



EFECTO DEL GLICEROL CRUDO PROCEDENTE DE ACEITE DE *JATROPHA CURCAS* L. EN LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE LA LECHE VACUNA

EFFECT OF CRUDE GLYCEROL FROM *JATROPHA CURCAS* L. OIL ON THE PRODUCTION AND QUALITY OF CATTLE MILK

¹REBECA BONIS NEYRA¹, ²DAIKY VALENCIAGA GUTIÉRREZ^{2*}, ³J. Á. SOTOLONGO PÉREZ¹,
¹R. GARCÍA LÓPEZ², ²A. ORTIZ MILAN³, ³JUANA L. GALINDO BLANCO²

¹Empresa LABIOFAM Guantánamo, Calle 17 Sur entre 7 y 8 Oeste. Municipio Guantánamo. Provincia Guantánamo, Cuba

²Instituto de Ciencia Animal, C. Central, km 47½, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

³Universidad de Guantánamo, Avenida Ernesto Che Guevara, Guantánamo, Provincia de Guantánamo, Cuba

*Email: daikyv@gmail.com, dvalenciaga@ica.edu.cu

Con el objetivo de evaluar el efecto del glicerol crudo procedente de aceite de *Jatropha curcas* L. en la producción y calidad de la leche vacuna, se utilizaron 30 vacas de la raza Siboney de Cuba, multíparas, con condición corporal promedio preparto de 3.04 y pesos vivos promedios preparto de 487.87 kg. Los animales presentaron un número de lactancias promedio de 3.17 y entre siete y 21 días de iniciado el ordeño. Se utilizó diseño completamente aleatorizado, con dos tratamientos y 15 repeticiones, cada animal se consideró una repetición. Los tratamientos fueron (Grupo control: cada animal consumió 1 kg de afrecho de trigo durante el ordeño, sin glicerol; Tratamiento 2: Cada animal consumió 1 kg de afrecho de trigo durante el ordeño + 200 mL de glicerol durante los primeros 15 días, dosis que se aumentó a 400 mL durante los últimos 45 días del ensayo). Los animales pastaron en áreas de pitilla (*Sporobolus indicus* L.) con accesibilidad al agua permanentemente. El glicerol en estudio se caracterizó por una densidad de 1.02 g/mL, contenido en metanol de 2.6 %, punto de inflamación superior a los 65 °C y el pH de 8.74. Mostró color marrón oscuro y sabor dulce. Estos indicadores concuerdan con las propiedades de especificación de calidad del glicerol crudo establecidas por las normas internacionales. La producción promedio de leche/vaca/día fue mayor (P=0.0001) en el tratamiento con el aditivo glicerol (3.43 vs. 2.20 L para el control) al igual que la producción de leche total (P=0.0159). Se concluye que el glicerol crudo obtenido en el proceso de transesterificación del aceite de *J. curcas* posee propiedades físico químicas y organolépticas que lo hacen apto para su utilización en la alimentación animal en forma de aditivo. Su utilización incrementó la producción de leche de vacas Siboney de Cuba, sin afectar los indicadores de calidad. Se recomienda su aplicación en condiciones de producción y el desarrollo de nuevos estudios en otras categorías y especies de animales.

To evaluate the effect of crude glycerol from *Jatropha curcas* L. oil on the production and quality of cattle milk, a total of 30 multiparous cows from Siboney de Cuba breed were used, with an average pre-parturition body condition of 3.04 and an average pre-parturition live weight of 487.87 kg. The animals had an average number of lactations of 3.17 and between seven and 21 days after the start of milking. A completely random design with two treatments and 15 repetitions was applied. Each animal was considered a repetition. The treatments were: control) 1 kg of wheat bran during milking, without glycerol; treatment 2) 1 kg of wheat bran during milking + 200 mL of glycerol during the first 15 days, dose which was increased to 400 mL during the last 45 days of the trial). The animals grazed in areas of pitilla (*Sporobolus indicus* L.) with permanent access to water. The glycerol under study was characterized by a density of 1.02 g/mL, methanol content of 2.6 %, ignition point above 65 °C and pH of 8.74. It showed a dark brown color and sweet taste. These indicators are in accordance with the quality specification properties of crude glycerol, established by international standards. The average milk production/cow/day was higher (P=0.0001) in the treatment with the glycerol additive (3.43 vs. 2.20 L for the control), as well as the total milk production (P=0.0159). It is concluded that crude glycerol, obtained in the transesterification process of *J. curcas* oil, has physicochemical and organoleptic properties that make it suitable for their use in animal feeding as an additive. Its use increased milk production in Siboney Cuba cows without affecting quality indicators. Its application under production conditions and the development of new studies in other categories and species of animals are recommended.

Palabras clave: biocombustible, glicerina, indicadores productivos, oleaginosas

Key words: biofuel, glycerin, oilseeds, productive indicators

Recibido: 25 de enero de 2024

Aceptado: 30 de abril de 2024

Conflicto de intereses: Los autores declaran que no existe conflicto de intereses

Declaración de contribución de autoría CRediT: Rebeca Bonis Neyra: **Conceptualización, Curación de datos, Análisis formal, Investigación, Metodología.** Daiky Valenciaga Gutiérrez: **Conceptualización, Curación de datos, Análisis formal, Investigación, Redacción - borrador original.** J. Á. Sotolongo-Pérez: **Administración de proyectos, Recursos.** R. García López: **Conceptualización, Investigación, Metodología.** Juana L. Galindo Blanco: **Conceptualización, Investigación, Metodología**



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

En las últimas décadas se ha incrementado la demanda mundial por la utilización de fuentes de energías renovables; con el propósito de reducir los enormes impactos ambientales y la dependencia energética, que en la actualidad está ocasionando el uso excesivo e indiscriminado de combustibles fósiles (Zulqarnain et al. 2021).

Según, Nivia-Osuna et al. (2020), con el auge de la producción mundial de biocombustibles y en especial del biodiesel, como fuente sostenible de nuevo recurso energético, surge la alternativa de su producción a partir de plantas oleaginosas, que representan diversos beneficios relacionados con su biodegradabilidad, son más limpias y se constituyen en parte de un progreso tecnológico en la limitación de las emisiones de gases efecto invernadero y la disminución de la contaminación ambiental.

Dentro de los retos que la industria del biodiesel enfrenta, se encuentra la creación de nuevos mercados para la utilización del glicerol, subproducto del proceso de fabricación de biodiesel en una cantidad aproximada del 10 % en peso de los triglicéridos que componen los aceites y grasas que se utilizan como materia prima (Melero et al. 2012). El glicerol, por sus propiedades, constituye una materia prima primordial en la industria alimenticia, la médica y la cosmética (Posada y Cardona 2010). Sin embargo, el glicerol proveniente de la producción de biodiesel presenta contaminantes que dificulta su uso en estas industrias que requieren alto estándares de pureza (Menéndez et al. 2023).

En 2006 el glicerol se reconoció como seguro por la Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos (FDA 2006), para su uso en concentrados destinados a la alimentación animal. Son varios los estudios que utilizan este subproducto como fuente energética alternativa en la alimentación de rumiantes, debido a que se encuentra disponible en el animal para la producción de ácidos grasos de cadena corta a nivel ruminal (Ogborn 2006, Wang et al. 2009, Van-Cleef et al. 2016 y Nivia-Osuna et al. 2020).

En la provincia de Guantánamo, Cuba se ejecuta un proyecto de investigación con financiamiento de la Agencia Suiza para la Cooperación y el Desarrollo (COSUDE), para el fomento de sistemas agropecuarios integrados, en los que se produce biocombustibles y alimento animal a partir de plantas oleaginosas no comestibles, entre ellas *J. curcas* L., por su potencial como fuente de materias primas naturales y renovables, no clasificar como alimento humano o animal y su resistencia a condiciones naturales extremas (Agrawal et al. 2023). La planta productora de biodiesel de Guantánamo produce 400 L de biodiesel/día equivalente a 105 600 L/año. Estos volúmenes productivos generan, aproximadamente 9715.2 kg de glicerol/año.

No se dispone de estudios básicos que ofrezcan la seguridad acerca de su valor nutritivo que permita el uso del glicerol resultante del proceso de obtención del biodiesel a partir de esta oleaginosa en la alimentación de rumiantes. Es por ello que el objetivo de la investigación fue evaluar el efecto del glicerol crudo procedente de aceite de *J. curcas* L. en la producción y calidad de la leche de vacas Siboney de Cuba.

Materiales y Métodos

Caracterización físico-química del glicerol crudo procedente de aceite de *J. curcas* L.

El aceite vegetal que se empleó en el proceso de obtención del glicerol procedió de *J. curcas*, de la procedencia Cabo Verde, cosechada en la zona costera sur de la provincia de Guantánamo. Los frutos maduros se cosecharon, secaron al sol y descascararon para la obtención de la semilla. Para la extracción del aceite las semillas se prensaron utilizando una máquina expeler con potencia de 7.5 kW, velocidad de 1 400 rpm y capacidad de 200 kg de semillas por hora. El aceite en bruto que se obtuvo se filtró a través de un filtro prensa, el 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, incluyendo el agua (Piloto et al. 2021).

El glicerol se obtuvo durante el procedimiento de obtención del biodiesel mediante un proceso de transesterificación del aceite obtenido según Sotolongo et al. (2021), con metanol e hidróxido de sodio (NaOH) como catalizador, en la Planta de Biodiesel Paraguay, perteneciente a la Empresa LABIOFAM de la provincia de Guantánamo.

El estudio de caracterización físico-química del glicerol se realizó en el Centro de Estudio de Energía y Refrigeración de la Facultad de Energía Mecánica e Industrial de la Universidad de Oriente. Las propiedades físico-químicas y organolépticas que se determinaron, el método de ensayo, así como las normas de la asociación americana de pruebas de materiales empleadas, se muestran en la tabla 1. Estas propiedades se determinaron por triplicado.

Indicadores productivos y de calidad de la leche en vacas suplementadas con la mezcla de afrecho de trigo y glicerol

Ubicación: La investigación se llevó a cabo en la vaquería San Rafael, km 18 de la carretera a Santiago de Cuba, perteneciente a la UEB Burene, Empresa Pecuaria Iván Rodríguez, Municipio Niceto Pérez, provincia Guantánamo.

Tabla 1. Indicadores, métodos de ensayo y Normas de calidad (según métodos de ensayo) para efectuar la caracterización físico química del glicerol procedente de aceite de *J. curcas*.

Indicadores	Unidad	Método de ensayo	Glicerol crudo (norma internacional)
Contenido de agua (Karl Fischer)	% (m/m)	UNE-EN 12937:2000	4.3
Viscosidad a 40 °C	mm ² /s	ASTM D445-09 (ASTM International 2019)	69.0
Densidad a 15 °C	g/mL	ASTM D1198-99 (ASTM International 2019)	1.2595
Punto de inflamación °C	°C	ASTM D92-05 ^a (ASTM International 2019)	< 65
Índice refracción a 20 °C		NC ISO 6320. 2013. 202013220202013	1.47-1.57
pH		NC 528.2009	4-9
Corrosión al cobre		ASTM D-130 (ASTM International 2019)	-
Humedad	%	NC ISO 662. 2001	1- 28.70
Cenizas	% (m/m)	ASTM D5468-95 (ASTM International 2019)	5.1
Valor calorífico bruto	MJ/kg	ASTM D5468-95 (ASTM International 2019)	18.20
Contenido de glicerol	% (m/m)	ASTM D7591 (ASTM International 2019)	79
Contenido de metanol	% (m/m)	UNE-EN. 14110	2.6
Características organolépticas	Color Sabor	NRSP 312. 1992.	líquido viscoso inodoro

Animales: Se utilizaron 30 vacas lecheras de la raza Siboney de Cuba, multíparas, con condición corporal promedio parto de 3.04 y peso vivo promedio parto de 487.87 kg. Los animales presentaron un número de lactancias promedio de 3.17 y entre siete y 21 días de iniciado el ordeño.

Tratamientos y diseño experimental: Se realizó una fase pre-experimental con el objetivo de adaptar los animales a las dietas durante 14 días y posteriormente, la investigación duró 60 días. Se realizó análisis de varianza según diseño completamente aleatorizado con dos tratamientos y 15 repeticiones, cada animal se consideró una repetición para un total de 15 por tratamiento, se identificaron por los nombres y presillas colocados en la oreja izquierda.

Cada tratamiento se conformó con animales representativos en igual número de lactancia, semanas de ordeño e historial productivos con el objetivo de reducir el error experimental y factores de variación no relacionados con la dieta, este último considerado como el único factor de variación de los resultados productivos.

Tratamientos experimentales:

Tratamiento 1: Grupo control, cada animal consumió 1 kg de afrecho de trigo durante el ordeño, sin glicerol.

Tratamiento 2: Cada animal consumió 1 kg de afrecho de trigo durante el ordeño + 200 mL de glicerol durante los primeros 15 días, dosis que se aumentó a 400 mL durante los últimos 45 días del ensayo.

El afrecho de trigo que se empleó en la investigación tenía 88 % de materia seca (MS) y 14.8, 6.0, 0.12 y 0.8 % de proteína bruta (PB), fibra bruta (FB), calcio (Ca) y fósforo (P), respectivamente, así como 4.60 MJ/kg MS de energía.

El glicerol del tratamiento 2 se mezcló diariamente, de forma manual, con el afrecho de trigo, con el propósito de garantizar la adecuada homogenización de ambos productos.

El ordeño se realizó entre las 5:00 y las 7:00 am. A partir de ese horario y hasta las 5:00 pm los animales pastaban en cuarterones colectivos. El pasto predominante en los mismos fue la pitilla (*Sporobolus indicus* (L.) cuya composición nutricional se caracterizó por tener 26.3 % de MS y 7.2, 28.5, 0.44 y 0.2 % de PB, FB, Ca y P, respectivamente, así como 4.999 MJ/kg MS de energía. La accesibilidad al agua fue permanente lo que se garantizó con la ubicación de bebederos en las áreas de pastoreo.

Indicadores productivos: La producción de leche diaria se cuantificó por cada animal de cada tratamiento para luego promediar la producción de cada grupo experimental. Mientras que para la producción de leche total se sumó toda leche producida en los 60 días de experimentación por cada tratamiento.

Indicadores de calidad de la leche: Para los estudios de calidad de la leche, se tomaron cinco muestras aleatorias de cada tratamiento, a las cuales se les adicionó dicromato de potasio, a razón de 0.06 g/100 mL de leche y se conservaron en refrigeración para su posterior envío al laboratorio. Se determinaron los indicadores acidez, por titulación con NaOH 0.1 N (NC 71, 2021); pH, por potenciometría; densidad, mediante lactodensímetro de Quevenne (NC 119, 2022); sólidos totales y porcentaje de grasa, mediante el método de espectroscopia de infrarrojo cercano (FIL-141: B, 1997) con la utilización del MILKSan 104 A/S Foss Electric.

Los indicadores productivos evaluados se analizaron con el uso del paquete estadístico SAS 9.2 (2010).

Resultados y Discusión

Caracterización físico-química del glicerol crudo procedente de aceite de *Jatropha curcas*

Los resultados de las propiedades físico químicas del glicerol crudo proveniente del aceite de *J. curcas* y su comparación con las propiedades de especificación de calidad del glicerol crudo reportados en la literatura se muestran en la [tabla 2](#). Se aprecia que su composición no difiere de las informadas en la literatura internacional.

Las características físico químicas del glicerol crudo han sido ampliamente descritas en la bibliografía internacional ([Nivia-Osuna et al. 2020](#) y [Jadan et al. 2023](#)). El glicerol se cataloga como un compuesto estable y multifuncional. De acuerdo con sus propiedades físico químicas, se considera un polialcohol altamente higroscópico, con pH neutro, químicamente estable bajo condiciones normales de almacenamiento y manejo. Es inodoro, viscoso, dulce al gusto, soluble en agua y otros disolventes polares, insoluble en hidrocarburos y de baja toxicidad ambiental. Además, tiene propiedades humectantes y alto contenido de energía. Posee alto punto de ebullición y viscosidad provocado por los puentes de hidrógeno que se forman entre sus moléculas ([Jadan et al. 2023](#)).

Las características físico químicas del glicerol en estudio coinciden con estas propiedades. Sin embargo, se observó que su punto de inflamación es ligeramente superior respecto al que se encuentra en la literatura con una magnitud superior a los 65 °C ([tabla 2](#)), esto podría estar relacionado con la menor cantidad de metanol que se empleó en el proceso de transesterificación ([Sotolongo et al.](#)

2021). El índice de refracción estuvo muy cerca del límite superior de los valores que se encuentran en la literatura.

En la literatura aparecen magnitudes del pH para el glicerol de varios aceites vegetales que se caracterizan por ser ácidos o alcalinos con magnitudes por debajo y por encima del rango que establece las especificaciones de calidad del glicerol crudo ([Zulqarnain et al. 2021](#) y [Menéndez et al. 2023](#)). Sin embargo, el pH del glicerol en estudio estuvo en el rango de las especificaciones de calidad del glicerol crudo con una magnitud de pH básico o alcalino.

La corrosión al cobre fue 1a para el glicerol crudo de *J. curcas*, corroborando su carácter básico o alcalino, siendo una sustancia no corrosiva. En la literatura disponible consultada no se encontró reportes de este indicador para el glicerol de otros aceites vegetales.

El contenido en metanol del glicerol procedente de aceite de *J. curcas* fue de 2.6 % ([tabla 2](#)), valor que coincide con lo reportado en las normas internacionales. Según [FDA \(2006\)](#), contenidos mayores a 0.5 % de metanol en dietas para rumiantes jóvenes y monogástricos, pudieran ser inseguros, por presentar sus efectos nocivos, ya que el metanol se metaboliza en el hígado, pasa por formaldehído, ácido fórmico y finalmente CO₂ y agua. El metabolismo de ácido fórmico es lento, por lo que se acumula en el cuerpo y produce acidosis metabólica.

El efecto tóxico y limitante del consumo del metanol, se ve con mayor frecuencia en animales monogástricos o prerumiantes ([Galvani 2008](#)). Sin embargo, en rumiantes mayores se ha demostrado la posible utilización del metanol para producir metano, a partir de su fermentación en rumen por algunas bacterias metanógenicas ([EFSA 2010](#)).

Tabla 2. Caracterización físico química del glicerol crudo obtenido en el proceso transesterificación del aceite de *J. curcas* L.

Indicadores	Unidad	Glicerol de aceite de <i>Jatropha curcas</i> L.	Glicerol crudo (normas internacionales)
Contenido de agua (karl Fischer)	% (m/m)	3.80 ± 0.02	4.3
Viscosidad a 40 °C	mm ² /s	47.07 ± 0.50	42.41 - 69.01
Densidad a 15 °C	g/mL	1.02 ± 0.00	1.01- 1.26
Punto de inflamación °C	°C	71.00 ± 1.00	< 65
Índice refracción a 20 °C		1.58 ± 0.00	1.47-1.57
pH		8.74 ± 0.04	4-9
Corrosión al cobre		1a	-
Humedad	%	18.00 ± 1.00	1- 28.70
Cenizas	% (m/m)	4.50 ± 0.02	5.1
Valor calorífico bruto	MJ/kg	18.62 ± 0.00	18.20
Contenido de glicerol	% (m/m)	76.50 ± 0.01	79
Contenido de metanol	% (m/m)	2.6± 0.01	2.6
Características organolépticas	Color Sabor	Marrón oscuro Dulce	Café Oscuro - Marrón oscuro Dulzón

Por lo que al metabolizarse por las bacterias ruminales y transformarse en metano, nos permiten afirmar que esos niveles no producen daños en los animales rumiantes que consumen el producto.

En el estudio el glicerol se sometió a tratamiento de purificación, donde se neutralizó la muestra de fase glicerol previamente calentada con ácido acético al 40 % hasta lograr pH=7. Posteriormente se calentó la muestra neutralizada hasta 75 °C para eliminar el contenido de metanol presente (Sotolongo *et al.* 2021).

Las propiedades organolépticas como el color y el sabor del glicerol crudo bajo estudio, se corresponde con lo reportado en la literatura y coincide con los estudios de Menéndez *et al.* (2023) quienes evaluaron estas propiedades en glicerol obtenido en el proceso de transesterificación de otros aceites vegetales.

Las propiedades del glicerol crudo obtenido en el proceso transesterificación del aceite de *J. curcas* en la Empresa LABIOFAM de la provincia de Guantánamo, posee propiedades fisicoquímicas y organolépticas similares a las propiedades que posee el glicerol crudo de otros aceites vegetales y concuerdan con las normas internacionales de especificación de calidad del glicerol crudo, por lo que puede ser utilizado en la alimentación animal.

Indicadores productivos y de calidad de la leche en vacas suplementadas con la mezcla de afrecho de trigo más glicerol

Un indicador de vital importancia para valorar la efectividad de una dieta y la productividad de un sistema de vacas lecheras es la producción de leche. La [tabla 3](#) muestra los resultados productivos en las vacas lecheras bajo estudio. La producción promedio de leche/vaca/día y producción total de leche mostraron diferencias entre los tratamientos. El mayor valor se observó en el tratamiento con el aditivo glicerol ($P<0.05$).

Este resultado pudiera estar relacionado con el efecto gluconeogénico del glicerol como suplemento alimenticio, induciendo a un incremento en la disponibilidad energética para la producción de leche, a partir de su fermentación en rumen a propionato, principalmente (Van-Cleef *et al.* 2016), el cual puede participar con 30-72 % para la síntesis de glucosa en el tejido hepático, aporte que depende de la cantidad de carbohidratos no estructurales contenidos

en la dieta y del consumo de materia seca (Melero *et al.* 2012). Hidalgo-Hernández *et al.* (2018) demostraron que las bacterias lipolíticas, así como *Selenomonas ruminantium* y *S. dextrinosolvans* son los grupos de mayor participación en la fermentación del glicerol a ácido propiónico.

El glicerol como suplemento energético, se ha evaluado en dietas para ganado lechero, en diferentes etapas de la lactancia, principalmente en el periodo de transición (Ogborn 2006 y Carvalho *et al.* 2011) y lactancia temprana y media (Wang *et al.* 2009), utilizándose como un suplemento energético (Gaillard *et al.* 2018). Sin embargo, los efectos de la alimentación con glicerol en la producción de leche y composición de la misma no han sido lo suficientemente concluyentes (Nivia-Osuna *et al.* 2020).

Diversos estudios muestran que existe una variabilidad en el efecto de la administración del glicerol en el pH ruminal y la proporción de acetato, propionato, butirato y valerato, lo que incide en la producción de leche. Sin embargo, su respuesta depende de la dosis y la tasa de desaparición a nivel ruminal (Van-Cleef *et al.* 2016).

Lee *et al.* (2011) proporcionaron 200 g de glicerol a novillos canulados en el rumen que se alimentaron con una dieta basada en alfalfa y ensilaje de maíz, encontrando una disminución en la relación acetato: propionato, debido a una mayor producción de propionato.

Según Ogborn (2006), los efectos del glicerol en la producción de leche, se observan cuando se emplean niveles superiores al 6 %. Sin embargo, Bodarski *et al.* (2005) incrementaron la producción de leche con pequeñas dosis de glicerol en vacas durante las 10 primeras semanas de lactancia, lo que pudo estar relacionado con el aumento en el consumo de materia seca.

Los resultados obtenidos en la presente investigación están en concordancia con los obtenidos por Olivares-Palma *et al.* (2013) quienes demostraron que la suplementación con 1500 g de glicerol crudo, produjo incremento de aproximadamente un 8 % más en la producción de leche. En tanto, Khalid y Al-Anbari (2023), también encontraron incrementos en la producción de leche con la adición de 150 mL de glicerol en vacas Holstein.

Por su parte, no hubo diferencias en ninguno de los componentes de la leche estudiados en el inicio del experimento antes de suministrar el glicerol ([tabla 4](#)), ni al finalizar este después de los 60 días de experimentación ([tabla 5](#)).

Tabla 3. Efecto del glicerol crudo procedente de aceite de *Jatropha curcas* L. en la producción de leche de vacas Siboney de Cuba suplementadas con afrecho de trigo

Indicadores	Tratamientos		E.E ±	P
	Control	Control + glicerol		
Producción promedio de leche /vaca / día durante el experimento, L	2.20	3.43	0.11	0.0001
Producción de leche total por tratamiento, L	1320.00	2058.00	13.78	0.0159

Tabla 4. Efecto del glicerol crudo procedente de aceite de *Jatropha curcas* L. en la calidad de la leche de vacas Siboney de Cuba (día 1 del experimento)

Indicadores	Tratamientos		E.E±	P
	Control	Control + glicerol		
Acidez	0.139	0.144	0.010	0.3513
Densidad (g/L)	1.033	1.035	0.020	0.6272
pH	7.10	7.10	0.03	0.3495
Sólidos totales (%)	11.40	11.43	0.12	0.5290
Grasa (%)	3.50	3.50	0.2	0.3814

Tabla 5. Efecto del glicerol crudo procedente de aceite de *Jatropha curcas* L. en la calidad de la leche de vacas Siboney de Cuba (día 60 del experimento)

Indicadores	Tratamientos		E.E ±	P
	Control	Control + glicerol		
Acidez	0.141	0.148	0.010	0.3824
Densidad (g/L)	1.033	1.035	0.020	0.6751
pH	7.20	7.20	0.01	0.3425
Sólidos totales (%)	11.41	11.45	0.13	0.6780
Grasa (%)	3.50	3.50	0.02	0.3637

En la literatura científica consultada se observó que los componentes de la leche, por lo general, no se afectan con el empleo del glicerol, con excepción de algunas investigaciones donde se han encontrado efectos en el porcentaje de grasa de la leche.

Shin et al. (2012) modificaron la concentración de grasa, con valores superiores al emplear el 5 % de glicerol. En tanto, Suarez Ariza (2020) al evaluar el efecto del glicerol en vacas cuya dieta basal fue de pastoreo de *Brachiaria decumbes* y ensilaje de maíz no encontraron cambios en la composición y calidad de la leche. Por su parte, Khalid y Al-Anbari (2023) no encontraron cambios en los porcentajes de los componentes de la leche y recientemente Da Rosa et al. (2024) al evaluar el efecto del glicerol en vacas en pastoreo de *Lolium multiflorum* Lam. tampoco encontraron cambios en la composición y calidad de la leche en diferentes periodos de lactación.

El porcentaje de grasa que se obtuvo en la investigación se corresponde con los valores informados para los cruce (Holstein × Cebú) y la respuesta esperada con una dieta básicamente fibrosa, con predominio a nivel ruminal de la fermentación acética (Hernández y Ponce 2003). La cantidad de forraje en la dieta de las vacas es un factor determinante en la concentración de grasas en la leche y su importancia radica en que es el principal medio para asegurar los precursores de la síntesis de grasa en

niveles satisfactorios. Estos precursores se obtienen de la dieta y del tejido adiposo. Los AGCC se sintetizan en la glándula mamaria a partir del acetato y β hidroxibutirato (Mayburgh et al. 2012), ambos compuestos se derivan de la fermentación del principal componente fibroso de la dieta.

Conclusiones

Se concluye que el glicerol crudo obtenido en el proceso transesterificación del aceite de *J. curcas*, posee propiedades físico químicas y organolépticas que lo hacen apto para su utilización en la alimentación animal en forma de aditivo. Su utilización incrementó la producción de leche de vacas Siboney de Cuba, sin afectar los indicadores de calidad. Se recomienda su aplicación en condiciones de producción y el desarrollo de nuevos estudios en otras categorías y especies de animales.

Agradecimientos

A todo el personal del Centro de Estudio de Energía y Refrigeración de la Facultad de Energía Mecánica e Industrial de la Universidad de Oriente por la caracterización físico química y organoléptica del glicerol. A los trabajadores de la planta de producción de Biodiesel de Guantánamo y a los de la vaquería San Rafael, perteneciente a la UEB Burene de Santiago de Cuba.

Referencias

- Agrawal, A., Jain, S.D. & Gupta, A.K. 2023. Effectiveness of *Jatropha curcas* as Biodiesel and Antiviral: A Review. *International Journal of Newgen Research in Pharmacy & Healthcare*, 1(1), ISSN: 2584-0096. <https://doi.org/10.61554/ijnrph.v1i2.2023.46>.
- ASTM International. 2019. Fuels and lubricants Handbook: Technology, properties, performance and testing. 2nd Edition. Editors: Totten, G. E., Shah, R.J. & Forester, D.R. ASTM: West Conshohocken PA, USA. DOI: [10.1520/MNL37-2ND-EB](https://doi.org/10.1520/MNL37-2ND-EB). ISBN-EB:978-0-8031-7090-2.
- Bodarski, R., Wartecki, T., Bommer, F. & Gosiewski, S. 2005. The Changes of Metabolic Status and Lactation Perform in Dairy Cows Under Feeding TMR With Glycerin (Glycerol) Supplement at Periparturient Period. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities*, 8 (4): 1-9, ISSN: 1505-0297. <https://www.ejpau.media.pl/volume8/issue4/art-22.html>.
- Carvalho, E.R., Schmelz-Roberts, N.S., White, H.M., Doane, P.H. & Donkin, S.S. 2011. Replacing corn with glycerol in diets for transition dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 94 (2): 908- 916, ISSN: 0019-5146. <https://www.journalofdairyscience.org>.
- Da Rosa, D., Ulsenheimer, B.C., Pereira, E.A., Gonzalez da Silva, J.A., Baroni, J.I., Naetzold, S., 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): 1-11, ISSN: 1981-982X. <https://doi.org/10.24857/rgsa.v18n2-077>.
- EFSA. 2010. Scientific Opinion on the abiotic risks for public and animal health of glycerine as co-product from the biodiesel production from Category 1 animal byproducts (ABP) and vegetable oils. *European Food Safety Authority Journal*, 8(12): 1934 -1938, ISSN: 1831-4732. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2010.1934>.
- FDA (Food And Drug Administration). 2006. Code of Federal Regulations. Food and drug administration department of health and human services - sudchapter e-animal drugs, feeds and related products. 21:582-1320. U.S. Superintendent of Documents. Washintong DC 204002-001. <http://bookstore.gpo.gov>.
- Gaillard, C., Sørensen, M.T., Vestergaard, M., Weisbjerg, M.R., Larsen, M.K., Martinussen, H., Kidmose, 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(1): 25-31, ISSN: 1871-1413. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.01.006>.
- Galvani, F. 2008. Alimentación de bovinos con subproducto de la industria del biodiesel. Trabajo final de nutrición. Buenos Aires, Argentina. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Veterinarias. pp.28.
- Hernández, R. & Ponce, P. 2003. Caracterización de la composición láctea en Cuba y factores asociados a su variación. *Revista electrónica de Veterinaria*, 4(11): 10-16, ISSN: 1695-7504. www.veterinaria.org/revistas/redvet/n1111103.html.
- 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.
- Jadan, S.M., Morejón, F.M., García, M.S., Burgos, B.G. & García, V.G. 2023. Obtención de biodiesel a partir de la transesterificación de aceite vegetal residual. *InfoANALITICA*, 11(1): 31-51, ISSN: 2477-8788. <https://doi.org/10.26807/ia.v1i1.242>.
- Khalid, W.A. & Al-Anbari, N.N. 2023. Effect of glycerol on milk yield, its quality and blood parameters of Holstein cows. *Iraqi Journal of Agricultural Sciences*, 54 (96): 1520-1528, ISSN: 0075-0530.
- Kramer, C.Y. 1956. Extension of multiple range tests to group means with unequal numbers of replications. *Biometrics*, 12: 307-310, ISSN: 1541-0420. <https://doi.org/10.2307/3001469>.
- Lee, S.Y., Lee, S.M., Cho, Y.B., Kam, D.K., Lee, S.C., Kim, C.H. & Seo, S. 2011. Glycerol as a feed supplement for ruminants: *in vitro* fermentation characteristics and methane production. *Animal Feed Science and Technology*, 166-167 (4): 269-274, ISSN: 0377-8401. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.070>.
- Mayburgh, J., Osthoff, G., Hugo, A., de Wit, M. Nel, K. & Fourie, D. 2012. Comparison of de milk composition of free-ranging indigenous Africa cattle breeds. *South African Journal of Animal Science*, 42 (1): 1-14, ISSN: 222-4062. <https://doi.org/10.4314/sajas.v42i1.1>.
- Melero, J.A., Vicente, G., Paniagua, M., Morales, G. & Muñoz, P. 2012. Etherification of biodiesel-derived glycerol with ethanol for fuel formulation over sulfonic modified catalysts. *Bioresource Technology*, 103(1): 142-151 ISSN: 0960-8524. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.09.105>.
- Menéndez, A., Quiñonez, N., García, S., García, G. & García, A. 2023. Obtención y purificación de glicerina mediante la transesterificación a partir de grasa residual de los asaderos de pollo. *Journal Scientific MQRIInvestigar*, 7(1): 3-17, ISSN: 2588-0659. <https://doi.org/10.56048/MQR20225.7.1.2023.3-17>.
- NC 528. 2009. Medidores de pH - Método y medios de verificación. Oficina de nacional de normalización; NC, La Habana. Cuba.
- NC ISO 6320. 2013. Aceites y grasas de origen animal y vegetal. Determinación del índice de refracción. Oficina de nacional de normalización; NC, La Habana. Cuba.
- NC ISO 662. 2001 Aceites y grasas de origen animal y vegetal. Determinación del contenido de humedad y materias volátiles. Oficina de nacional de normalización; NC, La Habana Cuba.

- NC 71. 2001. Leche. Determinación de acidez. Oficina Nacional de Normalización. NC, La Habana. Cuba.
- NC 119. 2002. Leche. Determinación de la densidad. Oficina Nacional de Normalización. Cuba.
- Nivia-Osuna, A., Ramírez-Peña A., Porras-Sánchez, C. J. & Marentes-Barrantes, D.L. 2020. Glycerol: dietary supplement and response in dairy cattle. *Agronomía Mesoamericana*, 31(3): 821-833, ISSN: 2215-3608. <https://doi.org/10.15517/am.v31i3.39259>.
- NRSP 312. 1992. Norma Ramal. Medicamentos de origen vegetal. Extractos fluidos y tinturas. Métodos de ensayo. La Habana. MINSAP. pp.15-19.
- Ogborn, K.L. 2006. Effects of method of delivery of glycerol on performance and metabolism of dairy cows during the transition period. Thesis Degree of Master of Science. New York City, USA. Cornell University.
- Olivares-Palma, S.M., Meale, S.J, Pereira, L.G., Machado, F.S., Carneiro, H., Lopes, F.C., Mauricio, R.M. & Chaves, A.V. 2013. *In vitro* fermentation, digestion kinetics and methane production of oilseed press cakes from biodiesel production. *Asian Australasian Journal of Animal Science*, 26(8): 1102-1110, ISSN: 1011-2367. <https://doi.org/10.5713/ajas.2013.13098>.
- Piloto, R., Sotolongo, J.A., Díaz, Y. & Suárez, J. 2021. CAPÍTULO 2. Extracción de aceite de origen vegetal. En: Biodiésel: producción y uso. Editor: Dr.C. Ramón Piloto Rodríguez, Dr.C. Jesús Suárez Hernández y M.Sc. José Angel Sotolongo Pérez. ISBN: 978-959-7138-48-8.
- Posada-Duque, J.A. & Cardona-Alzate, C.A. 2010. Análisis de la refinación de glicerina obtenida como coproducto en la producción de biodiésel. *Ingeniería y Universidad*, 14(1): 9-27, ISSN: 0123-2126.
- SAS Institute. 2010. SAS/STAT 9.2. User's Guide: Statistics, Version 9.2 Edition. SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Sotolongo, J.Á., Piloto, R., Díaz, A. & Hernández, J. 2021. Capítulo 4. Producción de biodiesel. En: Biodiésel: producción y uso. Editor: Dr.C. Ramón Piloto Rodríguez, Dr.C. Jesús Suárez Hernández y M.Sc. José Angel Sotolongo Pérez. ISBN: 978-959-7138-48-8.
- Shin, J.H., Wang, D., Kim, S.C., Adesogan, A.T. & Staples, C.R. 2012. Effects of feeding crude glycerin on performance and ruminal kinetics of lactating Holstein cows fed corn silage or cottonseed hull-based, low-fiber diets. *Journal of Dairy Science*, 95(7): 4006-4016, ISSN: 0019-5146. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-5121>.
- Suarez Ariza, A. 2020. Suplementación con glicerina cruda: efectos sobre la producción, composición y calidad de la leche y metabolitos en sangre de vacas GYR x Holstein. Tesis presentada en opción al título de Master en Ciencias Pecuarias. Universidad de Tolima, Colombia. <https://repository.uy.edu.co/handle/001/3474>.
- UNE-EN 14110. 2020. Derivados de aceites y grasas. Esteres metílicos de ácidos grasos. Determinación del contenido de metanol. Asociación española de normalización. Madrid. <https://www.en.une.org>.
- UNE-EN 12937. 2000. Productos del petróleo. Determinación del contenido de agua. Asociación Española de Normalización. Madrid. <https://www.en.une.org>.
- Van-Cleef, E.H.C.B., J.B.D. Sancanari, Z.F. Silva, A.P. D'Aurea, V.R. Fávoro, F.O.S. Van-Cleef, A.C. Homem & J.M.B. Ezequiel, 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>.
- Wang, C., Liu, Q., Yang, W.Z., Huo, W.J., Dong, K.H., Huang, Y.X., Yang, X. M. & He, D.C. 2009. Effects of glycerol on lactation performance, energy balance and metabolites in early lactation Holstein dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*, 151(1): 12-20, ISSN: 2321-1628. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2008.10.009>.
- Zulqarnain, A.M., Yusoff, M.H.M., Nazir, M.H., Zahid, I., Ameen, M., Sher, F., Floresyona, D. & Budi Nursanto, E. 2021. A comprehensive review on oil extraction and biodiesel production technologies. *Sustainability*, 13(2): 1-28, ISSN: 2071-1050. <https://doi.org/10.3390/su13020788>.