



Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), enero-febrero 2025,
Volumen 9, Número 1.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i1

**PRODUCCIÓN DE BIOGÁS UTILIZANDO
BIOMASA RESIDUAL PECUARIA CON FIBRA VEGETAL Y
ENRIQUECIDA CON LACTOSUERO COMO ALTERNATIVA
PARA MITIGAR LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO**

**BIOGAS PRODUCTION USING LIVESTOCK RESIDUAL
BIOMASS WITH VEGETABLE FIBER AND ENRICHED WITH WHEY
AS AN ALTERNATIVE TO MITIGATE GREENHOUSE GASES**

Walter Eduardo Moreno Castillo

Investigación y Desarrollo en la Agronomía, Ecuador

Manolo Sebastián Muñoz Espinoza

Universidad Técnica de Ambato, Ecuador

Evelyn Jacqueline Paredes Ojeda

Veterinaria Zootecnista, Ecuador

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i1.16452

Producción de Biogás Utilizando Biomasa Residual Pecuaria con Fibra Vegetal y Enriquecida con Lactosuero como Alternativa para Mitigar los Gases de Efecto Invernadero

Walter Eduardo Moreno Castillo¹

eduwal1985@hotmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-3907-371X>

Ejercicio Profesional de Investigación y
Desarrollo en la Agronomía
Quero, Tungurahua
Ecuador

Manolo Sebastián Muñoz Espinoza

mmunoz@uta.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-5897-1211>

Facultad de Ciencias Agropecuaria
Cevallos
Universidad Técnica de Ambato
Ecuador

Evelyn Jacqueline Paredes Ojeda

jacquelinep_97@hotmail.com

<https://orcid.org/0009-0006-6125-9958>

Médica Veterinaria Zootecnista
Ambato, Tungurahua
Ecuador

RESUMEN

El aprovechamiento anaeróbico de biomasa y efluente residuales en la producción de biogás, constituye una alternativa para mitigar gases efecto invernadero. El principal objetivo fue producir biogás utilizando biomasa residual pecuaria y fibra vegetal enriquecida con lactosuero. Se utilizó el diseño experimental completamente aleatorizado con 5 tratamientos y 8 repeticiones, se evaluó la combinación de excreta bovina y *Brachypodium phoenicoides* en concentración del 75% y 25%, mientras que lactosuero al 100%, 75%, 50% y 25% sobre la producción de biogás y metano in vitro. Además, se determinó los contenidos de ácidos grasos volátiles (AGVs) por tratamiento. Los resultados acumulados a las 312 horas ($P < 0.05$) indicaron que T 4 (167,83 ml) presentó mayor producción de biogás. En cuanto al metano, el T 1 produjo (1.78 ml) sin adición de subproducto lácteo con presencia significativa de ácido butírico (14.95 mmol/mol); mientras que T 4 con 25% de suero en su formulación reportó metano con volumen de (1.32 ml) entre los tratamientos debido al pico máximo ($P = 0,0001$) de ácido acético (69.96 mmol/mol) originado durante el proceso de fermentación aneróbica y estabilizándose su producción a partir de las 192 horas, lo que representa una fuente potencial de energía renovable y amigable con el ambiente.

Palabras clave: ácidos grasos volátiles, biogás, biomasa residual, in vitro, metano

¹ Autor principal.

Correspondencia: eduwal1985@hotmail.com

Biogas Production Using Livestock Residual Biomass with Vegetable Fiber and Enriched with Whey as an Alternative to Mitigate Greenhouse Gases

ABSTRACT

The anaerobic use of residual biomass and effluent in biogas production is an alternative to mitigate greenhouse gases. The main objective was to produce biogas using residual livestock biomass and vegetal fiber enriched with whey. A completely randomized experimental design with 5 treatments and 8 repetitions was used. The combination of bovine manure and *Brachypodium phoenicoides* in concentrations of 75% and 25%, while whey at 100%, 75%, 50% and 25% was evaluated on biogas and methane production in vitro. In addition, the contents of volatile fatty acids (VFAs) per treatment were determined. The accumulated results at 312 hours ($P < 0.05$) indicated that T 4 (167.83 ml) presented a higher biogas production. Regarding methane, T 1 produced (1.78 ml) without addition of dairy by-product with significant presence of butyric acid (14.95 mmol/mol); while T 4 with 25% whey in its formulation reported methane with a volume of (1.32 ml) between treatments due to the maximum peak ($P = 0.0001$) of acetic acid (69.96 mmol/mol) originated during the anaerobic fermentation process and its production stabilizing after 192 hours, which represents a potential source of renewable and environmentally friendly energy.

Keywords: volatile fatty acids, biogas, residual biomass, in vitro, methane

*Artículo recibido 10 diciembre 2024
Aceptado para publicación: 15 enero 2025*



INTRODUCCIÓN

En la actualidad, mundialmente se produce y consume biogás a nivel de domicilio como industria, de tal modo que se ha convertido en una fuente de combustible alterna, respecto aquellos de generación fósil, el tratamiento de éstos desechos de acuerdo a su origen puede ser de forma independiente o en mezcla (FAO, 2011). El resultado de acción de bacterias anaeróbicas sobre material orgánico, da como resultado el biogás, según un modelamiento de producción, está conformado por distintos gases, entre ellos: el (CH₄) Metano concentrado en rango de 55 a 70%; (CO₂) Anhídrido carbónico del 35 a 40%; (N₂) Nitrógeno concentrado entre 0.5 a 5%; y Sulfuro de Hidrógeno (SH₂) aproximadamente con el 0.1% Chica & Lopez (2011).

En cuanto a emisiones, el 8.0 Giga Toneladas de (CH₄) emitido está ligado directamente a las acciones humanas (Pratt & Trate, 2018). Desde el año 1970 a 2011 ha existido un incremento acelerado del 90% de gases efecto invernadero y como resultado se reflejan el acrecentamiento de fuentes de emisiones y descenso de los sumideros (Albiac et al., 2017).

Para el aprovechamiento de biomasa residual pecuaria y coproductos de las queseras, estudios indican, que se logra una concentración del 82% de gas metano estabilizado a pH de 7.0, en mezcla compuesta por 4 litros de suero de leche, 200 g de residuos de queso, desperdicio de crema 200 g, inoculante (microorganismos metanogénicos obtenido por previa digestión de excremento de cabra) 200 g y excreta de cabra 1200 g. Volumen fermentado de 5 litros en un contenedor con capacidad de 10 litros; en cuyo informe indican que la cantidad de suero fue relativamente baja (Magaña et al., 2011). Así mismo, el suero por su elevada degradabilidad, sumada su alto contenido de materia orgánica y por su reducida alcalinidad (50mg/l), la formulación tiende acidificarse de forma rápida (Saddoud et al., 2007). Sin embargo, la condición alcalina puede ser suministrada artificialmente a través de sustratos para mezclarlos en el suero láctico (Kalyuzhnyi et al., 1997).

Por otra parte, la evaluación de producción de biogás a nivel de laboratorio ejecutada por (Blandón et al., 2014), explican que se ensayaron mezclas a partir de sólidos totales del 47% de excreta bovina con suero y agua en proporciones diluidas del 10, 15 y 20%, de los resultados en producción de gas, se evidenció valores aceptables en la formulación del 20% de suero con el rendimiento promedio de 39.99 ml y agua con el 14.99 ml, considerando que el uso de suero lácteo es una fuente viable en la generación



de energía alterna y una forma eficiente de aprovechar los residuos de las queseras. Igualmente, (Barrena et al., 2017) efectuaron a nivel de laboratorio la mezcla de excremento bovino, lactosuero y chips de totora en relación 1:5 entre estiércol y agua, con 4ml de suero por cada 100ml de mezcla en concentración del 4%, 3 g de totora por cada 100 ml de excremento a concentración del 3% obteniendo una producción de 1,400 ml de biogás en biodigestores para fase líquida de 10 litros y con capacidad operativa para el gas de 2 litros, a la vez argumentan que la utilización de efluentes de la industria quesera en combinación con estiércol bovino se optimiza la producción de biogás. Según (Saddoud et al., 2007) cuando la producción de gas metano es superior al 70% se considera que la digestión tuvo un aceptable desempeño.

Por otro lado, el lactosuero del queso puede ser degradado de manera eficiente en una sola etapa, cuando éste se combina con excretas de bovinos y en ausencia de correctores de pH. La mezcla es lactosuero 50% y efluentes de las excretas de ganado vacuno del 50%, se han alcanzado valores significativos y una buena biodigestión. En cuanto a la generación de biogás utilizando suero, es posible generar entre 9 y 23 m³ de CH₄/m³ de suero, equivalente entre 7.0 y 18 kg de gas proveniente del petróleo (Hernández, 2015).

El principal objetivo de la investigación ha sido producir biogás utilizando biomasa residual pecuaria, fibra vegetal (paja) enriquecida con lactosuero proveniente de fábrica quesera, para el aprovechamiento energético como alternativa para mitigar la emisión de gases efecto invernadero. Los objetivos específicos del experimento fueron; evaluar el efecto de la biomasa residual pecuaria con fibra vegetal (paja), enriquecida con lactosuero sobre la producción de biogás; determinar la producción de metano de la combinación de biomasa residual pecuaria con fibra vegetal (paja), enriquecida con lactosuero y determinar la composición de Ácidos Grasos Volátiles producto de la combinación de materiales biodegradables.

METODOLOGÍA

Análisis estadístico

La información compilada fue registrada en una base de Excel y se efectuó el ajuste de datos dispersos, se promediaron los valores cuantificados por cada tratamiento aplicado. Mientras que para el análisis de varianza y la comparación de medias a través de la prueba de Tukey al 5% p-valor del 95% de



confianza se lo realizó en el software estadístico Infostat para demostrar las diferencias significativas en las variables evaluadas de producción de biogás, concentración de metano y presencia de ácidos grasos volátiles.

Localización de la investigación

El experimento se ejecutó en el laboratorio de Ruminología de la Granja Experimental Campus Querochaca, Facultad de Ciencias Agropecuarias perteneciente a la Universidad Técnica de Ambato, cantón Cevallos, Provincia de Tungurahua a distancia de 20 Km dirección sur de Ambato con una altitud de 2.852 m.s.n.m., cuyas coordenadas geográficas reportadas por el Sistema de Posicionamiento Global (GPS, Marca GARMIN, Modelo Etrex) son: 01° 22' 02'' de latitud Sur y 78° 36' 22'' longitud Oeste, el proceso de fermentación in vitro se efectuó en ambiente controlado sin involucrar factores climáticos externos.

Obtención de la biomasa residual pecuaria

Se realizó la recolección de estiércol fresco de bovino en horas de la mañana del establo ubicado en la Facultad de Ciencias Agropecuarias que contempla contra piso de hormigón y cubierta, lo cual evitó el contacto con el suelo y radiación solar. Posteriormente se almacenó en un recipiente (cubeta) con capacidad de 20 litros e inmediatamente se lo traslado al laboratorio.

Obtención de fibra vegetal

Se efectuó la cosecha de fibra vegetal *Brachypodium phoenicoides* que se encontraba con características de madurez media y con su particularidad proceso de lignificación (tosca). Donde se procedió a realizar el corte con machete, luego se almacenó en bolsa de polipropileno.

Obtención del suero de leche

En el establecimiento de elaboración quesera ubicado en el sector de Hualcanga Santa Anita del Cantón Quero, provincia de Tungurahua, se realizó la recolección de suero procedente de la fabricación de queso en un envase (botellón) con capacidad de 4 litros.

Preparación de muestras en laboratorio

Inicialmente se estableció la relación de la combinación de materiales la cual fue 1:3, donde la proporción (1) fue para el estiércol bovino y fibra vegetal, mientras que la proporción (3) se refirió a la fase líquida agua y lactosuero, parte conformante de la mezcla.



Luego se seleccionó un envase graduado con capacidad de 1000 ml, consecutivamente se establecieron las proporciones del material sólido y líquido en función al volumen final de preparación que fue de (500 ml), donde la cuarta parte (125 ml) comprendió el volumen total preparado de la fase sólida, se utilizó para determinar las cantidades de fibra vegetal al 25% y excreta bovina al 75%. Mientras que, las tres cuartas partes 375 ml del aforo final, se manejó para establecer el volumen de la parte líquida como agua y suero, en concentración del 100%, 75%, 50% y 25%.

Una vez efectuada las relaciones, se calculó el peso de la porción sólida y el volumen de la fase líquida para efectuar las combinaciones.

Donde para obtener la parte sólida a proporción del 25% se pesó 31.25 g de paja. Del mismo modo, se pesó 93.75 g de excreta bovina para obtener la proporción al 75%. Mientras que, la parte líquida se midió el volumen de 375 ml correspondiente al 100%, con 281.25 ml de suero, así como de agua para obtener la proporción al 75%, para el 50% se midió el volumen de 187.5 ml y finalmente se calculó el volumen de 93.75 ml para la concentración del 25%.

Preparada la mezcla de materiales, se utilizó la adaptación de la metodología de producción de gas in vitro descrita por (Theodorou et al., 1994) . La cual consistió en agregar los tratamientos experimentales producto de la mezcla de biomasa residual pecuaria excreta de bovino, paja *Brachypodium phoenicoides*, lactosuero y agua en las proporciones derivadas de la relación 1:3 para los cinco tratamientos y distribuidos (60 ml) de la mezcla en los frascos de vidrio con capacidad de 100 ml.

Posteriormente, los envases fueron sellados herméticamente con capuchón de caucho y protección de aluminio. Éstas se incubaron a 39°C utilizando un baño maría. La medición del gas se efectuó manualmente cada 24 horas hasta completar 312 horas correspondientes a 13 días.

Producción de biogás en unidades experimentales

Se evaluó la producción de gas in vitro, siguiendo la metodología descrita por (Theodorou et al., 1994), se tomó a las 24, 48, 72, 96, 120, 144, 168, 192, 216, 240, 264, 288 y 312 horas, donde para medir la producción de gas in vitro se utilizó una jeringa plástica para cuantificar el volumen generado en mililitros y el transductor (DELTA OHM-PRESSURE METER HD 2124.2) con sonda.

Producción de metano en unidades experimentales

Se estimó concentración de metano utilizando el medidor de gases múltiple portátil (GAS – PRO marca CROWCON), registros tomados durante la fase de la investigación en los tiempos 24, 48, 72, 96, 120, 144, 168, 192, 216, 240, 264, 288 y 312 horas.

Producción de Ácidos Grasos Volátiles AGVs

Se efectuó de los 5 tratamientos y 8 repeticiones, donde en las 40 muestras filtradas se adicionó 20 ml de ácido fosfórico al 5% para su conservación y posteriormente se determinó la presencia de AGVs recurriendo al análisis de Cromatografía de Gases.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1, la evaluación de los tratamientos correspondientes a la producción de biogás in vitro mostró diferencias ($P < 0,0001$) en los tratamientos evaluados, reflejando al tratamiento dos cuya concentración de suero fue de 375 ml que durante la incubación a las 24, 48 y 72 horas, produjeron un volumen de 64.50, 84.69 y 94.69 ml respectivamente. A las 96 y 120 horas la generación fue mayor ($P < 0,05$) en el tratamiento dos (98.33 y 100.09 ml) y tratamiento cuatro (86.07 y 107,18 ml) que en su composición existía 93.75 ml de suero. Mientras tanto a las 144, 168, 192, 216, 240, 264, 288 y 312 horas de sometido a fermentación, el tratamiento cuatro (124.97, 141.54, 151.64, 158.53, 162.58, 164.97, 166.62 y 167.83 ml) tuvo la mayor producción de biogás, abordando estadísticamente diferencias ($P < 0,0001$) con los demás tratamientos.

En cambio se puede observar la menor generación de biogás en el tratamiento uno donde el suero se excluyó totalmente y el tratamiento dos que contenía 375 ml de suero con producción de (29.36 y 14,38 ml biogás) a las 24 y 48 horas respectivamente, así mismo la mínima producción en el período comprendido entre las 72 y 312 horas se lo evidencio en el tratamiento tres siendo de (51.80, 54.33, 55.72, 56.16, 57.94, 58.39, 59.24, 59.51, 59.98, 60.47 y 61.06 ml), considerando que la muestra procesada disponía 187.5 ml de subproducto lácteo en su composición.

Tabla 1. Resultado de producción de biogás in vitro.

Hora Tratamiento	Producción de gas <i>in vitro</i> GSIV (ml)												
	24 h	48 h	72 h	96 h	120 h	144 h	168 h	192 h	216 h	240 h	264 h	288 h	312 h
T 1	29,36 d	14,38 d	53,33 c	60,41 b	67,05 b	72,38 c	76,01 c	79,18 c	81,85 c	83,86 c	85,50 c	87,28 c	88,77 b
T 2	64,50 a	84,69 a	94,69 a	98,33 a	100,09 a	101,08 b	102,09 b	102,44 b	103,44 b	103,66 b	104,15 b	104,55 b	104,80 b
T 3	36,18 c	46,50 c	51,80 c	54,33 b	55,72 b	56,16 d	57,94 d	58,39 d	59,24 d	59,51 d	59,98 d	60,47 d	61,06 c
T 4	40,81 b	53,23 b c	67,43 b	86,07 a	107,18 a	124,97 a	141,54 a	151,64 a	158,53 a	162,58 a	164,97 a	166,62 a	167,83 a
T 5	43,04 b	55,28 b	60,64 b c	62,93 b	63,97 b	64,84 c d	65,97 c d	66,17 c d	66,50 c d	66,83 d	67,10 d	67,25 d	67,58 c
Valor - P	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001
ESM	1,14	1,77	2,63	3,04	3,44	3,79	3,87	3,88	3,90	3,97	4,02	4,10	4,16
C.V.	7,53	9,88	11,34	11,87	12,35	12,77	12,33	11,97	11,74	11,79	11,81	11,92	12,00

(a b c) Los valores de las medias con letra idéntica en la misma columna son estadísticamente iguales ($P < 0.05$). T 1: Agua 375 ml + Estiércol 93,75 g + Paja 31,25 g. T 2: Suero 375 ml + Estiércol 93,75 g + Paja 31,25 g. T 3: Agua 187,5 ml + Suero 187,5 ml + Estiércol 93,75 g + Paja 31,25 g. T 4: Agua 281,25 + Suero 93,75 ml + Estiércol 93,75 g + Paja 31,25 g. T 5: Agua 93,75 ml + Suero 281,25 ml + Estiércol 93,75 g + Paja 31,25 g. ESM: error estándar de la media. CV: coeficiente de variación. CH4 IV: producción de metano in vitro.

La tabla 2, referente a la producción de metano in vitro en los tratamientos evaluados reportaron diferencias estadísticas ($P < 0,0001$) con los demás en lo referente al volumen de producción de metano, registrando al tratamiento uno donde se excluyó totalmente el suero en la composición, se logró observar que durante el periodo de tiempo comprendido de (24, 48, 72,96, 120, 144, 168, 192, 216, 240, 264, 288 y 312 horas) se obtuvo una generación de metano (1.42, 1.50, 1.55, 1.59, 1.65, 1.72, 1.74, 1.75, 1.76, 1.77, 1.77, 1.78 y 1.78 ml) respectivamente, evidenciando la mayor producción de metano en los tratamientos evaluados.

Con respecto al resto de formulaciones que contenían suero. A pesar de encontrarse en el segundo rango, se observó al tratamiento cuatro el cual involucraba 93.75 ml de suero considerado la menor proporción (25%) en la mezcla, quien logró inicialmente la producción de 1,19 ml a las 24 horas de registrarse el desprendimiento de metano. Se observó un incremento paulatino durante las (48, 72, 96, 120, 144 y 168 horas) generando (1.21, 1.24, 1.28, 1.30, 1.30 y 1.31 ml) de metano respectivamente. Posteriormente la generación de CH₄ en el tratamiento descrito, estabiliza su desprendimiento a partir del día ocho hasta el trece con una producción de 1.32 ml de metano.

Tabla 2. Resultado de producción de metano in vitro.

Hora Tratamiento	Producción de metano <i>in vitro</i> CH ₄ IV (ml)												
	24 h	48 h	72 h	96 h	120 h	144 h	168 h	192 h	216 h	240 h	264 h	288 h	312 h
T 1	1,42 a	1,50 a	1,55 a	1,59 a	1,65 a	1,72 a	1,74 a	1,75 a	1,76 a	1,77 a	1,77 a	1,78 a	1,78 a
T 2	1,18 b	1,18 b c	1,18 b c	1,18 c	1,18 c	1,18 b c							
T 3	1,13 b	1,13 c	1,13 c	1,13 c	1,13 c	1,13 c	1,13 c	1,13 c	1,13 c	1,13 c	1,13 c	1,13 c	1,13 c
T 4	1,19 b	1,21 b	1,24 b	1,28 b	1,30 b	1,30 b	1,31 b	1,32 b					
T 5	1,15 b	1,15bc	1,15 c	1,15 c	1,15 c	1,15 c	1,15 c	1,15 c	1,15 c	1,15 c	1,15 c	1,15 c	1,15 c
Valor P	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001
ESM	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
C.V	3,45	4,28	4,47	4,80	5,57	7,38	7,92	8,20	8,38	8,53	8,66	8,81	8,90

(a b c) Los valores de las medias con letra idéntica en la misma columna son estadísticamente iguales ($P < 0.05$). T 1: Agua 375 ml + Estiércol 93,75 g + Paja 31,25 g. T 2: Suero 375 ml + Estiércol 93,75 g + Paja 31,25 g. T 3: Agua 187,5 ml + Suero 187,5 ml + Estiércol 93,75 g + Paja 31,25 g. T 4: Agua 281,25 + Suero 93,75 ml + Estiércol 93,75 g + Paja 31,25 g. T 5: Agua 93,75 ml + Suero 281,25 ml + Estiércol 93,75 g + Paja 31,25 g. ESM: error estándar de la media. CV: coeficiente de variación. CH₄ IV: producción de metano in vitro.

En cuanto a la producción de ácidos grasos volátiles AGVs (Tabla 3), se puede observar que la mejor ($P=0.0001$) producción de ácido acético 69,96 mmol/mol fue en el tratamiento cuatro T 4 con respecto a los demás evaluados. En lo que refiere al ácido propiónico la ($P=0.0001$) mayor producción 25,05 mmol/mol se registró en el tratamiento tres T3, y el ácido butírico fue mayor ($P=0,0001$) con producción de 14.95, 14.28, 14.33 y 15.01 mmol/mol en los tratamientos T1, T2, T 3 y T 5 respectivamente.

Tabla 3. Presencia de ácidos grasos volátiles y producción acumulada de biogás y metano.

Tratamiento	T 1	T 2	T 3	T 4	T 5	ESM	P-VALOR	C.V.
GSIV (ml)	88,77 b	104,80 b	61,06 c	167,83 a	67,58 c	4,16	<0,0001	12,00
CH ₄ IV (ml)	1,78 a	1,18 b c	1,13 c	1,32 b	1,15 c	0,04	<0,0001	8,90
AGVs (%m mol/mol)								
Ácido Acético	61,65 c	66,30 b	60,63 c	69,96 a	60,89 c	0,37	<0,0001	1,64
Ácido Propiónico	23,40 b	19,43 c	25,05 a	18,15 d	24,10 a b	0,30	<0,0001	3,82
Ácido Butírico	14,95 a	14,28 a	14,33 a	11,89 b	15,01 a	0,28	<0,0001	5,58

(a b c d) Indica diferencias estadísticas de las medias p – valor ($<0,0001$) ESM: error estándar de la media. CV: coeficiente de variación. CH₄ IV: producción de metano in vitro GSIV: producción de gas in vitro AGVs: ácidos grasos volátiles T 1: Agua 375 ml + Estiércol 93,75 g + Paja 31,25 g. T 2: Suero 375 ml + Estiércol 93,75 g + Paja 31,25 g. T 3: Agua 187,5 ml + Suero 187,5 ml + Estiércol 93,75 g + Paja 31,25 g. T 4: Agua 281,25 + Suero 93,75 ml + Estiércol 93,75 g + Paja 31,25 g. T 5: Agua 93,75 ml + Suero 281,25 ml + Estiércol 93,75 g + Paja 31,25 g.

La superioridad obtenida 64.50 ml de biogás en el actual estudio concuerda con los autores (Del Pópulo et al., 2018), a más de indicar que la presencia de nutrientes en el medio favorecen a los procesos anaeróbicos microbianos durante la fermentación, exponen que la producción de biogás se mantuvo y

consiguiente se detiene por la declinación del pH alterando los parámetros óptimos lo cual redujo drásticamente la actividad fermentativa de los microorganismos como reflejaron las mezclas del 25% estiércol y suero 75%, dicha repercusión es concomitante con (Arias, 2019), quien indica que la metanogénesis se efectúa cuando el medio se encuentre cercano a la neutralidad puesto que si el pH varía, la actividad metanogénica reduce y decrece la producción de metano. Así mismo refieren que por el descenso del pH la generación de metano se inhibe debido a la acumulación de H₂ y ácido acético, por ende al presentarse elevadas concentraciones de H₂ las bacterias que desdoblan el ácido propiónico son suprimidas provocando el depósito de ácidos grasos volátiles como producto la reducción del pH, deteniendo significativamente el proceso de metanogénesis como demostró su estudio donde al haber utilizado un contenido de 20% y 80% de lactosuero produjeron (7,7 l y 0,99 l) de metano respectivamente que se detuvo a los 18 días lo que probablemente ocasionó la acumulación de ácidos volátiles. Mientras que (Antonelli et al., 2016) con proporciones de 50% de suero y 20% de inóculo estiércol, produjeron 168 l de metano.

La producción obtenida en la investigación es probable que se deba a la reacción bioquímica inmediata que ocurrió al suministrar un agente que potencializó el proceso fermentativo en la mezcla de excreta y fibra ocurriendo inicialmente una elevada producción durante los cuatro primeros días en el tratamiento dos que contiene 100% suero 64.50, 84.69, 94.69 y 98.33 ml. Lo cual concuerda con lo reportado por (González & Jurado, 2017) que efectuaron una combinación de estiércol sólido de vaca más el suero de queso, cuya proporción fue de 3:2, donde se registró la producción de 1,66 l de biogás, previamente incubado a temperatura de 35°C, afirmando que, al enriquecer con residuos de origen alimenticios, indistintamente con qué tipo de estiércol se trabaje se produce adecuados volúmenes de biogás y metano.

En cuanto a la variación en la producción de biogás in vitro obtenidos, posiblemente se debe a los volúmenes de suero dispuesto lo cual provoca que inicialmente se obtenga mayor producción de gas en los tratamientos con la máxima concentración de suero y que a medida que transcurre el tiempo de fermentación la producción de éste se estabiliza en el tratamiento que involucra la menor concentración de suero 25% a pesar que se maneja la similar proporción de fibra vegetal 25% y excreta 75%, asumiendo que el tratamiento con menor concentración de suero el factor pH moderadamente fue



modificado y se lo evidencia en los volúmenes de biogás y metano generados. Esto comparte lo descrito por (Gelegenis et al., 2007), evidenciando un decremento en los tratamientos que contienen el 25% y 50% de lactosuero, quienes generan biogás de manera regular. Mientras que los tratamientos que produjeron mínima o ninguna cantidad de biogás, se debe posiblemente al contenido de grasa y proteína procedente del suero lo que ocasiona la producción retardada de biogás. Donde se excluye el efecto inhibitor de producción de metano, añadiendo 150 mg/l de calcio. Así mismo es concordante con (Comino et al., 2012) quienes establecen que siendo el suero de leche un coproducto procedente de la agroindustria, con características elevadas de biodegradabilidad y producción de metano posee un gran valor energético. De igual manera la producción reportada en la investigación se asemeja con lo obtenido por (Cantuña, 2018) 119,64 ml de biogás con 75% suero lácteo y 25% de excreta bovina, quien manifiesta que en la codigestión de excreta bovina con restos alimenticios la generación de metano incrementa de acuerdo se modifica el contenido de la mezcla considerando que si los componentes más se acercan a similares proporciones la producción de gas mejora por la activación del inóculo. Mientras que los resultados difieren con lo expuesto por (Barrena et al., 2017) quienes indican que al reducir el estiércol e incrementar el contenido de lactosuero, se mantiene constante el desprendimiento de biogás afirmando que la adición de lactosuero está ligado de manera significativa en su producción.

En el experimento se observó que a partir del día 1 al día 13 de haber sometido a fermentación, absolutamente todos los tratamientos produjeron biogás indistintamente a las concentraciones de suero suministradas y colocadas a incubación de 39 °C. La frecuencia con que se produjo se debe seguramente a la temperatura termófila aplicada que favoreció la acción de los microorganismos sobre el sustrato enriquecido con lactosuero en cuanto a producción de biogás, mientras que para la generación de metano redujo su efectividad. Lo evidenciado coteja con (Narváez & Saltos, 2007), demostrando que el pico alcanzado estuvo ligado a rangos adecuados de pH 6.5 – 7.0 y la temperatura mesófila que se mantuvo entre 30 y 37 °c. Así también la observación es consistente con (Fernández et al., 2016) quienes indican que obtuvieron biogás con una producción de 0,8 l y de 1,21 l en los 5 y 10 días iniciales respectivamente, confirmando que en los primeros quince días son los más relevantes para la generación de biogás.



Los resultados de ácidos grasos volátiles obtenidos se contrastaron con lo anunciado por (Hill & Holmberg, 1988) quienes recomiendan que para el buen desarrollo de las bacterias metanogénicas los valores apropiados de AGVs sugeridos son: máximo 950 mg/l (28,75 mmol/mol) de ácido propiónico, el ácido acético debe estar a una concentración menor a 1600 mg/l (595,99 mmol/mol), el butírico bajo de 300 mg/l (7,63 mmol/mol) y el ácido valérico no mayor a 200 mg/l (4,39 mmol/mol), haciendo hincapié que las concentraciones de estos ácidos evita el estrés en las etapas productivas de biogás y metano.

La tabla 3, de la producción de ácidos grasos volátiles obtenida, eventualmente se debe a los derivados de la degradación de componentes orgánicos se encontraban en proporción idónea durante la fase acidogénica a excepción del ácido butírico (11,89 mmol/mol), lo cual redujo significativamente la acumulación de AGVs en el proceso fermentativo, evitando que el accionar de las bacterias metanogénicas se inhiba y detenga la producción de biogás. En lo que se refiere al ácido propiónico cuya cuantificación fue de 25,05 mmol/mol valor es posible que en la fase de fermentación anaeróbica se acidificó drásticamente la mezcla con presencia sobredimensionadas cantidades de ácidos grasos volátiles, entre estos el material graso procedente del suero lo que imposibilitó su consumo inmediato y atenuó su asimilación durante el periodo experimental, ocasionando la reducción de población bacteriana metanogénica. Mientras que la cantidad de ácido butírico obtenido procedió de la carga de excreta bovina 93,75 ml que se combinó con el 100% de agua sin adición de lactosuero lo que evitó la saturación con ácidos grasos volátiles.

Los volúmenes de AGVs conseguidos concuerdan con (Gerardi, 2003), quien reportó que inicialmente el pH desciende, luego de transcurrir el tiempo los microorganismos encargados de la acetogénesis así como los metanogénicos los asimilan y dicho factor paulatinamente incrementa, considerando que los microorganismos anaerobios metabolizan entre 6.6 y 7.6 pH, mientras que las bacterias metanogénicas formadoras de metano reducen incluso detienen su actividad cuando el pH desciende el valor de 6.6. Además (Fernández et al., 2016), indican que al modificar el pH en tendencia ascendente y reducir el contenido de sólidos volátiles, se acelera la degradación de la materia orgánica, los cuales se hidrolizaron y se transformaron en ácidos grasos, favoreciendo la producción de metano.

Esto comparten (Chandra et al., 2012) indicando que la paja *Brachypodium phoenicoides* al contener principalmente estructura hemicelulótica, dichos sustratos son hidrolizables fácilmente en AGVs durante en el proceso de digestión anaeróbica lo cual modificó las condiciones intrínsecas del medio. A lo cual (Cuetos et al., 2010) señalan que la biomasa bovina contiene grandes proporciones de nitrógeno que se transforma en amoníaco durante la etapa de metabolización de los AGVs, contribuyendo como amortiguador y estabilizador del medio para la producción de metano. Por otro lado (Zavaleta, 2009) expone que el componente glicerol procedente del suero, al fermentarse genera primordialmente ácido propiónico conformante de la cadena precursora de biogás. En discrepancia a lo reportado la (FAO, 2011) señala que otro potencial inhibidor de la fermentación metanogénicos es la presencia de antibióticos en la materia prima utilizada para la producción de biogás.

CONCLUSIONES

En el estudio, se investigó el aprovechamiento de la biomasa residual pecuaria de ganado bovino al 75%, adicionada 25% de fibra vegetal, enriquecido con 25% de lactosuero, la presencia de ácidos grasos volátiles donde se identificó ácido acético 69.96 mmol/mol, propiónico 25.05 mmol/mol y butírico 14.95, 14.28, 14.33 y 15.01 m mol/mol como intervinientes esenciales en la producción de 167.83 ml de biogás y 1.78 ml de metano. Por lo tanto, la adición de lactosuero para la producción de biogás se suscita en una alternativa energética renovable y por ende contribuye a reducir los gases de efecto invernadero como resultado de la descomposición de remanentes lácteos y biomasa residual. Con la investigación, se promueve implementar biodigestores in situ para favorecer a los productores que se dedican a la agricultura, ganadería e industria láctea a pequeña, mediana y gran escala que manufacturan derivados de la leche, logren el aprovechamiento de una energía combustible y de biofertilizante alternativa y limpia contenida en los materiales y subproductos de desecho provenientes de sus actividades. Por consiguiente, al efectuar el tratamiento adecuado por el método de codigestión, también se reduce la contaminación en cuerpos de agua, suelo y aire, por lo tanto, se beneficia al sistema ambiental al reducir la emisión de gases efecto invernadero que ocasionan el fenómeno denominado cambio climático.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albiac, J., Kahil, T., Notivol, E., & Calvo, E. (2017). Agriculture and climate change: Potential for mitigation in Spain. *Science of The Total Environment* . *Science of The Total Environment*, 592, 495–502. doi:10.1016/j.scitotenv.2017.03.110
- Antonelli, J., Lindino, A., Rodrigues de Azevedo, J., De Souza, N., Cremonez, P., & Rossi, E. (2016). Biogas production by the anaerobic digestion of whey. *Revista de Ciências Agrárias*, 39(3): 463-467. doi:10.19084/RCA15087
- Arias, J. (2019). Potencial Energético del Biogás de la Co-digestión del suero lácteo y el estiércol bovino [Tesis de Tercer Nivel]. *Universidad De Las Américas*. Obtenido de <https://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/10889/1/UDLA-EC-TIAM-2019-12.pdf>
- Barrena, M., Gamarra, O., Milla, M., Fellenberg, T., & Ordinola, C. (2017). Optimización de la producción de biogas a escala de laboratorio a partir de estiércol de bovino, lactosuero y totora (*Scirpus californicus*). *Revista de Investigación para el Desarrollo Sustentable*, 3(2): 60-66. doi:10.25127/indes.201502.007
- Blandón, S., Zelaya, D., Arranz, J., & Zamora, J. (2014). Evaluación de la producción de biogás a partir de suero lácteo a escala de laboratorio. *Revista Ciencia y Tecnología El Higo*, 4(1):29-35. doi:10.5377/elhigo.v4i1.8633
- Cantuña, L. (2018). Evaluación por valoración del potencial de biometanización del rendimiento de producción de metano a partir de suero lácteo de la quesería artesanal de la zona rural de Machachi inoculado con estiércol bovino [Tesis de Tercer Nivel] . *Universidad Central Del Ecuador*. Obtenido de <https://www.dspace.uce.edu.ec/entities/publication/b6bedb84-3e1b-48ce-a630-05da11b5e1fb>
- Chandra, R., Takeuchi, H., & Hasegawa, T. (2012). Methane production from lignocellulosic agricultural crop wastes: A review in context to second generation of biofuel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(3), 1462–1476. doi:10.1016/j.rser.2011.11.035
- Chica, A., & Lopez, G. (2011). Modelado del Crecimiento de Bacterias al Interior de un Biodigestor. *Dialnet*, 5; 1–5. Obtenido de <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-nacional-del->



[callao/ciencias/dialnet-modelado-del-crecimiento-de-bacterias-al-interior-de-un-bio-4020242/106014201](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.02.090)

- Comino, E., Riggio, V., & Rosso, M. (2012). Biogas production by anaerobic co-digestion of cattle slurry and cheese whey. *Bioresource Technology*, 114, 46–53. doi:10.1016/j.biortech.2012.02.090
- Cuetos, M., Gómez, X., Otero, M., & Morán, A. (2010). Anaerobic digestion and co-digestion of slaughterhouse waste (SHW): Influence of heat and pressure pre-treatment in biogas yield. *Waste Management*, 30(10), 1780–1789. doi:10.1016/j.wasman.2010.01.03
- Del Pópolo, M., Grzona, C. B., & Münnich, K. (2018). Producción de biogás a partir de estiércol bovino y suero lácteo de quesería. *Jornadas de jóvenes investigadores AUGM*. Obtenido de https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/12921/26-energia-del-popolo-grzona-mariana-unsl-1.pdf
- FAO. (2011). Manual de Biogas. En M. Varnero. Chile: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/019/as400s/as400s.pdf>
- Fernández, C., Martínez, E., Morán, A., & Gómez, X. (2016). Procesos biológicos para el tratamiento de lactosuero con producción de biogás e hidrógeno. Revisión bibliográfica. *Revista Investigación, Optimización y Nuevos n producción de biogás e hid* *Revista Investigación, Optimización y Nuevos Procesos En Ingeniería*, 29(1), 47–62. doi:10.18273/revion.v29n1-2016004
- Gelegenis, J., Georgakakis, D., Angelidaki, I., & Mavris, V. (2007). Optimization of biogas production by co-digesting whey with diluted poultry manure. *Renewable Energy*, 32(13), 2147–2160. doi:10.1016/j.renene.2006.11.015
- Gerardi, M. (2003). *The Microbiology of Anaerobic Digesters. Wastewater Microbiology Series*. New Jersey: Wiley-Interscience A John Wiley & Sons, Inc., Publication. doi:10.1002/0471468967
- González, E., & Jurado, P. (2017). Sustratos y producción de biogás en biodigestores. Una revisión sistemática. *Ingeciencia*, 2; 44-64.



- Hernández, F. (2015). *Producción de biogás con suero de queso: Tratamiento y generación de energía renovable a partir de lactosuero*. Argentina: Universidad de Buenos Aires. Obtenido de https://books.google.com.ec/books/about/Producci%C3%B3n_de_biog%C3%A1s_con_suero_de_ques.html?id=2W2gBAAQBAJ&redir_esc=y#:~:text=Se%20especifica%20cuanta%20energ%C3%ADa%20t%C3%A9rmica%20y%20el%20A9ctrica%20se,casos%20concretos%20y%20condiciones%20de%20v
- Hill, D., & Holmberg, R. (1988). Long chain volatile fatty acid relationships in anaerobic digestion of swine waste. *Biological Wastes*, 23(3), 195–214. doi:10.1016/0269-7483(88)90034-1
- Kalyuzhnyi, S., Martinez, E., & Martinez, J. (1997). Anaerobic treatment of high-strength cheese-whey wastewaters in laboratory and pilot UASB-reactors. *Bioresource Technology*, 60(1), 59–65. doi:10.1016/s0960-8524(96)00176-9
- Magaña, J., Núñez, R., Jiménez, H., & Martínez, M. (2011). Tratamiento anaerobio de desechos lácticos y estiércol de cabra. *Ingeniería e Investigación*, 31: 93-98. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v31n1/v31n1a10.pdf>
- Narváez, Y., & Saltos, A. (2007). *Diseño, construcción y puesta en marcha de un biodigestor tipo piloto para la obtención de biogas y bioabono a partir de la mezcla de estiércol vacuno y suero de queso. [Tesis de tercer Nivel]*. Ecuador: Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Química. Obtenido de <https://repositorio.ug.edu.ec/items/5f6d308c-20d5-448f-9a6d-c57c38aa3b8f/full>
- Pratt, C., & Trate, K. (2018). Mitigating Methane: Emerging Technologies To Combat Climate Change's Second Leading Contributor. *Environmental Science & Technology*, 52(11), 6084–6097. doi:10.1021/acs.est.7b04711
- Saddoud, A., Hassaïri, I., & Sayadi, S. (2007). Anaerobic membrane reactor with phase separation for the treatment of cheese whey. *Bioresource Technology*, 98(11), 2102–2108. doi:10.1016/j.biortech.2006.08.013
- Theodorou, M., Williams, B., Dhanoa, M., McAllan, A., & France, J. (1994). A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. *Animal Feed Science and Technology*, 48(3-4), 185–197. doi:10.1016/0377-8401(94)90171-6



Zavaleta, E. (2009). *Los Ácidos Grasos Volátiles fuente de energía en los rumiantes*. México: Universidad Nacional Autónoma de México. Obtenido de <https://fmvz.unam.mx/fmvz/cienciavet/revistas/CVvol1/CVv1c09.pdf>

