de biogás. Chile. Guerrero C, Inga E. y Samaniego F. (2011). Optimización de un biodigestor en la depuración de agua residual con estiércol de ganado bovino.
- Instituto Colombiano Agropecuario (2019). Censo Pecuario Nacional - 2019. [En Línea]. [Consultado: 14 de enero de 2020]. Disponible en: <https://www.ica.gov.co/areas/pecuaria/servicios/epidemiologia-veterinaria/censos-2016/censo-2018>
- Martínez, C. y López, Y. (2018) Tratamiento y utilización de efluentes instalaciones de biogás como abonos orgánicos, revisión y análisis.
- Medina, A., Quipuzco, L. y Juscamaita, J. (2015). Evaluación de la calidad de biol de segunda generación de estiércol de

- ovino producido a través de biodigestores. *Anales Científicos*, 76 (1): 116-124. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima – Perú.
- Osorio, J., Ciro, H. y Sánchez, H. (2007). Evaluación de un sistema de biodigestión en serie para clima frío.
- Peña, T., Pérez, R., Miranda, A. y Sánchez L. (2008). Modelado de un reactor químico tipo CSTR y evaluación del control predictivo aplicando Matlab-Simulink.
- Peralta-Verán, L., Juscamaita-Morales, J. y Meza-Contreras, V. (2016). Obtención y caracterización de abono orgánico líquido a través del tratamiento de excretas del ganado vacuno de un establo lechero usando un consorcio microbiano ácido láctico. *Ecología Aplicada*, 15(1), Departamento Académico de Biología, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima – Perú.
- Vargas, M. (2010). Evaluación de la calidad química y microbiológica del efluente de dos biodigestores a escala en el ITCR para su utilización como bioabono en ensayos de invernadero.
- Informe presentado a la Escuela de Biología del Instituto Tecnológico de Costa Rica como requisito parcial para optar al título de Bachiller en Ingeniería en Biotecnología. Vera I., Estrada M., Martínez J. y Ortiz, A (2013). Potencial de generación de biogás y energía eléctrica Parte I: excretas de ganado bovino y porcino.
- Vargas, F. (2010). Evaluación de la calidad química y microbiológica del efluente de dos biodigestores a escala en el ITCR para su utilización como bioabono en ensayos de invernadero.
- Wong, M. y Jiménez, E. (2009). Comparación del efecto de 2 biofertilizantes líquidos a base de estiércol caprino y vacuno sobre parámetros de crecimiento de algarrobo (*Prosopis juliflora* (Sw.) DC.) en fase de Vivero.