



GLICEROL CRUDO (1,2, 3 PROPANOTRIOL) DE *JATROPHA CURCAS* L. SU EFECTO EN LA DINÁMICA FERMENTATIVA Y ECOLOGÍA DEL RUMEN

CRUDE GLYCEROL (1, 2,3-PROPANETRIOL) FROM *JATROPHA CURCAS* L. ITS EFFECT ON FERMENTATION DYNAMICS AND RUMEN ECOLOGY

✉ JUANA L. GALINDO^{1*}, ✉ J.A. SOTOLONGO²,
✉ DAIKY VALENCIAGA¹, ✉ MAGALY HERRERA¹, ✉ Á. DELGADO¹

¹Instituto de Ciencia Animal, C. Central, km 47 ½, San José de las Lajas, C.P. 32700, Mayabeque, Cuba

²Empresa LABIOFAM Guantánamo, Calle 17 sur entre 7 y 8 Oeste, Municipio Guantánamo, Guantánamo, Cuba

*E-mail: juanaluzgblanco@gmail.com

Para evaluar el efecto del glicerol crudo de *Jatropha curcas* L. en la dinámica fermentativa y ecología del rumen se condujo un experimento *in vitro*. Los tratamientos fueron: 1) pasto estrella + concentrado sin glicerol (control), 2) pasto estrella + concentrado con 3 % de glicerol y 3) pasto estrella + concentrado con 6 % de glicerol. Los muestreos se realizaron a las 0 horas (antes de incubar) y a las 3 y 6 horas posteriores al inicio de la incubación. Se determinaron las poblaciones de bacterias viables totales, celulolíticas, proteolíticas y hongos celulolíticos, según diseño completamente aleatorizado en arreglo factorial. Se realizó análisis de varianza no paramétrico. Las poblaciones de bacterias viables totales, celulolíticas y hongos celulolíticos fueron superiores con 3 % del glicerol y no hubo efectos en la población de bacterias proteolíticas. Se encontraron modificaciones en la concentración de ácidos grasos de cadena corta totales, sus proporciones molares y la relación acético/propiónico. La liberación de glucosa estimada fue de 10788.67, 11200.33 y 12110.00 g. El metano que se produjo fue 751.56, 708.04 y 726.67 g y la biomasa microbiana fue 4126.2, 4347.7 y 5621.5 g para el control (sin glicerol), 3 y 6 %, respectivamente. Se concluye que el glicerol modifica las poblaciones microbianas y procesos fermentativos del rumen. Estos estudios constituyen los primeros con la utilización del glicerol de *J. curcas* en el rumen.

To evaluate the effect of crude glycerol from *Jatropha curcas* L. on the fermentation dynamics and rumen ecology, an *in vitro* experiment was conducted. The treatments were: 1) star grass + concentrate without glycerol (control), 2) star grass + concentrate with 3 % glycerol and 3) star grass + concentrate with 6 % glycerol. Sampling was carried out at 0 hours (before incubation) and at 3 and 6 hours after the start of incubation. The populations of total viable bacteria, cellulolytic, proteolytic and cellulolytic fungi were determined according to a completely random design in factorial arrangement. Nonparametric analysis of variance was performed. The populations of total viable bacteria, cellulolytic bacteria, and cellulolytic fungi were higher with 3 % glycerol, and there was no effect on the population of proteolytic bacteria. There were changes in the concentration of total short-chain fatty acids, their molar proportions and the acetic/propionic acid ratio. The estimated glucose release was 10788.67, 11200.33 and 12110.00 g. The methane produced was 751.56, 708.04 and 726.67 g and the microbial biomass was 4126.2, 4347.7 and 5621.5 g for the control (without glycerol), 3 and 6 %, respectively. It is concluded that glycerol modifies microbial populations and fermentative processes in the rumen. These studies are the first to use glycerol from *J. curcas* in the rumen.

Palabras clave: AGCC, bacterias, glucosa, rumen

Key words: bacteria, glucose, rumen, SCFA

Recibido: 25 de febrero de 2025

Aceptado: 28 de mayo de 2025

Conflicto de intereses: Los autores del presente trabajo declaran que no existe conflicto de intereses.

Declaración de contribución de autoría CRediT: Juana L. Galindo: Conceptualización, Investigación, Curación de datos, Supervisión, Redacción - borrador original. José A. Sotolongo: Conceptualización, Investigación. Daiky Valenciaga: Conceptualización, Investigación, Curación de datos, Supervisión. Magaly Herrera: Curación de datos, Análisis formal. Álvaro Delgado: Conceptualización, Curación de datos.



Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0). <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



Introducción

El glicerol, también conocido como glicerina o 1, 2,3 propanotriol ($C_3H_8O_3$), es un compuesto alcohólico con tres grupos -OH (hidroxilos), subproducto que se genera en los procesos de fabricación del biodiesel (Awogbemi y Desai 2025) y que impacta negativamente en el medio ambiente (Ningaraju et al. 2022). Por ello, su empleo en la alimentación animal resuelve el problema ambiental y proporciona energía a la dieta (Zacaroni et al. 2022, Zhang et al. 2022 y Fraga et al. 2024).

En Guantánamo, Cuba, se ejecutaron proyectos en los que se obtuvo el glicerol a partir de las semillas de *J. curcas* (Sotolongo et al. 2021) y se evaluó su uso en la fisiología nutricional y producción de leche (Gaillard et al. 2018 y Bonis et al. 2024).

La utilización del glicerol en la alimentación de animales rumiantes presenta ventajas de importancia. Se informa el efecto benéfico del glicerol como estrategia preventiva de trastornos metabólicos, caracterizados por las deficiencias o desequilibrios nutricionales: cetosis, hígado graso, hipocalcemia puerperal y tetania hipomagnésica, denominadas enfermedades de la producción (Delgado et al. 2018). Esto obedece a que el glicerol se caracteriza como precursor glucogénico exógeno, que suple las necesidades de energía y controla la movilización de grasa a partir de la estimulación de la liberación de insulina, que tiene un efecto inhibidor sobre la lipólisis. Su adición permite la disminución del balance energético negativo de los animales como del catabolismo de la grasa corporal y los niveles séricos de ácidos grasos no esterificados (Gómez y Campos 2016). También se informó la inclusión de 10 % de glicerol en la materia seca en la dieta de vacas de la raza Holstein de alta producción, lo que permitió la sustitución del maíz por glicerol (Delgado et al. 2016).

El glicerol se utiliza, principalmente, como una alternativa para la suplementación de animales. Se considera un sustituto parcial del maíz en dietas de animales bovinos de elevada producción, dada su similitud en el valor de energía neta (Filho et al. 2024). Otros estudios realizados por Clariget et al. (2016) demostraron que no existen diferencias significativas entre animales alimentados con maíz, en comparación con el glicerol.

No existen trabajos con la aplicación del glicerol de *J. curcas* en la fisiología del rumen, específicamente en sus poblaciones microbianas, por lo que el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del glicerol crudo de *Jatropha curcas* L. en la dinámica fermentativa y ecología del rumen con pasto estrella en condiciones *in vitro*.

Materiales y Métodos

Procedencia del aceite vegetal: El aceite vegetal de *J. curcas*, utilizado en el proceso de obtención

del glicerol, se obtuvo durante el procedimiento de producción de biodiesel en la Planta de Biodiesel Paraguay, perteneciente a LABIOFAM, en la región costera de la provincia Guantánamo.

Procedimiento para su limpieza, extracción y transesterificación: Los frutos maduros se cosecharon, se secaron al sol y se descascararon para la obtención de la semilla. Para la extracción del aceite, las semillas se prensaron con una máquina expeler, con potencia de 7.5 kW, velocidad de 1 400 r.p.m. y capacidad de 200 kg de semillas por hora. El aceite en bruto que se obtuvo se filtró mediante un filtro prensa, que garantizó un producto de 25 micrones. Posteriormente, el aceite se sometió a un proceso de calentamiento a 105 °C para la extracción de todas las impurezas solubles y volátiles, incluso el agua (Piloto et al. 2021 y Sotolongo et al. 2021).

Indicadores, métodos de ensayo y normas de calidad internacional: Los ensayos se realizaron en el Centro de Estudio de Energía y Refrigeración de la Facultad de Energía Mecánica e Industrial de la Universidad de Oriente. Fueron descritos por Bonis et al. (2024), así como la caracterización fisicoquímica del glicerol crudo, obtenido en el proceso transesterificación del aceite de *J. curcas* L.

La investigación se realizó en los laboratorios de microbiología del rumen, de la Unidad Central de Laboratorios (UCELAB), del Instituto de Ciencia Animal, ubicado en el km 47½, en San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. Se aplicó la técnica de producción de gas *in vitro*, descrita por Theodorou et al. (1994). Las unidades experimentales se integraron por frascos de 100 mL, en los que se introdujo 1 g del alimento a evaluar y 80 mL de la solución líquido ruminal/solución amortiguadora de Menke y Steingass (1988) en una relación 1:3. En el experimento se montaron cuatro repeticiones.

Tratamientos: Los tratamientos se compararon de acuerdo con el nivel de sustitución del maíz por glicerol en el pienso: a) control (sin glicerol), b) 3 % de glicerol y c) 6 % de glicerol. La composición de las dietas experimentales se muestra en la tabla 1.

Se utilizó como alimento base pasto estrella (*C. nlemfuensis*). El mismo se recolectó de manera semejante al bocado de los animales y las hojas se tomaron con sus pecíolos. El material se secó en estufa a 60 °C hasta alcanzar peso constante. Luego se molió en molino de martillo, a un tamaño de partículas de 1.0 mm y se conservó en frascos de cristal herméticamente cerrados. La composición química del pasto estrella fue 11.90, 41.06, 39.95, 0.54 y 0.08 % de la MS de proteína bruta (PB), fibra neutra detergente (FDN), fibra ácido detergente (FDA), calcio (Ca) y fósforo (P), respectivamente (AOAC 2016).

Muestras: Los muestreos se realizaron en forma dinámica a las 0 h (antes de incubar) y a las 3 y 6 h posteriores al inicio de la incubación. Se determinaron los indicadores microbiológicos: población de bacterias viables totales,

Tabla 1. Descripción del concentrado, según nivel de incorporación de glicerol en la dieta en materia seca, kg (%)*

Fuente	Control	3 %	6 %
Maíz	1.5 (60.0)	1.27 (50.8)	0.98 (39.2)
Glicerol	-	0.3 (12.0)	0.6 (24.0)
Soya	0.415 (16.6)	0.414 (16.7)	0.455 (18.2)
Salvado de trigo	0.357 (14.3)	0.276 (11.0)	0.219 (8.9)
Urea	0.015 (0.6)	0.027 (1.1)	0.033 (1.3)
Minerales	0.125 (5.0)	0.125 (5.0)	0.125 (5.0)
Sal común	0.088 (3.5)	0.088 (3.5)	0.088 (3.5)

*Porcentaje con relación al total de concentrado

celulolíticas, proteolíticas y hongos celulolíticos. Para la siembra de bacterias viables, se usó la técnica de cultivo microbiano de [Hungate \(1950\)](#) en tubos rodados y en condiciones de anaerobiosis estricta. La siembra de bacterias viables totales, celulolíticas y proteolíticas se efectuó en los medios de cultivo de [Caldwell y Bryant \(1966\)](#), modificados por [Elías \(1971\)](#). En el caso de las bacterias proteolíticas, se adicionó 10 % de leche descremada estéril, según [Galindo \(1988\)](#). En la determinación de la población de hongos, se empleó el medio de cultivo de [Joblin \(1981\)](#).

Los conteos de colonias de bacterias viables totales, celulolíticas, proteolíticas y hongos se realizaron mediante la colocación de los tubos rodados bajo una lupa y se contaron todas las colonias para las bacterias viables totales y para las proteolíticas, celulolíticas y hongos celulolíticos, solamente las que presentaban halo de digestión. Los resultados se expresaron como unidades formadoras de colonias (UFC) para las bacterias y unidades formadoras de talo para los hongos (UFT).

Animales donantes de líquido ruminal: Para obtener el inóculo de líquido ruminal, se utilizaron dos vacas mestizas de Holstein-Cebú, canuladas en el saco dorsal del rumen. Se mantuvieron en condiciones de estabulación y consumieron forraje de baja calidad a voluntad y 2 kg de concentrado comercial para vacas lecheras, con libre acceso al agua y sales minerales. El líquido ruminal se extrajo a los animales en ayuno a través de la cánula y con la ayuda de una bomba de vacío. Se conservó en termos con cierre hermético para garantizar las condiciones de temperatura (39 °C) y anaerobiosis durante el traslado al laboratorio, donde se filtraron mediante muselina antes de su utilización. La producción de ácidos grasos de cadena corta (AGCC) se determinó por cromatografía gaseosa, según [Cottyn y Boucque \(1968\)](#).

Determinaciones del balance estequiométrico:

- A partir de los resultados de AGCC y con la utilización de los programas BALANCE y RUMETANO

([Stuart 2016](#)), se hicieron las determinaciones del balance estequiométrico de la fermentación ruminal.

- Determinación de biomasa bacteriana (BB) y materia orgánica fermentada (MOF), según [Smith \(1975\)](#).

Diseño experimental y procesamiento estadístico: Para el análisis de las variables bacterias totales, proteolíticas, celulolíticas y hongos, se aplicó la metodología propuesta por [Herrera et al. \(2015\)](#). Primero se verificaron los supuestos teóricos del ANOVA clásico, normalidad de los residuos por la dócima de [Shapiro-Wilk \(1965\)](#) y homogeneidad de varianzas por [Levene \(1960\)](#), ambos fueron incumplidos. Posteriormente, se transformaron por ln y no mejoraron dichos supuestos, por lo que se realizó análisis de varianzas no paramétrico según diseño completamente aleatorizado ([Kruskal Wallis 1952](#)). Para la comparación de los rangos medios, se utilizó la dócima de [Conover \(1999\)](#) para $p < 0.05$. Se usó el paquete estadístico InfoStat, versión 2012 ([Balzarini et al. 2012](#)).

Resultados y Discusión

No hubo interacción entre el efecto del tratamiento con glicerol y las horas de muestreo en el presente experimento. Estas razones justifican que se presenten, de forma separada, el efecto del glicerol y las horas de muestreo.

En la [tabla 2](#) se muestran los resultados del efecto del glicerol en las poblaciones de bacterias viables totales, proteolíticas, así como de las bacterias y hongos celulolíticos del rumen. En el tratamiento donde se empleó 3 % del glicerol en el concentrado, la población de bacterias viables totales fue superior al control, y no difirió del tratamiento con 6 % de glicerol. Asimismo, las poblaciones de bacterias y hongos celulolíticos fueron más numerosas cuando se usó el nivel de 3 % de glicerol en el pienso, mientras que el tratamiento control sin glicerol, y en el que se utilizó 6 % no mostraron diferencias. Sin embargo, no hubo efectos del nivel de glicerol en la población de bacterias proteolíticas.

Tabla 2. Efecto del nivel de glicerol de *J. curcas* en la población microbiana *in vitro* de pasto estrella (*C. nlemfuensis*).

Grupos microbianos	Glicerol, %			Signif.
	0	3	6	
Bacterias viables totales, 10¹¹ UFC.mL⁻¹	31.02 ^b (7.00), DE=4.41	50.16 ^a (10.00), DE=8.81	43.00 ^{ab} (12.00), DE=22.28	p=0.0107
Bacterias proteolíticas, 10⁶ UFC.mL⁻¹	47.39 (11.00), DE=6.07	40.38 (7.50), DE=6.64	36.78 (7.00), DE=3.86	p=0.2476
Bacterias celulolíticas, 10⁶ UFC.mL⁻¹	28.50 ^b (7.00), DE=4.17	53.36 ^a (13.00), DE=5.81	40.22 ^b (10.00), DE=5.09	p=0.0005
Hongos celulolíticos, 10⁵ UFT.mL⁻¹	31.73 ^b (4.00), DE=2.68	55.68 ^a (10.00), DE=6.10	34.73 ^b (5.00), DE=2.87	p=0.0005

() Datos entre paréntesis es la mediana, DE: Desviación estándar

Se conoce que *Ruminococcus albus*, *Ruminococcus flavefaciens* y *Fibrobacter succinogenes*, son las bacterias celulolíticas más importantes del rumen. Estudios realizados por Dengke *et al.* (2022) demostraron que ciertas bacterias del rumen son capaces de degradar la celulosa que consumen los ruminantes a glucosa y celobiosa, así como utilizan otros compuestos carbonados, entre ellos maltosa, lactosa, xilosa y almidón, además producen acetato y succinato, mientras que requieren de biotina y p-aminobenzoico. Adicionalmente, la actividad celulolítica también se ha informado en estudios realizados por tecnologías metagenómicas a partir de los hongos *Neocallimastix frontalis*, *Neocallimastix patriciarum* y *Neocallimastix joyonii*, entre otros, y también a partir de los protozoos *Eudiplodinium maggie*, *Ostracodinium album* y *Epidinium caudatum*.

En estudios realizados por Bonis *et al.* (2024), donde se evaluó el efecto del glicerol de *J. curcas* en vacas lecheras Siboney de Cuba, en pastoreo de pitilla (*Sporobolus indicus* L.) de bajo nivel nutritivo, se registraron incrementos de 1.23 L leche/vaca/d. Estos son los primeros informes del uso de glicerol en Cuba para la producción de leche, aunque, previamente, se informó por Nivia-Osuna *et al.* (2020) que el efecto del glicerol de *J. curcas* no ha sido lo suficientemente concluyente. Se requieren otros trabajos, donde se evalúen diferentes dietas base.

En la presente investigación no se evaluó el efecto del glicerol en la población de bacterias lipolíticas. Sin embargo, este grupo se encuentra en la población de bacterias viables totales, las que fueron más numerosas cuando se utilizó el glicerol.

Las bacterias lipolíticas son aquellas entre las que se encuentra *Anaerovibrio lipolítica*, capaces de utilizar e hidrolizar el glicerol en la molécula de grasa. En este grupo también se encuentran los organismos que hidrogenan los ácidos grasos no saturados y los que metabolizan los ácidos grasos de cadena larga a cuerpos cetónicos (Kansagara *et al.* 2022).

Al respecto, Hidalgo-Hernández *et al.* (2018), demostraron que las bacterias lipolíticas, como *Selenomonas ruminantium* y *Selenomonas dextrinosolvens*, son los grupos de mayor participación en la fermentación del glicerol a ácido

propiónico, principalmente. *Selenomonas ruminantium* es, además, una de las principales bacterias del rumen que fermenta los almidones que llegan al órgano procedentes de los alimentos, e incrementa su población cuando las dietas que consumen los animales es a base de almidones, pero igualmente es capaz de fermentar el glicerol.

En el estudio que se realizó a la composición química por CG-MS de glicerol procedente de *J. curcas* L., se encontró que 5.5 % de los ácidos grasos insaturados de cadena larga son de C18:1c9 (oleico) y C18:2 c9 c12 (linoleico), lo cual es de gran importancia para la salud de los animales que lo consumen (Galindo *et al.* 2025).

Vesga *et al.* (2024) hizo alusión a que los ácidos grasos insaturados pudieran ejercer efectos tóxicos sobre algunos microorganismos del rumen, entre ellos los celulolíticos y algunas especies de protozoos, mientras que otros investigadores (Granja-Salcedo *et al.* 2017) informan que la adición de aceites vegetales con ácido linoleico conjugado incrementa la disposición de UFA en el duodeno.

Al analizar el efecto del tiempo de fermentación en las poblaciones de los microorganismos del rumen que se evaluaron, solo se observaron diferencias entre los tiempos de fermentación para las bacterias proteolíticas, con mayores concentraciones en el tiempo cero (antes de incubar) y a las tres horas de incubación. En el estudio se demostró que la máxima población de estos grupos microbianos se encontró a las tres horas después de iniciada la fermentación (tabla 3).

Los resultados acerca del estudio con los ácidos grasos de cadena corta totales (AGCC), parecen indicar que el glicerol produjo modificaciones en su concentración total en el rumen, así como en la relación acético/propiónico (tabla 4). No obstante, la información no es totalmente veraz, pues se presentaron dificultades técnicas en el laboratorio que no permitieron completar la información necesaria para realizar los estudios estadísticos. No obstante, se decidió utilizar la información que se obtuvo por su importancia relativa con relación a otros estudios.

Se observa que el glicerol sí es capaz de aumentar la producción total de los ácidos grasos de cadena corta *in vitro*, fundamentalmente, la producción de ácido propiónico, tal y como refirieron Li *et al.* (2022).

Tabla 3. Efecto del tiempo de fermentación en algunos grupos fisiológicos de bacterias y hongos celulolíticos del rumen con glicerol.

Grupos microbianos	Tiempo de fermentación, h			Signif.
	0 (antes de iniciar)	3 h	6 h	
Bacterias viables totales, 10¹¹ UFC.mL⁻¹	35.37 (7.00), DE=8.46	47.67 (11.00), DE=22.44	41.43 (10.00), DE=8.65	p =0.1643
Bacterias proteolíticas, 10⁶ UFC.mL⁻¹	42.00 ^a (7.00), DE=6.19	54.37 ^a (11.00), DE=5.92	28.61 ^b (6.00), DE=3.29	p=0.0003
Bacterias celulolíticas, 10⁵ UFC.mL⁻¹	43.69 (10.00), DE=5.97	45.38 (10.50), DE=5.46	34.34 (8.00), DE=5.14	p=0.1722
Hongos celulolíticos, 10⁵ UFT.mL⁻¹	43.19 (6.00), DE=5.15	35.62 (4.00), DE=6.20	43.89 (5.00), DE=3.38	p=0.1722

() Datos entre paréntesis es la mediana, DE: Desviación estándar

Tabla 4. Ácidos grasos totales de cadena corta con el uso de dos niveles de glicerol respecto al control sin glicerol

Indicador	Glicerol, %		
	Control (0)	3	6
AGCCt, meq.L⁻¹	149.0	157.9	203.7
Acético: propiónico	3.10	2.59	2.77

Está bien establecido en la literatura científica que el glicerol se fermenta a ácidos grasos de cadena corta (AGCC) en el rumen. Los primeros estudios de la fermentación del glicerol indican que prácticamente todo el glicerol se fermenta a propionato (Valencia-Echavarría *et al.* 2024).

Se conoce de estudios previos que el glicerol puede entrar en la vía glucolítica, se convierte en piruvato, que genera propionato por dos rutas diferentes: el succinato o el acrilato. Esto justifica el aumento de propionato, al añadir glicerol en la dieta de rumiantes (Vera *et al.* 2025). Igualmente, se conoce que el propionato es de vital importancia para la síntesis de glucosa en animales rumiantes (Arita-Portillo y Elizondo-Salazar 2023).

Trabajos anteriores indican incremento en el ácido acético y ácido propiónico, aumento de ácido propiónico y ácido butírico o ambos (van-Cleef *et al.* 2016) con disminución en el acético, lo que contribuye a la depreciación en la relación acético: propiónica, según informes de Marchelli *et al.* (2015). Estos autores informaron que la mayoría del glicerol se fermenta a AGCC a través de la vía glucolítica con una pequeña producción de ácido láctico. Así que la fermentación del glicerol en el rumen incrementa la concentración de ácido propiónico y butírico, mientras que el ácido acético disminuye.

Si se tiene en cuenta que, el ácido propiónico como el propio glicerol, son potentes agentes neoglucogénicos (Ladeira *et al.* 2016), es razonable emplear el glicerol como suplemento energético para la producción de leche en el período de transición. Incluso, podría ser hasta más

recomendable que otras fuentes energéticas, porque está en ventaja metabólica en relación con sus contrapartes tradicionales, sobre todo propionato y propilenglicol, debido a que entra en la gluconeogénesis a nivel del fosfato isomerasa, metabólicamente más cerca de la glucosa (Delgado *et al.* 2016 y Delgado *et al.* 2018).

Según Valencia-Echavarría *et al.* (2024), el glicerol que entra al rumen produce ácido propiónico, como principal ácido graso volátil de cadena corta. Adicionalmente, el propio glicerol se puede adsorber a través de la mucosa del rumen y se puede transformar en glucosa en el hígado. Esto es de gran importancia porque contribuye a la formación de energía en el metabolismo celular.

Hejna *et al.* (2016) informan que el propiónico que se produce por la fermentación ruminal, es el principal sustrato para la gluconeogénesis en vacas lecheras de alta producción. Por esta vía se llega a obtener entre 50 y 60 % del total de la glucosa que se requiere para el metabolismo. Los estudios realizados por Chanjula *et al.* (2016) redujeron los niveles de nitrógeno amoniacal en rumen, al incorporar 6 % de glicerol en la dieta. Sin embargo, en los trabajos realizados por Correa y Moreno (2019) no se modificó el contenido de nitrógeno ureico en sangre.

En la tabla 5 se muestra el análisis del balance estequiométrico estimado, según Stuart (2016). El patrón de fermentación tiene marcada tendencia hacia la producción de ácido propiónico, cuando se incluye el glicerol en comparación con el control. La reducción del metano, cuando se incluye glicerol, pudiera tener repercusión positiva a nivel de metabolismo intermediario.

Tabla 5. Efecto del glicerol en el balance estequiométrico de la fermentación ruminal, la materia orgánica fermentada y biomasa microbiana en condiciones *in vitro*.

Indicador	Glicerol, %		
	0 (control)	3	6
Ácido acético, % molar	68.01	64.14	64.96
Ácido propiónico, % molar	21.93	24.80	23.47
Ácido butírico, % molar	10.06	11.06	11.58
Glucosa liberada, g	10788.67	11200.33	12110.00
CO ₂ producido, moles	54.58	54.86	55.71
CH ₄ producido, g	751.56	708.04	726.67
H ₂ O producido, moles	21.02	23.46	23.31
Biomasa microbiana, g	4126.2	4347.7	5621.5
Materia orgánica fermentada, g	11461.5	12076.9	15669.2

Conclusiones

Se puede concluir que el glicerol produce modificaciones en las poblaciones microbianas del rumen y procesos fermentativos en el órgano. Se incrementa la biomasa microbiana y se afectan, de manera selectiva, algunos grupos fisiológicos de bacterias. Estos resultados que se presentan son los primeros estudios que se obtienen con el empleo del glicerol de *J. curcas* a nivel de las poblaciones microbianas del rumen. Se deberán realizar nuevas investigaciones hasta demostrar su participación en el metabolismo intermediario de los animales.

Agradecimientos

Se agradece a las Dr.C. Niurca González Ybarra y Tania Pérez Pérez por su dedicación y constante apoyo en la revisión y redacción del presente texto. A todo el personal de la planta de biodiesel de Guantánamo, a los técnicos y profesionales de la Unidad Central de Laboratorios del Instituto de Ciencia Animal. De manera especial a la Ing. Agrónoma Aned Capó.

Referencias

- Aita-Portillo, C.R. & Elizondo-Salazar, J.A. 2023. Efecto del uso de una mezcla de compuestos gluconeogénicos en vacas lecheras en transición. *Agronomía Costarricense*, 47(2): 11-120, ISSN: 2215-2202. <https://dx.doi.org/10.15517/rac.v47i2.56136>.
- AOAC. 2016. Official methods of analysis of AOAC International. 20. ed. ed., Rockville MD: AOAC International., Latimer, George W. Jr., ISBN: 9780935584875, Available at: [http://www.worldcat.org/title/official-meth-](http://www.worldcat.org/title/official-meth-ods-of-analysis-of-aoac.international/oclc/981578728?referer=null&ht=edition)

[ods-of-analysis-of-aoac.international/oclc/981578728?referer=null&ht=edition](https://www.worldcat.org/title/official-meth-ods-of-analysis-of-aoac.international/oclc/981578728?referer=null&ht=edition), [Consulted: April 05, 2018].

- Awogbemi, O. & Desai, D.A. 2025. Progress in the conversion of biodiesel-derived crude glycerol into biofuels and other bioproducts. *Bioresource Technology Reports*, 30(1): 102106, ISSN: 2589-014X. <https://doi.org/10.1016/j.bi-teb.2025.102106>.
- Bonis, R., Valenciaga, D., García López, R., Sotolongo, J.A. & Galindo, J.L. 2024. Effect of crude glycerol from *Jatropha curcas* L. oil on the production and quality of cattle milk. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 58: e21, ISSN: 2079-3480. <https://cu-id.com/1996/v58e21>, <https://www.cjascience.com/index.php/CJAS/article/view/1156>.
- Caldwell, D.R. & Bryant, M.P. 1966. Medium without rumen fluid for nonselective enumeration and isolation of rumen bacteria. *Applied Microbiology*, 14(5): 794-801, ISSN: 2717-5936. <https://doi.org/10.1128/am.14.5.794-801>.
- Chanjula, P., Pongprayoon, S., Kongpan, S. & Cherdthong, A. 2016. Effects of crude glycerin from waste vegetable oil supplementation on feed intake, ruminal fermentation characteristics, and nitrogen utilization of goats. *Tropical Animal Health and Production*, 48(5): 995-1004 ISSN: 1573-7438. <https://doi.org/10.1007/s11250-016-1047-0>.
- Clariget, J.M., Pérez-Clariget R., Álvarez-Oxiley, A., Bentancur, O. & Bruni, M.Á. 2016. Suplementación con glicerina cruda y afrechillo de arroz entero a vacas de carne pastoreando campo natural. *Agrociencia Uruguay*, 20(2): 121-131, ISSN: 2301-1548. <https://agrocienciauruguay uy/indeex.php/agrociencia/article/view/212>.
- Conover, W.J. 1999. Practical Nonparametric Statistics. Third Edition, John Wiley & Sons, New York. 608 pp. ISBN 9780471160687/0471160687.

- Correa, C. & Moreno, L. 2019. Evaluación de la producción de leche, nitrógeno ureico en sangre y algunos componentes de la leche en vacas Holstein suplementadas con glicerol y palmiste en la dieta. *Revista Colombiana de Zootecnia*, 5(10): 38-47, ISSN: 2462-8050. <http://www.anzoo.org/publicaciones/index.php/anzoo/article/view/95/91>.
- Cottyn, B.G. & Boucque, C.V. 1968. Rapid method for the gas-chromatographic determination of volatile fatty acids in rumen fluid. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 16(1): 105-107, ISSN: 1520-5118. <https://doi.org/10.1021/jf60155a002>.
- Delgado, A., Bruni, M.A., Galindo, J.L., Marchelli, J.P., Rodríguez, D. & Chilbroste, P. 2016. Efectos del glicerol al inicio de la lactancia en la producción y calidad de la leche de vacas Holando en pastoreo. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 20(2): 5-18, ISSN: 2683-1716. <https://www.redalyc.org/journal/837/83754343002/83754343002.pdf>.
- Delgado, A., Bruni, M.A., Galindo, J.L., Marchelli, J.P., Rodríguez, D. & Chilbroste, P. 2018. Efecto de la sustitución de maíz por glicerol crudo sobre el consumo de materia seca, en vacas Holando en pastoreo. *Pastos y Forrajes*, 41(2): 131-137, ISSN: 2078-8452. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942018000200007&Ing=es&nrm=iso.
- Elias, A. 1971. The rumen bacteria of animals fed on a high-molasses urea diet. Thesis PhD. Aberdeen.
- Filho, R.S.F., Rebelo, L.R., Zanchetin, M., Silva, A.S., de Paula, N.F., Zervoudakis, J.T., da Silva Cabral, L. & Galati, R.L. 2024. Partial replacement of corn grain with levels of crude glycerin on feed intake, digestibility, ruminal fermentation, nitrogen utilization, and performance of feedlot lambs. *Tropical Animal Health and Production*, 56(9): 401, ISSN: 1573-7438. <https://doi.org/10.1007/s11250-024-04245-y>.
- Fraga, D. da Rosa, Ulsenheimer, B.C., Pereira, E.A., da Silva, J.A.G., Baroni, J.I., Pereira, S.N., de Oliveira, L., Huttra, A.P. & Viégas, J. 2024. Milk composition and productivity of Holstein cows in Ryegrass grazing and crude glycerin in the diet. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, 18(2): e03635, ISSN: 1981-982X. <https://doi.org/10.24857/rgsa.v18n2-077>.
- Gaillard, C., Sorensen, M., Vestergaard, M.R., Weisbjerg, M.K., Larsen, H., Martinussen, U. & Sehested, J. 2018. Effect of substituting barley with glycerol as energy feed on feed intake, milk production and milk quality in dairy cows in mid or late lactation. *Livestock Science*, 209: 25-31, ISSN: 1878-0490. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.01.006>.
- Galindo, J. 1988. Efecto de la zeolita en la población de bacterias celulolíticas y su actividad en vacas que consumen ensilaje. Tesis en opción al grado científico de Dr.C. Veterinarias. Instituto de Ciencia Animal, Cuba.
- Galindo, J., Bonis, R., Valenciaga, D., Sotolongo, J.A., Soca, M., Delgado, A., García, R., Herrera, M. & Suárez, J. 2025. Evaluación del glicerol (1,2, 3 propanotriol), procedente del aceite de *Jatropha curcas*: su efecto en la ecología ruminal y producción de leche vacuna. Informe Final de Proyecto de investigación PN131LH001.48. Evaluación del glicerol (1,2,3 propanotriol), procedente de *Jatropha curcas* en la fisiología ruminal y comportamiento productivo en vacunos de leche y carne. Instituto de Ciencia Animal. Mayabeque, Cuba.
- Gómez, L. & Campos, R. 2016. Control del balance energético negativo y comportamiento productivo y metabólico en vacas doble propósito bajo suplementación energética. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 7(1): 147-156, ISSN: 2145-6453. <https://doi.org/10.1016/10.22490/21456453.1545>.
- Granja-Salcedo Y.T., de Souza V.C., Dias A.V., Gomez-Insuasti A.S., Messana J.D. & Berchielli T.T. 2017. Diet containing glycerine and soybean oil can reduce ruminal biohydrogenation in Nellore steers. *Animal Feed Science and Technology*, 225: 195-204, ISSN: 1873-2216. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.01.021>.
- Hejna, A., Kosmela, P., Formela, K., Piszczyk, Ł. & Haponiuk, J.T. 2016. Potential applications of crude glycerol in polymer technology-Current state and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 66(C): 449-475, ISSN: 1879-0690. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.020>.
- Herrera, M. Bustillo, C.W. & Torres, V. 2015. Metodología para el análisis estadístico de diferentes de tipos de variables que se miden en las investigaciones que utilizan diseños experimentales relacionados con los modelos de análisis de varianza paramétrico y no paramétrico. ISBN 978-959-7171-57-7. Editorial EDICA, Instituto de Ciencia Animal, Cuba.
- Hidalgo-Hernández, U., Ortega-Cerrilla, M.E., Herrera-Haro, J.G., Ramírez-Mella, M. & Zetina-Córdoba, P. 2018. Glicerol una alternativa para la alimentación de rumiantes. *Agro Productividad*, 11(5): 124-129, ISSN: 2594-0252. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.352916>.
- Hungate, R.G. 1950. The anaerobic, mesophilic cellulolytic bacteria. *Bacteriological Reviews*, 14(1): 1-49, ISSN: 2691-9443. <https://doi.org/10.1128/br.14.1.1-49.1950>.
- Balzarini, M., Di Rienzo, A., Cazanove, F., González, L., Tablada, M., Guzmán, W. & Robeldo, W. 2012. InfoStat paquete estadístico InfoStat versión 2012.
- Joblin, K.N. 1981. Isolation, enumeration and maintenance of rumen anaerobic fungi in roll tubes. *Applied and Environmental Microbiology*, 42(6): 1119-1122, ISSN: 1098-5336. <https://doi.org/10.1128/aem.42.6.1119-1122.1981>.
- Kansagara, Y.G., Savsani, H.H., Chavda, M.R., Chavda, J.A., Belim, S.Y., Makwana, K. & Kansagara, B.K. 2022.

- Rumen microbiota and nutrient metabolism: A Review. *Bhartiya Krishi Anusandhan Patrika*, 37(4): 320- 327, ISSN: 0976-4631. <https://doi.org/10.18805/BKAP486>.
- Kruskal, W. & Wallis, W. 1952. Use of ranks in one-criterion variance analysis. *Journal of the American Statistical Association*, 47(260): 583-621, ISSN: 1537-274X. <https://doi.org/10.2307/2280779>.
- Ladeira, M.M., Carvalho, J.R.R., Chizzotti, M.L., Teixeira, P.D., Dias, J.C.O., Gionbelli, T.R.S., Rodrigues, A.C. & Oliveira, D.M. 2016. Effect of increasing levels of glycerin on growth rate, carcass traits and liver gluconeogenesis in young bulls. *Animal Feed Science and Technology*, 219: 241-248, ISSN: 1873-2216. <http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.06.010>.
- Levene, H. 1960. Robust tests for the equality of variance. *Contributions to Probability and Statistics*. Stanford University Press.
- Li, Y., Wang, H., Zhang, Y., Li, X., Jiang, X. & Ding, H. 2022. Effects of dietary supplementation with glycerol monolaurate (GML) or the combination of GML and tributyrin on growth performance and rumen microbiome of weaned lambs. *Animals*, 12(10): 1309, ISSN: 2076-2615. <http://doi.org/10.3390/ani12101309>.
- Marchelli, J.P., Bruni, M.A. & Chilibróste, P. 2015. Efecto de la sustitución de grano de maíz por glicerol crudo sobre el consumo y patrón de fermentación. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 23(5): 79-80, ISSN: 2075-8359. http://www.alpa.org.ve/ojs/index.php/ojs_files/article/viewFile/2516/903.
- Menke, K.H. & Steingass, H. 1988. Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and in vitro gas production using rumen fluid. *Animal Research and Development*, 28: 7-55, ISSN: 0340-3165.
- Ningaraju, C., Yatish, K. & Sakar, M. 2022. Simultaneous refining of biodiesel-derived crude glycerol and synthesis of value-added powdered catalysts for biodiesel production: a green chemistry approach for sustainable biodiesel industries. *Journal of Cleaner Production*, 363: 132448, ISSN: 0959-6526. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132448>.
- Nivia-Osuna, A., Ramírez-Peña, A., Porras-Sánchez, C.J. & Marentes-Barrantes, D.L. 2020. Glicerol: Suplemento alimenticio y su respuesta en bovinos de leche. *Agronomía Mesoamericana*, 31(3): 821-833, ISSN: 2215-3608. <http://doi.org/10.15517/am.v31i3.39259>.
- Piloto, R., Sotolongo, J.A., Díaz, Y. & Suárez, J. 2021. Extracción de aceite de origen vegetal. En: Biodiésel: producción y uso. Capítulo 2. Editor: Dr.C. Ramón Piloto Rodríguez, Dr.C. Jesús Suárez Hernández y M.Sc. José Ángel Sotolongo Pérez. ISBN: 978-959-7138-48-8.
- Shapiro, S. & Wilk, B. 1965. An analysis of variance test for normality (complete simples). *Biometrika*, 52(3-4): 591-611, ISSN: 1464-3510. <https://doi.org/10.2307/2333709>.
- Smith, R.H. 1975. Nitrogen metabolism in the rumen and the composition and nutritive value of nitrogen compounds entering the duodenum. En: Digestion and metabolism in the Ruminant. W. McDonald & A.C.I. Warner (eds.) New England University. Publishing Unit. Armidale. Australia. p. 399
- Sotolongo J.Á., Piloto R., Díaz A. & Hernández J. 2021. Producción de biodiésel. En Libro Biodiésel: producción y uso. Capítulo 4 Editor: Dr.C. Ramón Piloto Rodríguez, Dr.C. Jesús Suárez Hernández y M.Sc. José Ángel Sotolongo Pérez. ISBN 978-959-7138-48-8.
- Stuart, R. 2016. BALANCE-RUMETANO: programa estadístico para el cálculo del balance estequiométrico de la fermentación ruminal. Mayabeque, Cuba: Instituto de Ciencia Animal.
- Theodorou, M.K., Williams, B. A., Dhanoa, M.S., McAllan, A.B. & 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): 185-197, ISSN: 2321-1628. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(94\)90171-6](https://doi.org/10.1016/0377-8401(94)90171-6).
- Valencia-Echavarría, D.M., Granja-Salcedo, Y.T., Noriega-Marquez, J.G., Valderrama, L.A.G., Vargas, J.A.C. & Berchielli, T.T. 2024. Crude glycerol increase neutral detergent fiber degradability and modulates rumen fermentative dynamics of kikuyu grass in non-lactating Holstein cows raised in tropical conditions. *Dairy*, 5(3): 480-490, ISSN: 2624-862X. <https://doi.org/10.3390/dairy5030037>.
- Van-Cleef, E.H.C.B., Sančanari, J.B.D., Silva, Z.F., D'Aurea, A.P., Favaro, V.R., van Cleef, F.O.S., Homem Júnior, A.C. & Ezequiel. J.M.B. 2016. High concentrations of crude glycerin on ruminal parameters, microbial yield, and in vitro greenhouse gases production in dairy cows. *Canadian Journal of Animal Science*, 96(4): 461-465, ISSN: 1918-1825. <https://doi.org/10.1139/cjas-2015-0170>.
- Vera, N. Suescun-Ospina, T., Gutierrez-Gomez, C., Olms-Salvo, V. & Aviala-Stagno, J. 2025. Effects of linseed and glycerol inclusion in concentrate ruminant diets on methane production using a Rusitec semicontinuous system. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 85(3): 434-444, ISSN: 0718-5839. <http://dx.doi.org/10.4067/s0718-58392025000300434>.
- Vesga, D.A., Granja-Salcedo, Y.T., Costa, R.V., Gomes, K.L., Carvalho Alves, Narvaez, H.J. & Berchielli, T.T. 2024. Changes in ruminal fermentation and rumen bacteria population in feedlot cattle during a high lipid diet adaptation. *Animal Science Papers and Reports*, 42(3): 255-270, ISSN: 230-8342. <https://doi.org/10.2478/aspr-2023-0035>.
- Zacaroni, O.F., Lopes, L.M., Júnior, G.S.D., DeVries, T.J., Pereira, R.A., Donkin, S.S. & Pereira, M.N. 2022. Complete replacement of corn grain with crude glycerin for dairy cows. *Livestock Science*, 258: 104893, ISSN: 1878-0490. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2022.104893>.