

Biotempo (Lima)

latindex
catálogo



<https://revistas.urp.edu.pe/index.php/Biotempo>

ORIGINAL ARTICLE / ARTÍCULO ORIGINAL

METHANIZATION OF THE RESIDUAL BIOMASS OF TWO VARIETIES OF COCOA AND NUTRITIONAL CHARACTERIZATION OF THE BIODIGESTED SUBSTRATE

METANIZACIÓN DE LA BIOMASA RESIDUAL DE DOS VARIEDADES DE CACAO Y CARACTERIZACIÓN NUTRICIONAL DEL SUSTRATO BIODIGERIDO

Jordy Clemente Méndez-Vélez¹; Freddy Zambrano-Gavilanes^{2*} & Wilmer Ponce-Saltos³

¹ Instituto de Posgrado, Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Manabí, Ecuador. E-mail: jordyclementmendez@hotmail.com

² Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Manabí, Ecuador. E-mail: freddyzg_86@hotmail.com

³ Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, INIAP Estación Experimental Portoviejo, Laboratorio de Bromatología y Calidad de los Alimentos, Portoviejo, Manabí, Ecuador. wilmer.ponce@iniap.gob.ec.

* Corresponding Author: freddyzg_86@hotmail.com

Jordy Clemente Méndez-Vélez: <https://orcid.org/0000-0002-3340-0153>

Freddy Zambrano-Gavilanes: <https://orcid.org/0000-0003-0004-9122>

Wilmer Ponce-Saltos: <https://orcid.org/0000-0002-4250-5184>

ABSTRACT

Anaerobic digestion enables the degradation of the biodegradable organic fraction present in solid waste, transforming it into biogas with high methane content and high energy use, and a final residue with a high rate of destruction of pathogenic microorganisms which meets the conditions to be used as a soil improver and biofertilizer. In this context, the production of biogas and methane gas from the anaerobic digestion of two varieties of cocoa (CCN-51 and Nacional) was evaluated and the obtained substrate was nutritionally characterized. The following treatments were studied: T₁ Shell CCN-51 (20% ST); T₂ Shell CCN-51 (30% ST); T₃ Slime CCN-51; T₄ Shell CCN-51 + Slime CCN-51 (20% ST); T₅ Shell CCN-51 + Slime CCN-51 (30% ST); T₆ Shell Nacional (20% ST); T₇ Shell de Nacional (30% ST); T₈ Slime Nacional; T₉ Shell de Nacional + Slime Nacional (20% ST); T₁₀ Shell Nacional + Slime Nacional (30% ST); T₁₁ Shell CCN-51 + Shell Nacional (20% ST); and T₁₂ Shell CCN-51 + Shell from Nacional (30% ST). Biogas production was determined daily, and methane gas was also measured with the Orsat method. Physicochemical parameters of the biodigested substrates were analyzed. The T₆ Shell Nacional (20% ST) was the most outstanding in the production of accumulated biogas (1297.66 mL) and in the percentage of methane gas (76%). Different concentrations of macro and micronutrients were found in the biodigested biomass of the different treatments, with potential for use as a biofertilizer in plants.

Keywords: anaerobic digestion – biofertilizer – methane – *Theobroma cacao*

RESUMEN

La digestión anaerobia posibilita la degradación de la fracción orgánica biodegradable presente en los residuos sólidos, transformándola en biogás, con alto contenido en metano y con alto aprovechamiento energético, y en un residuo final con alta tasa de destrucción de microorganismos patógenos, que reúne condiciones para poder ser utilizado como mejorador del suelo y biofertilizante. En este contexto, se evaluó la producción de biogás y gas metano de la digestión anaeróbica de dos variedades de cacao (CCN-51 y Nacional) y caracterizado nutricionalmente el sustrato obtenido. Se estudiaron los siguientes tratamientos: T₁ Cáscara CCN-51 (20% ST); T₂ **Cáscara CCN-51 (30% ST)**; T₃ Baba CCN-51; T₄ Cáscara CCN-51 + Baba CCN-51 (20% ST); T₅ Cáscara CCN-51 + Baba CCN-51 (30% ST); T₆ Cáscara de Nacional (20% ST); T₇ Cáscara de Nacional (30% ST); T₈ Baba Nacional; T₉ Cáscara de Nacional + Baba Nacional (20% ST); T₁₀ Cáscara de Nacional + Baba Nacional (30% ST); T₁₁ Cáscara CCN-51 + Cáscara de Nacional (20% ST) y T₁₂ Cáscara CCN-51 + Cáscara de Nacional (30% ST). Fue determinada la producción de biogás diariamente, y además se efectuó la medición del gas metano con el método Orsat. Se analizaron parámetros fisicoquímicos de los sustratos biodigeridos. El T₆ Cáscara Nacional (20 % ST) fue el más destacado en la producción de biogás acumulado (1297,66 mL) y en el porcentaje de gas metano (76%). Diferentes concentraciones de macro y micronutrientes se encontraron en las biomásas biodigeridas de los diferentes tratamientos, con potencial para uso como biofertilizante en plantas.

Palabras clave: digestión anaeróbica – biofertilizante – metano – *Theobroma cacao*

INTRODUCCIÓN

El mundo avanza a un ritmo acelerado, cada día demandando más energía y con un creciente consumo de combustibles fósiles. Este acontecer mundial crea mayor preocupación entre los científicos, ya que es hora de desarrollar fuentes alternativas de energía (Pasquevich, 2016).

Los países latinoamericanos han tenido un crecimiento notable en el uso de energías renovables para la generación de electricidad. La energía a partir de la biomasa, la energía eólica y la solar han experimentado un fuerte crecimiento, sin embargo, su participación en el mix energético de los diferentes países sigue siendo pequeña (Washburn & Pablo-Romero, 2019).

Con el auge de las fuentes de energías renovables, se va tomando conciencia de la necesidad de reutilizar los recursos y materias secundarias provenientes de sus procesos con el fin de optimizar la producción (Shekdar, 2009). En esta búsqueda de procesos que los lleven a ahorros significativos de insumos o en otorgar valor agregado a los residuos; nace la idea de buscar un uso a los residuos de las plantas de procesamiento de productos agroindustriales para la generación de biocombustible (Raheman & Mondal, 2012; Correa *et al.*, 2016; Chávez & Rodríguez, 2016).

Los biocombustibles de primera generación son los procedentes de cultivos que tradicionalmente han sido utilizados para la alimentación (ej. cereales, remolacha azucarera, semillas oleaginosas, etc.) (Ho *et al.*, 2014), mismos que tienen efectos negativos por causar posible competencia entre los cultivos alimenticios. Los biocombustibles de segunda generación, producidos a partir de biomasa sin fines alimentarios, principalmente biomasa lignocelulósica como paja de cereal, bagazo, residuos forestales y cultivos energéticos cosechados específicamente para estos fines tales como hierbas vegetativas y bosques de rotación corta, presentan un elevado potencial para sustituir a los biocombustibles de primera generación eliminando la mayoría de incertidumbres generadas alrededor de éstos (Soh, 2016), siendo el biogás uno de los principales biocombustibles más usados de segunda generación .

La digestión anaerobia posibilita la degradación de la fracción orgánica biodegradable presente en los residuos sólidos, transformándola en biogás, con alto contenido en metano con alto aprovechamiento energético y en un residuo final estabilizado, con una alta tasa de destrucción de microorganismos patógenos, que reúne las condiciones para poder ser utilizado como mejorador del suelo y biofertilizante. Por ello, la digestión anaerobia presenta un balance energético positivo posibilitando tanto la

prevención de la contaminación como la recuperación sostenible de la energía (Reyes, 2017).

El cacao es un cultivo perenne de nombre científico *Theobroma cacao* Linnaeus, por lo general se desarrolla mejor en climas tropicales. El Ecuador exporta un 80% de cacao tipo nacional (sabor arriba) siendo conocido como exportador número uno de este tipo a nivel mundial, introduciendo el 70% del total de producción global en los mercados internacionales. Mientras que el 20% restante de las exportaciones proceden de variedades distintas como el CCN-51 (CEPAL, 2015).

Desde los inicios de la explotación cacaotera solo se ha aprovechado la semilla del cultivo para beneficios económicos, utilizada para la elaboración de chocolates, productos cosméticos, entre otros, lo que representa el 10% del total del fruto, mientras que el resto es desperdiciado. Las industrias por fines de lucro se han enfocado en obtener los mayores beneficios solo de las almendras, descartando por desconocimiento lo que se podría elaborar con los subproductos como la cáscara y mucilago de cacao, estimándose que, por cada t de cacao seco, quedan aproximadamente ocho t de residuos (Castillo & Rosado, 2016).

La cáscara de cacao tiene una composición química alta en fibra y carbohidratos, baja en proteínas y posible producción de gas metano, rica en lípidos y en materiales fermentables por acción de microorganismos. Todos estos componentes son de gran importancia para la generación de biogás (Sánchez, 2013). La ceniza de la cáscara también se destaca por tener un contenido elevado de óxido de potasio que tiene un promedio de 59,25%, siendo así una gran fuente de aprovechamiento para utilizar como fertilizantes y/o aprovechamiento mediante procesos termoquímicos como gasificación (Vivanco *et al.*, 2017). Es ante esto que se considera la utilización de la baba (mucilago) y cáscara de cacao, para la generación de biogás, y además darle un uso al substrato biodigerido que queda como residuo de la obtención de este, que generalmente es aplicado en los sistemas de producción agrícola, con fines fertilizantes, para de este modo mermar el uso de la fertilización de origen sintético (Carrillo & Valenzuela, 2015).

Considerando el número creciente de estudios que describen a los residuos de la producción cacaotera tales como cáscara y mucilago con potencial para la producción de biogás además de que expertos en el cambio climático recomiendan el urgente desarrollo de nuevas tecnologías por la creciente contaminación por CO₂, surge la propuesta de realizar una investigación en

la cual se evalúe mucilago, cáscara y una combinación de ambos para la producción de biogás.

Así la presente investigación tiene como principal objetivo evaluar la producción de biogás y gas metano de la digestión anaeróbica de dos variedades de cacao (CCN-51 y Nacional) y caracterizar nutricionalmente el substrato obtenido.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del experimento

El ensayo fue realizado en las instalaciones del laboratorio de Biocombustibles del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Portoviejo, y en la Universidad Técnica de Manabí, UTM, Ecuador.

Obtención de las biomásas de cacao

Cáscara y baba de Cacao CCN-51

La cáscara y baba de cacao CCN-51 fueron obtenidas en una propiedad agrícola que se encuentra provincia Guayas, cantón El Empalme recinto Los Palmares.

- Latitud: -1°5'54,6000"
- Longitud: -79°27'14,5184"
- Altitud: 63m

La cáscara de CCN-51 fue secada naturalmente al sol y molida con un molino de martillos eléctrico estacionario tipo Thomas Willey de 4 hp con una criba de 2 mm.

Cáscara de Cacao Nacional

La cáscara y baba de cacao nacional fue obtenida de una propiedad agrícola ubicada en el cantón El Empalme recinto Buena Suerte.

- Latitud: -1°0'29.3339"
- Longitud: -79°35'42.8009"
- Altitud: 76 m

La cáscara de cacao nacional fue secada naturalmente al sol y molida de igual manera que la de CCN-51.

El contenido de los macronutrientes de las biomásas de cacao se encuentra en la tabla 1.

Tabla 1. Contenido de Macronutrientes de las biomásas de cacao.

Biomásas	N	P	K	Ca	Mg
Baba Cacao Nacional	1,00	0,04	0,51	0,23	0,06
Cáscara Cacao Nacional	1,80	0,10	1,12	0,57	0,20
Baba Cacao CCN-51	0,80	0,01	0,39	0,22	0,07
Cáscara Cacao CCN-51	2,00	0,03	0,47	0,89	0,24

Inóculo

El inóculo se obtuvo a partir del lodo de la biodigestión anaeróbica de estiércol bovino, que fue digerido en un biodigestor tubular de la comunidad Los Palmares (El Empalme - Guayas). Las cantidades del inóculo fueron equivalentes al 10% del volumen total de las mezclas

afirmado en estudios realizados por Raheman & Mondal (2012).

Tratamientos a evaluar

El experimento estuvo constituido por 12 tratamientos mismos que se encuentran detallados en la Tabla 2.

Tabla 2. Descripción de los tratamientos estudiados.

Tratamientos	Cáscara g	Baba g	Agua g	Peso Total g	Vol. cm ³	Vol. Inoc. cm ³	Vol. total cm ³
T ₁ . Cáscara CCN-51 (20 % ST)	64,4	-	235,6	30,0	29,0	2,90	31,9
T ₂ . Cáscara CCN-51 (30 % ST)	96,6	-	203,4	30,0	29,0	2,90	31,9
T ₃ . Baba CCN-51	-	250,0	50,0	30,0	29,0	2,90	31,9
T ₄ . Cáscara CCN-51 + Baba CCN 51 (20 % ST)	32,2	125,0	142,8	30,0	29,0	2,90	31,9
T ₅ . Cáscara CCN-51 + Baba CCN 51 (30 % ST)	48,3	187,5	64,2	30,0	29,0	2,90	31,9
T ₆ . Cáscara Nacional (20 % ST)	65,1	-	234,9	30,0	29,0	2,90	31,9
T ₇ . Cáscara Nacional (30 % ST)	97,7	-	202,3	30,0	29,0	2,90	31,9
T ₈ . Baba Nacional	-	240,0	60,0	30,0	29,0	2,90	31,9
T ₉ . Cáscara Nacional + Baba Nacional (20 % ST)	32,5	120,0	147,5	30,0	29,0	2,90	31,9
T ₁₀ . Cáscara Nacional + Baba Nacional (30 % ST)	48,8	180,0	71,2	30,0	29,0	2,90	31,9
T ₁₁ . Cáscara CCN 51 + Cáscara Nacional (20 % ST)	32,2 CCN - 32,5 Nacional	-	235,3	30,0	29,0	2,90	31,9
T ₁₂ . Cáscara CCN 51 + Cáscara Nacional (30 % ST)	48,3 CCN - 48,9 Nacional	-	222,8	30,0	29,0	2,90	31,9

- ST: Sólidos Totales; Vol.: Volumen; Inoc.: Inoculante.

Conducción del experimento

Biodigestión a escala de laboratorio

El proceso de biodigestión se realizó siguiendo la metodología de Azevedo (2010) y Gavilanes *et al.* (2017) en que fueron utilizados microbiodigestores, mismos que fueron montados con frascos de vidrio inyectable de tipo penicilina con un volumen de 50 mL, donde se colocaron los tratamientos, para luego quedar herméticamente cerrados con tapa de goma y sellados con un anillo metálico.

Medición y almacenamiento del biogás obtenido

Para medir y almacenar el volumen de biogás, se utilizaron gasómetros que estuvieron elaborados con jeringas de 60 mL que fueron conectados a una sonda uretral y aguja.

Los biodigestores fueron alimentados siguiendo las especificaciones de cada tratamiento, utilizándose un total de 36 biodigestores, los mismos que una vez alimentados, serán sellados herméticamente con la tapa de goma y anillo metálico utilizando un alicate sellador.

Cuando los biodigestores estuvieron listos, fueron conectados a gasómetros para luego pasar a una

cámara incubadora BOD con luminosidad a 40° C de temperatura. El proceso se efectuó en el tiempo que duró la biodigestión. La producción de biogás en los gasómetros fue evaluada diariamente a través del desplazamiento del embolo de la jeringa, hasta terminar la actividad metanogénica.

Para la determinación del gas metano obtenido, se procedió a realizar mediante la adaptación del método Orsat en Kit desarrollado por Kunz & Sulzbach (2007), que consiste en un lavado del biogás en solución alcalina (16% de hidróxido de potasio en agua destilada). El Kit está compuesto por una jeringa de vidrio que es conectada por medio de un soporte que tiene otra jeringa plástica que contiene solución alcalina. Esta solución de NaOH entra en reacción con el CO₂, absorbiéndolo en solución como carbonato y bicarbonato. La diferencia que presenta entre los volúmenes iniciales y finales se ha utilizado para estimar la concentración de CO₂ y metano.

Biogás acumulado

Diariamente fue evaluada la cantidad de gas generada por cada tratamiento en estudio, utilizando la medida del desplazamiento del émbolo las jeringas hasta cuando duró el proceso de la biodigestión, después fue formada una curva del biogás acumulado (Gavilanes *et al.*, 2017).

Parámetros físico y químico de los sustratos

Con los sustratos se efectuaron los siguientes análisis:

- pH, antes y después de la biodigestión anaeróbica.
- Sólidos totales, fijos y volátiles, mediante las metodologías empleadas por ABNT (1989).
- Contenido nutricional de macro y micronutrientes. Fue utilizado el método Kjeldhal para Nitrógeno (N) y de cenizas para el análisis de Boro (B). Los métodos de digestión húmeda Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Azufre (S), Zinc (Zn), Cobre (Cu), Hierro (Fe) y Manganeseo (Mn); según las metodologías utilizadas en el laboratorio del Departamento Nacional de Manejo de Suelos, Tejidos y Aguas de la Estación Experimental Tropical Pichilingue del INIAP (Henríquez *et al.*, 1998).

Análisis estadístico

El ensayo se realizó bajo un diseño completamente al azar con 12 tratamientos en tres repeticiones, considerando como unidad experimental a cada biodigestor.

Los datos obtenidos se sometieron a análisis de varianza (ANOVA). Si en la prueba F dio significativa, las medias se separaron usando la prueba de Tukey con un nivel de significancia del 5%. Los análisis estadísticos se realizaron con el software INFOSTAT (Di Rienzo *et al.*, 2017). Los efectos de los tratamientos sobre el biogás acumulado se evaluaron mediante análisis de regresión utilizando el software SIGMA PLOT® 14.0.

Aspectos éticos:

El presente trabajo no presenta ningún conflicto ético.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El pH A (antes de la biodigestión) de los tratamientos, fluctuó entre 4,10 y 9,07, siendo T₇ (Cáscara Nacional 30 % ST) el que más alto valor presentó, mientras que el de menor valor pH fue el T₈ (Baba Nacional). Se evidenciaron marcadas diferencias significativas entre los tratamientos evaluados, por su composición en las mezclas (Tabla 3).

Para los valores de pH D (después de la biodigestión) de los sustratos, el T₇ (Cáscara Nacional 30 % ST), registró mayor valor con 9,14, diferenciándose significativamente de los demás tratamientos evaluados. El tratamiento de menor valor de pH D fue T₈ (Baba Nacional) con 4,15 (Tabla 3).

Realizada la digestión anaeróbica el mayor incremento de pH se dio en el T₃ (Baba CCN-51) con mayor aumento de 0,94 en su pH (Tabla 3).

En experimento realizado por Acosta *et al.* (2018) en que utilizaron los desechos de cacao (pericarpio, exocarpio, mesocarpio y una capa delgada de endocarpio de la fruta) usando dos tipos de inóculo, uno del estiércol de vaca con frutas y otro un activado residual, controlaron el pH mediante la adición de NaOH (0,1 M) para mantener el sustrato neutro de ~ 7,0. Encontraron que durante la digestión el pH se mantiene estable, algo parecido se encuentra en la presente investigación en que se usó estiércol vacuno como inoculante (Tabla 3), existiendo poca variación del pH después de la digestión únicamente T₃ tuvo mayor incremento. Se ha determinado que el estiércol de vaca estabiliza la digestión anaeróbica de los desechos del cacao (Acosta *et al.*, 2021).

Menor pH fue encontrado en T₃, además el mismo tratamiento fue en el que se obtuvo menor generación de

biogás. Se ha indicado que el pH bajo incrementa el CO₂ en el biogás debido al desarrollo de un cultivo acidógeno en lugar de la comunidad mixta deseada con arqueas metanogénicas, además la naturaleza del sustrato, rico

en lignina y carente de nutrientes esenciales, es un punto principal a considerar en el proceso de la biodigestión (Acosta *et al.*, 2018).

Tabla 3. pH de los tratamientos de la biodigestión anaeróbica.

Trat.	pH A	pH D	Incremento de pH
T ₁	6,64 e	6,83 bcd	0,19
T ₂	7,95 c	8,06 b	0,11
T ₃	4,52 h	5,46 de	0,94
T ₄	5,07 g	5,08 de	0,01
T ₅	4,85 gh	4,99 de	0,14
T ₆	7,24 d	7,39 bc	0,15
T ₇	9,07 a	9,14 a	0,07
T ₈	4,10 i	4,15 e	0,05
T ₉	7,40 d	7,41 bc	0,01
T ₁₀	5,55 f	5,62 cde	0,07
T ₁₁	7,28 d	7,43 bc	0,15
T ₁₂	8,56 b	8,73 b	0,17
CV	1,58	7,09	-
<i>p</i>	0,00**	0,00**	-

Coefficiente de Variación (CV). Probabilidad estadística (*p*). No significativo (ns), significativo (*), altamente significativo (**) (*p* ≤ 0,05) test F. Medias con letras en común no difieren estadísticamente con el test de Tukey 5%.

En la Tabla 4 se encuentran los análisis de sólidos totales, volátiles, y fijos de la biomasa residual de dos variedades de cacao, antes y después de la digestión anaeróbica con la reducción de los mismos. Fue encontrada mayor reducción de sólidos totales (Red. ST) en el T₅ (Cáscara CCN-51 + Baba CCN 51 30 % ST) con 0,70%.

En los sólidos volátiles se observa que el tratamiento con máxima reducción es el T₁₀ (Cáscara Nacional + Baba

Nacional 30 % ST), con 25,63%, el mismo tratamiento obtuvo mayor eficiencia para sólidos fijos con 25,63%.

Se pudo verificar que en todos los tratamientos para los sólidos existió una reducción en el porcentaje después de la digestión anaeróbica, lo que indica disminución de la tasa de carga orgánica.

Tabla 4. Sólidos totales, fijos, y volátiles de la biodigestión anaeróbica.

Trat.	STA	STD	Red. ST	SVA	SVD	Red. SV	SFA	SFD	Red. SF
T ₁	19,62	19,32	0,30 abc	91,51	86,79	4,72 bc	8,49	13,21	4,72 bc
T ₂	29,71	29,44	0,27 bc	91,13	89,93	1,19 c	8,88	10,07	1,19 c
T ₃	0,00	0,00	0,00 c	0,00	0,00	0,00 c	0,00	0,00	0,00 c
T ₄	19,87	19,55	0,32 abc	90,68	84,71	5,97 bc	9,32	15,29	5,97 bc
T ₅	29,90	29,20	0,70 a	92,21	80,33	11,88 b	7,79	19,68	11,88 b
T ₆	19,59	19,37	0,22 c	88,79	81,17	7,61 bc	11,22	18,83	7,61 bc

Continúa Tabla 4

Continúa Tabla 4

T ₇	29,42	29,20	0,22	c	84,73	81,64	3,09	bc	15,27	18,36	3,09	bc
T ₈	0,00	0,00	0,00	c	0,00	0,00	0,00	c	0,00	0,00	0,00	c
T ₉	19,81	19,15	0,66	ab	90,36	84,01	6,35	bc	9,64	16,00	6,35	bc
T ₁₀	29,82	29,60	0,22	c	89,80	64,16	25,63	a	10,21	35,84	25,63	a
T ₁₁	19,80	19,49	0,31	abc	89,04	83,30	5,75	bc	10,96	16,71	5,75	bc
T ₁₂	29,71	29,48	0,23	c	90,84	89,15	1,69	c	9,16	10,86	1,69	c
CV	-	-	18,52	-	-	-	18,95	-	-	-	18,95	-
<i>p</i>	-	-	0,00**	-	-	-	0,00**	-	-	-	0,00**	-

Sólidos totales antes de la digestión anaeróbica (STA), Sólidos totales después de la digestión anaeróbica (STD), Reducción de los Sólidos totales (Red. ST), Sólidos volátiles antes de la digestión anaeróbica (SVA), Sólidos volátiles después de la digestión anaeróbica (SVD), Reducción de los sólidos volátiles (Red. SV), Sólidos fijos antes de la digestión anaeróbica (SFA), Sólidos fijos después de la digestión anaeróbica (SFD), Reducción de sólidos fijos (Red. SF). Coeficiente de Variación (CV). Probabilidad estadística (*p*). No significativo (ns), significativo (*), altamente significativo (**) ($p \leq 0,05$) test F. Medias con letras en común no difieren estadísticamente con el test de Tukey 5%.

Diferentes concentraciones de macro y micronutrientes son encontradas en las biomásas biodigeridas de los diferentes tratamientos estudiados (Tabla 5). Para el contenido de N y B mayores concentraciones fueron encontradas en T₂ (Cáscara CCN-51 30 % ST), siendo diferentes de los demás tratamientos.

En el sustrato biodigerido T₇ (Cáscara Nacional 30 % ST) mayores concentraciones de P, K, Mg, S, Zn, Cu y Fe son mostradas en la Tabla 5, siendo este tratamiento

aquel que tuvo mayores concentraciones de diferentes nutrientes. Analizando Ca y Mn se encontraron mejores efectos en la concentración nutricional en T₁₂ (Cáscara CCN 51 + Cáscara Nacional 30 % ST) (Tabla 5).

La cáscara de la mazorca de cacao es muy rica en nutrientes por lo que es una biomasa adecuada para la digestión anaeróbica, el contenido nutricional de los tratamientos aquí presentados son superiores a los encontrados por Dahunsi *et al.* (2019).

Tabla 5. Macro y micronutrientes, del sustrato biodigerido de la biodigestión anaeróbica de la biomasa residual de dos variedades de cacao.

Trat.	N	P	K	Ca	Mg	S
	%					
T ₁	0,41 ef	0,06 cd	0,19 g	0,33 de	0,05 f	0,08 b
T ₂	3,85 a	0,04 de	0,26 fg	0,53 b	0,11 cd	0,08 b
T ₃	0,11 h	0,03 e	0,26 fg	0,31 de	0,08 e	0,05 d
T ₄	0,11 h	0,03 e	0,25 g	0,33 de	0,09 de	0,04 d
T ₅	0,21 hg	0,07 bc	0,47 e	0,41 c	0,14 ab	0,08 b
T ₆	0,51 e	0,03 e	0,78 c	0,30 e	0,05 f	0,04 d
T ₇	2,95 b	0,11 a	1,11 a	0,51 b	0,16 a	0,14 a
T ₈	0,12 h	0,02 e	0,35 f	0,34 de	0,09 de	0,04 d
T ₉	0,31 fg	0,09 ab	0,62 d	0,35 d	0,08 e	0,09 b
T ₁₀	2,75 c	0,07 bc	1,01 b	0,32 de	0,12 bc	0,08 bc
T ₁₁	0,32 fg	0,03 e	0,45 e	0,32 de	0,05 f	0,06 cd
T ₁₂	1,91 d	0,07 bc	0,71 c	0,59 a	0,14 ab	0,11 b
CV	0,0001**	0,0001**	0,0001**	0,0001**	0,0001**	0,0001**
<i>p</i>	3,34	14,38	4,27	2,72	7,71	7,04

Continúa Tabla 5

Continúa Tabla 5

Trat.	B	Zn	Cu	Fe	Mn
	ppm				
T ₁	2,75 d	5,50 e	2,50 cd	49,00 g	2,50 fg
T ₂	30,50 a	18,50 b	4,50 bc	223,50 c	17,50 b
T ₃	1,75 d	2,50 e	1,50 d	48,50 g	1,50 g
T ₄	1,10 d	2,50 e	1,50 d	37,50 h	1,50 g
T ₅	2,50 d	4,50 e	3,50 cd	71,50 f	8,50 cd
T ₆	2,50 d	9,50 d	3,50 cd	36,50 h	4,50 efg
T ₇	16,50 b	26,50 a	8,50 a	340,50 a	16,00 b
T ₈	2,50 d	2,50 e	2,50 cd	114,50 d	3,50 fg
T ₉	2,50 d	2,50 e	2,50 cd	72,50 f	5,50 def
T ₁₀	1,50 d	4,50 e	2,50 cd	99,00 e	9,50 c
T ₁₁	1,50 d	14,00 c	4,50 bc	44,50 gh	7,50 cde
T ₁₂	6,50 c	21,00 b	6,50 ab	277,50 b	22,50 a
CV	0,0001**	0,0001**	0,0001**	0,0001**	0,0001**
<i>p</i>	10,49	9,12	19,28	1,85	9,44

Coefficiente de Variación (CV). Probabilidad estadística (*p*). No significativo (ns), significativo (*), altamente significativo (**) ($p \leq 0,05$) test F. Medias con letras en común no difieren estadísticamente con el test de Tukey 5%.

En la Figura 1 se observa la cantidad de biogás acumulado (mL) durante 70 días de la biodigestión anaeróbica de biomásas de dos variedades de cacao. Todos los tratamientos se ajustaron a un modelo de regresión lineal.

El tratamiento con Cáscara Nacional 20% ST (T₆) tuvo mayor cantidad con 1297,66 mL, seguido del tratamiento con Cáscara CCN-51 20 % ST (T₁) con 1024,66 mL (Figura 1).

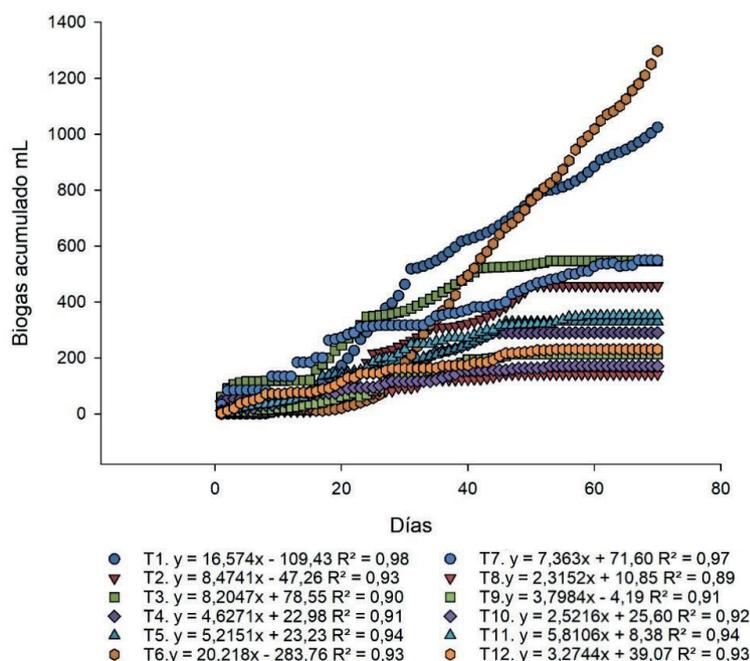


Figura 1. Cantidad de Biogás acumulado (mL) durante 70 días de la biodigestión anaeróbica de biomásas de dos variedades de cacao.

En la Figura 2 se encuentran diferentes mediciones de gas metano logradas en todos los tratamientos durante la biodigestión anaeróbica. Los tratamientos que obtuvieron mayor concentración de gas metano son T₆ Cáscara Nacional (20 % ST) con 76% CH₄ y T₃ Baba CCN-51 con 70% CH₄ diferenciándose de T₈ Baba Nacional (38,33% CH₄) y T₁₀ Cáscara de Nacional + Baba Nacional (30% ST) con 40% CH₄.

En una investigación en que estudiaron la digestión anaeróbica y el efecto del pretratamiento hidrotérmico sobre el rendimiento de biogás de los residuos de las mazorcas de cacao. Se ha mostrado que los residuos de

las mazorcas de cacao sin tratar tienen un potencial de biogás de 357 l(N)/kgVS y un contenido de metano del 55% (Antwi *et al.*, 2019), valores superiores fueron encontrados en la presente investigación cuando se usó cáscara de cacao nacional (20% ST), siendo que en ambas investigaciones se usó como inóculo proveniente de un digestor anaeróbico activo con estiércol de vaca. Igualmente, Acosta *et al.* (2018) usaron en su investigación inoculante de la biodigestión de estiércol de vaca en el que obtuvo 57% de gas metano y otro de un lodo activado residual en el que consiguió 64% de gas metano, siendo estos valores inferiores a los encontrados en T₆ y T₃.

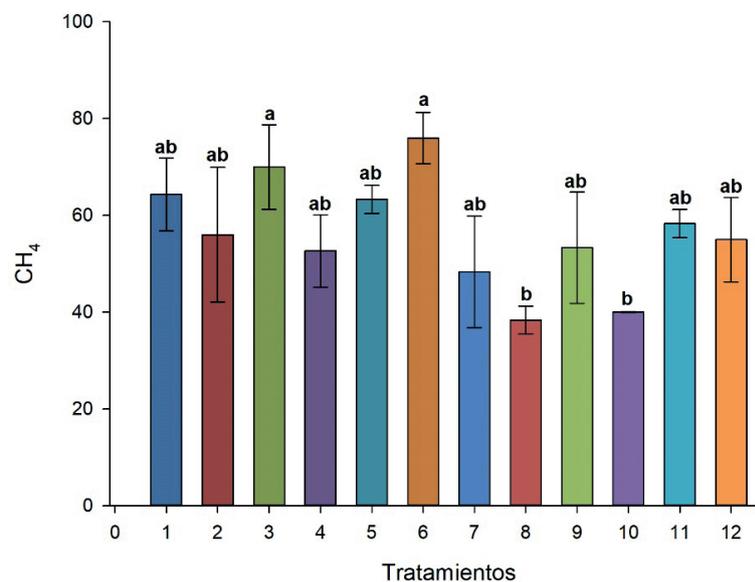


Figura 2. Porcentaje de gas metano medido durante la biodigestión anaeróbica de dos variedades de cacao.

Se concluye que fue producido biogás con cáscara y baba del cacao CCN-51 y nacional usando estiércol bovino como inoculante, durante 70 días. El T₆ Cáscara Nacional (20 % ST) fue el más destacado en la producción de biogás acumulado (1297,66 mL) y en el porcentaje de gas metano (76%).

Diferentes concentraciones de macro y micronutrientes fueron encontradas en las biomásas biodigeridas de los diferentes tratamientos estudiados, con potencial para uso como biofertilizante en plantas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acosta, N.; De Vrieze, J.; Sandoval, V.; Sinche, D.; Wierinck, I. & Rabaey, K. 2018. Cocoa residues as viable biomass for renewable energy

production through anaerobic digestion. *Bioresource technology*, 265: 568-572.

Acosta, N.; Kang, I. D.; Rabaey, K. & De Vrieze, J. 2021. Cow manure stabilizes anaerobic digestion of cocoa waste. *Waste Management*, 126: 508-516.

Antwi, E.; Engler, N.; Nelles, M. & Schüch, A. 2019. Anaerobic digestion and the effect of hydrothermal pretreatment on the biogas yield of cocoa pods residues. *Waste Management*, 88: 131-140.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). 1989. ABNT/NBR 10664. 1989. *Determinação de Sólidos totais, Sólidos suspensos e Sólidos dissolvidos - Método de gravimetria*. ABNT.

Azevedo, F. 2010. *Estudo das condições ambientais para*

- produção de biogás a partir de glicerol co-produto do biodiesel*. Universidade Federal de Pernambuco. Recife-Brasil. 94 p.
- Carrillo, B. & Valenzuela, J. 2015. *Estudio de las posibilidades de peletización de la cáscara de cacao y su utilización como biocombustible*. Universidad de Guayaquil. Guayaquil-Ecuador. 85 p.
- Castillo, C. & Rosado, C. 2016. *Análisis de la exportación de cacao y elaborados durante el periodo 2004-2015 y evaluación de estrategias que contribuyan al crecimiento del sector considerando el cambio de la matriz productiva*. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Guayaquil-Ecuador. 177 p.
- CEPAL. 2015. *Diagnóstico de la Cadena Productiva del Cacao en el Ecuador*. Secretaría Técnica del Comité Interinstitucional para el Cambio de la Matriz Productiva-Vicepresidencia del Ecuador. Quito-Ecuador. 10 p.
- Chávez, A. & Rodríguez, A. 2016. Aprovechamiento de residuos orgánicos agrícolas y forestales en Iberoamérica. *Revista Academia y Virtualidad*, 9: 90-107.
- Correa, P.; González, D. & Pacheco, J. 2016. Energías renovables y medio ambiente: su regulación jurídica en Ecuador. *Revista Universidad y Sociedad*, 8: 179-183.
- Dahunsi, S.O.; Adesulu-Dahunsi, A. T. & Izebere, J. O. 2019. Cleaner energy through liquefaction of Cocoa (*Theobroma cacao*) pod husk: Pretreatment and process optimization. *Journal of Cleaner Production*, 226: 578-588.
- Di Rienzo, J.A.; Casanoves, F.; Balzarini, M.G.; Gonzalez, L.; Tablada, M. & Robledo, C.W. 2017. *InfoStat versión 2017*. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Gavilanes, F.; Guedes, C.; Silva, H.; Nomura, R. & Andrade, D. 2017. Physic nut seed cake methanation and chemical characterization of anaerobic bio-digested substrate. *Waste and Biomass Valorization*, 10: 1267-1276.
- Henríquez, C.; Bertsch, F. & Salas, R. 1998. *La fertilidad de suelos: Manual de laboratorio*. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo.
- Ho, D.P.; Ngo, H.H. & Guo, W. 2014. A mini review on renewable sources for biofuel. *Bioresource technology*, 169: 742-749.
- Kunz, A. & Sulzbach, A. 2007. *Kit Biogás portátil para análise de concentração de gás metano, amônia e gás sulfídrico em biogás*. Embrapa Suínos e Ave. Concórdia-Brasil 2p.
- Pasquevich, D. 2012. *La creciente demanda mundial de energía frente a los riesgos ambientales*. Instituto de Energía y Desarrollo Sustentable. Comisión Nacional de Energía Atómica. Argentina, 22: 225-57.
- Raheman, H. & Mondal, S. 2012. Biogas production potential of jatropha seed cake. *Biomass and bioenergy*, 37: 25-30.
- Reyes, E. 2017. Generación de biogás mediante el proceso de digestión anaerobia, a partir del aprovechamiento de sustratos orgánicos. *Revista Científica de FAREM-Esteli*, 6: 60-81.
- Sánchez, J. 2013. *Evaluación energética de cáscaras de cacao Nacional y CCN-51*. Universidad de Cuenca. Cuenca-Ecuador. 128 p.
- Shekdar, A. V. 2009. Sustainable solid waste management: An integrated approach for Asian countries. *Waste management*, 29: 1438-1448.
- Soh, L. 2016. Biocombustibles de segunda generación de la biomasa de palma de aceite. *Revista Palmas*, 37: 137-148.
- Vivanco, E., Matute, L. & Campo, M. 2017. Caracterización físico-química de la cascarilla de *Theobroma cacao* L, variedades Nacional y CCN-51. *Conference Proceedings UTMACH 2*: 213-222.
- Washburn, C. & Pablo-Romero, M. 2019. Measures to promote renewable energies for electricity generation in Latin American countries. *Energy policy*, 128: 212-222.

Received September 5, 2021.

Accepted October 11, 2021.