

Efecto del glicerol en la producción de leche, cuerpos cetónicos y actividad ovárica en vacas en pastoreo

Effect of glycerol on milk production, ketone bodies and ovarian activity in grazing cows

Recibido: 9 de octubre de 2024 • **Aprobado:** 21 de octubre de 2024

Jesús Alberto Cardozo

Universidad de Pamplona, Facultad Ciencias Agrarias.

E-mail: jesus.cardozo@unipamplona.edu.co **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-6824-0946>

Luis Gabriel Cucunubo

Universidad Antonio Nariño, Facultad de Medicina Veterinaria

E-mail: lgcucunubos@uan.edu.co **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6379-8548>

Resumen

El objetivo de este estudio fue determinar el efecto de dos niveles de suplementación de glicerol en la producción láctea, condición corporal, concentración de cuerpos cetónicos y actividad ovárica en vacas de la raza Holstein en condiciones de pastoreo. Se utilizaron 20 vacas asignadas aleatoriamente a los siguientes tratamientos: T 0= control T 1= 500 mL de glicerol; y T 2= 1000 mL de glicerol; con un período de adaptación de 7 días. Se evaluaron semanalmente las variables de producción láctea, condición corporal y cuerpos cetónicos en orina (Test Rothera). Adicionalmente se evaluó la actividad ovárica cada 14 días por palpación rectal. No se presentó diferencia significativa entre tratamientos ($P>0,05$) (T 0: 24.61, T1: 23.95, T3: 26,47), ni diferencia significativas ($P>0,05$), entre semanas e interacción de semana tratamiento para la producción láctea, el T2 mantuvo la producción láctea durante todo el experimento. No se encontró una correlación en la suplementación de glicerol sobre la presencia de cuerpos cetónicos en orina, independiente de su tratamiento. Del total de los animales en estudio, solo el 39.62% de los animales posiblemente experimentaron cetosis subclínica. No se observó diferencia significativa ($P>0,05$) entre tratamientos para la condición corporal, manteniéndose estable a lo largo del experimento, así como tampoco se encontró diferencia significativa ($P>0,05$) entre tratamientos para la actividad ovárica. Se concluye que la suplementación de glicerol no presentó un efecto significativo sobre la producción láctea ni la presencia de cuerpos cetónicos, condición corporal y actividad ovárica.

Palabras clave: Vacas Holstein, glicerol, producción láctea, condición corporal, concentración de cuerpos cetónicos y actividad ovárica.

Abstract

The objective of this study was to determine the effect of two levels of glycerol supplementation on milk production, body condition, concentration of ketone bodies and ovarian activity in Holstein cattle are grazed. A total of 20 cows were randomly assigned to the following treatments: T 0 = no glycerol T 1 = 500 mL of glycerol and T 2 = 1000 mL of glycerol, with an adjustment period of 7 and 42 days experimental. Results were evaluated weekly variables milk production, body condition and urine ketones (Test Rothera). Additionally ovarian activity was evaluated every 14 days by rectal palpation. No significant difference was found between treatments ($P>0.05$) (T 0: 24.61, T 1: 23.95,

T 3: 26,47), nor significant difference ($P>0.05$), and interaction of week weeks treatment for milk production, the T 2 milk production maintained throughout the experiment. No correlation was found glycerol supplementation in the presence of ketone bodies in urine. Of all the animals in the study, only 39.62% of the animals may have experienced subclinical ketosis. There was no significant difference ($P>0.05$) between treatments parala body condition, staying stable throughout the experiment, as well as also was no significant difference ($P >0.05$) between treatments for ovarian activity. It is concluded that glycerol supplementation did not present a significant effect on milk production, presence ketone bodies, body condition and ovarian activity.

Keywords: Holstein cattle, glicerol, milk production, ketone bodies, body condition and ovarian activity

Introducción

La selección genética de animales orientada al aumento de la producción láctea llevando a un incremento los requerimientos nutricionales postparto, especialmente en lo que respecta a la energía necesaria para la producción de leche (1). En los sistemas de producción de leche especializada en Colombia, la base nutricional de los animales se compone principalmente de forraje verde, el cual está sujeto a fluctuaciones constantes en la temperatura y la pluviosidad ambiental. Esto da como resultado bajos niveles de energía e inestabilidad en el crecimiento del forraje a lo largo del año (2).

Debido a estas deficiencias energéticas, los productores se ven en ocasiones obligados a utilizar suplementos energéticos para satisfacer las necesidades de sus animales. En el postparto, las vacas lecheras presentan una mayor predisposición al balance energético negativo (BEN), lo que se manifiesta en la pérdida de condición corporal (CC), así como en la disminución de los parámetros productivos y reproductivos (3).

La presentación de BEN en el período de transición tiene un gran impacto en el postparto temprano, predisponiendo a la presentación de hipocalcemia, cetosis, desplazamiento de abomaso, retención de placenta, laminitis, metritis(4) y endometritis (5). En cuanto a la reproducción, la disminución de un punto (1,0) en la condición corporal (CC) desde el parto hasta los 100 días postparto puede reducir la eficiencia reproductiva de las vacas entre un 17 % y un 38 % en la primera inseminación. Como consecuencia, el intervalo entre el parto y la concepción puede aumentar a más de 130 días, e incluso sobrepasar los 200 días después del parto, lo que incrementa la tasa de descarte y genera pérdidas económicas (5). Por todo lo anterior, se

hace necesaria la búsqueda de estrategias que optimicen el potencial productivo y reproductivo del hato. (6).

En este contexto, se han comenzado a emplear productos gluconeogénicos, como el glicerol, en la suplementación alimenticia de los bovinos lecheros, mejorando su estado energético, disminuyendo el BEN y reduciendo la incidencia de enfermedades del periparto (6). Debido al impacto económico que la alimentación tiene en los costos de producción y la sanidad del hato, se han comenzado a utilizar materias primas provenientes de subproductos agroindustriales, como el glicerol, un subproducto del proceso de producción de biodiésel.

La producción de biodiésel ha estado respaldada por el uso de aceite de palma, que constituye la base principal de este biocombustible en el país. En 2022, Colombia produjo aproximadamente 710.000 toneladas de biodiésel, un aumento significativo en comparación con las 590.000 toneladas producidas en 2021. Esto posiciona a Colombia como el quinto productor y el sexto exportador de biodiésel a nivel mundial (7).

El glicerol es una molécula de carbohidrato con una concentración de energía neta de 1.98 - 2.29 Mcal/Kg, y posee propiedades gluconeogénicas (8). Su efecto depende de su nivel de pureza, ya que en la alimentación de bovinos deben considerarse componentes como agua, metanol, fósforo y potasio presentes en su composición (9). Actualmente, varios estudios indican que la inclusión de hasta un 15 % de glicerol en la materia seca no tiene efectos negativos en la producción de leche (10-15).

En Colombia, el glicerol se ha comenzado a utilizar en la alimentación de bovinos lecheros,

basado en estudios realizados en otros países con condiciones nutricionales muy diferentes. En dichos países, las dietas contienen niveles adecuados de fibra detergente neutra (FDN), lo cual es fundamental para la fermentación de este producto gluconeogénico. Sin embargo, en Colombia, los sistemas especializados de producción lechera se basan principalmente en forrajes que no siempre presentan niveles adecuados de FDN, lo que podría generar respuestas en la producción láctea, la condición corporal y la actividad ovárica diferentes a las observadas en estudios extranjeros. El objetivo del presente estudio es determinar el efecto de dos niveles de suplementación con glicerol sobre la producción de leche, la condición corporal, la concentración de cuerpos cetónicos y la actividad ovárica en vacas de raza Holstein bajo condiciones de pastoreo.

Materiales y Métodos

Descripción del lugar: La finca El Cerrito está ubicada en el municipio de Facatativá, Cundinamarca, con una extensión de 48 fanegadas, a una altitud de 2.586 msnm y con una temperatura media de 18°C.

Animales: Se seleccionaron 20 hembras de raza Holstein en producción láctea, entre la segunda y séptima lactancia, que se encontraban entre los 0 y 100 días posparto y que, hasta ese momento, no habían tenido su primer servicio.

Alimentación: La dieta consistió en pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) ad libitum, 6,25 kg de ensilaje de maíz por vaca al día, 5 kg de papa (*Solanum tuberosum*) por vaca al día, 0,9 kg de harina de maíz (*Zea mays L.*) por vaca al día, y 46 g de sal por vaca al día, suministrada en el potrero.

Tabla 1. Composición nutricional aproximada de la dieta ofrecida a las vacas (Materia natural (M.N) y Materia Seca (MS)).

Unidades	Tratamiento 0			Tratamiento 1			Tratamiento 2		
	Kg	MS (%)	Kg	Kg	MS (%)	Kg	Kg	MS (%)	Kg
Alimento	M.N	MS	MS	M.N	MS	MS	M.N	MS	MS
Pasto kikuyo (<i>Cenchrus clandestinus</i>)	92,65	39,64	5,5	87,55	37,45	5,2	80,75	34,55	4,8
Papa (<i>Solanum tuberosum</i>)	5	6,91	1,0	5	6,91	1,0	5	6,91	1,0
Concentrado	5	30,91	4,3	5	30,91	4,3	5	30,91	4,3
Ensilaje de Maíz	6,25	15,91	2,2	6,00	15,27	2,1	6,00	15,27	2,1
Maíz (<i>Zea Mayz L.</i>)	0,90	5,76	0,8	0,90	5,76%	0,8	0,90	5,76%	0,8
Sal blanca	0,05	0,33	0,0	0,05	0,33%	0,0	0,05	0,33%	0,0
Glicerol	0,00	99,46	13,7	0,5	3,09%	0,4	1	6,18%	0,9
Total		99,46	13,7		99,73%	13,7		99,91%	13,7

(Fuente, CQBAL 3.0)

Identificación y agrupamiento de los animales: Las vacas se asignaron a grupos de manera aleatoria, sin tener en cuenta su condición corporal, peso o número de lactancias.

Diseño experimental: El experimento tuvo una duración de 49 días (7 días de adaptación y 42 días de evaluación de variables). Las vacas se distribuyeron en tres tratamientos: Tratamiento control (n=7), Tratamiento 1 (n=6) y Tratamiento 2 (n=7). El diseño experimental es de naturaleza exploratoria, donde los animales se asignaron al azar a los siguientes tratamientos:

- **Tratamiento Control (T0):** Sin adición de glicerol.
- **Tratamiento T1 (T1):** Recibieron 500 mL de glicerol, lo que representa aproximadamente el 3,09 % de la materia seca de la dieta. El glicerol se mezcló en 250 mL con el suplemento alimenticio durante cada ordeño.
- **Tratamiento T2 (T2):** Recibieron 1000 mL de glicerol, lo que representa aproximadamente el 6,18 % de la materia seca de la dieta. El glicerol se mezcló en 500 mL con el suplemento alimenticio durante cada ordeño.

VARIABLES A EVALUAR

Condición Corporal: La condición corporal (CC) se evaluó semanalmente desde el día 0 hasta el día 42 del experimento, utilizando un método subjetivo descrito por Ferguson (16). La evaluación consistió en una inspección visual de la cantidad de tejido adiposo subcutáneo en puntos específicos, como la región perianal, la tuberosidad coxal, la tuberosidad isquiática, las apófisis transversas de la región lumbar y los espacios intercostales. La escala utilizada para la evaluación de la CC varía de 1 a 5, donde 1 indica una vaca extremadamente delgada y 5 indica una vaca obesa, utilizando incrementos de 0,25 puntos.

Producción Láctea: La producción de leche se midió semanalmente mediante el registro de los ordeños de la mañana y la tarde, desde el día 0 hasta el día 42 del experimento para cada tratamiento.

Cuerpos Cetónicos: Los cuerpos cetónicos se determinaron semanalmente, desde el día 0 hasta el día 42 del experimento, mediante la prueba de Rothera. Esta prueba detecta cuerpos cetónicos en la orina a través de la reacción entre el ácido acetoacético (Ac) y el nitroprusiato de sodio, produciendo diferentes coloraciones: negativo (-), sospechoso (+) con color rosa translúcido, leve (++) con color púrpura translúcido, moderado (+++) con púrpura semi translúcido, e intenso (++++) con púrpura oscuro. Esta prueba tiene una sensibilidad del 78 % y una especificidad del 96 % (17).

Palpación Rectal: Se realizaron palpaciones rectales desde el día 0 hasta el día 42 del experimento, cada 14 días, para evaluar la actividad ovárica en cada tratamiento. Se clasificaron los animales según su actividad ovárica: aquellos que estaban ciclando, presentando cuerpo lúteo y folículos de tipo III; y aquellos que no estaban ciclando, con folículos de tipo I, folículos de tipo II, ovarios pequeños o lisos.

Análisis estadístico: La información de las muestras recolectadas se digitaron en una hoja de cálculo Microsoft® Excel 2012. Los datos de producción láctea fueron como medidas repetidas, utilizando la matriz de covarianza, componentes Smetria del PROC MIXED. Los datos de determinación de cuerpos cetónicos en orina se correlacionaron con los niveles de suplementación glicerol por medio de una regresión lineal de PROC GLM. Los datos de condición corporal se analizaron por test no paramétrico de Wilcoxon y por último la actividad ovárica se le dio

una clasificación; sin actividad ovárica para los ovarios pequeños, ovarios lisos pequeños, ovarios con folículos I y II, y con actividad ovárica para ovarios con folículos y cuerpos lúteos I, II, III y gestación conformidad, esto datos se analizaron por el Test exacto de Fisher del PROC FREQ, el programa estadístico que se utilizó fue el SAS 9.0. y las gráficas se realizaron por medio programa GraphPad Prism 5.

Resultados

En la semana 0 del experimento, la producción láctea promedio fue de 25,71 L/día para el grupo control (T0), 23,45 ± 1,8 L/día para el Tratamiento 1 (T1) y 26,1 L/día para el Tratamiento 2 (T2). Durante esta semana, los animales tenían un promedio de 55 ± 25,48 días de lactancia en el grupo T0, 46 ± 25,38 días en T1 y 34 ± 25,48 días en T2. En la 6.ª semana del experimento, la producción láctea promedio fue de 24,12 L/día para T0, 26,48 L/día para T1 y 25,46 L/día para T2. En esta semana, los animales tenían un promedio de 97 ± 25,48 días de lactancia en T0, 88 ± 25,38 días en T1 y 82 ± 25,48 días en T2.

En el T2 se observó que la curva de lactancia se mantuvo estable a lo largo de las seis semanas del experimento. Los tratamientos T1 y T0 mostraron un comportamiento muy similar, con un aumento en la producción láctea durante la 1.ª semana, seguido de una disminución en la 2.ª semana. En la 3.ª y 4.ª semana, el T0 incrementó su producción, a diferencia del T1, que experimentó una caída en la 3.ª semana, pero aumentó su producción desde la 4.ª hasta la 6.ª semana. El T0, por su parte, redujo su producción en la 5.ª semana, para luego aumentar nuevamente en la 6.ª semana.

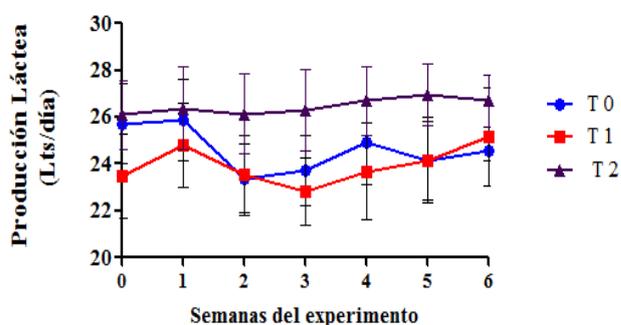


Figura 1. Producción láctea de vacas Holstein en condiciones de pastoreo sometidas a diferentes niveles de suplementación de glicerol, (T0: Sin glicerol, T1: 500 mL y T2; 1000 mL) durante 6 semanas.

La producción láctea promedio para todos los animales durante el experimento fue de 25,06

L/día. No se observaron diferencias significativas entre los tratamientos ($P > 0,05$) (T0: 24,61; T1: 23,95; T3: 26,47), ni tampoco entre las semanas

ni en la interacción semana-tratamiento para la producción láctea, como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Producción láctea de vacas Holstein en condiciones de pastoreo sometidas a diferentes niveles de suplementación de glicerol durante 6 semanas.

Variable	T 0 ¹	T 1 ¹	T 2 ¹	MEDÍA	EPM	Probabilidad (p)		
	0 mL	500 mL	1000 mL			Semana	Tratamiento	Int. Sem*Trat
Nº Animales	7	6	7					
Producción Láctea	24,61	23,95	26,47	25,06	0,35	0,3718	0,4444	0,8708

¹ T 0: Sin glicerol, T 1: 500 mL y T 2; 1000 mL. Los datos se analizaron como medidas repetidas, utilizando la matriz de covarianza componentes Smetria (CS) del PROC MIXED de SAS 9.0

En general, el 60,83% de los animales presentó una reacción negativa, lo que indica que no hubo presencia de cuerpos cetónicos en la orina. Un 20,83% mostró una reacción sospechosa, el 14,17% una reacción leve y el 4,17% una reacción moderada. Las reacciones sospechosa, leve y moderada indican la presencia de cuerpos cetónicos en la orina. Ninguno de los tratamientos presentó una reacción intensa, como se muestra en la Figura 2.

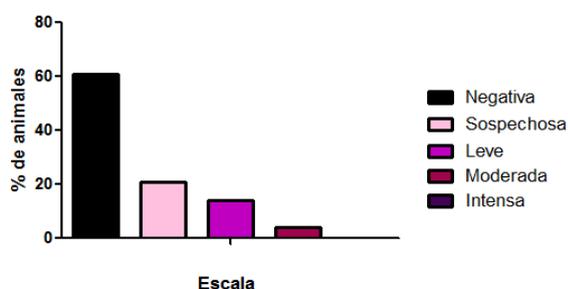


Figura 2. Reacción de los animales en % al Test de rothera, en condiciones de pastoreo sometidas a diferentes niveles de suplementación de glicerol durante 6 semanas.

Durante el experimento, se observó que el 54,76% de los animales del T0, el 66,67% de los animales del T1 y el 61,90% de los animales del T2 presentaron una reacción negativa, indicando la ausencia de cuerpos cetónicos en la orina. El 23,81% de los animales del T0, el 25,00% de los animales del T1 y el 14,29% de los animales del T2 mostraron una reacción sospechosa. Asimismo, el 19,05% de los animales del T0, el 5,56% de los animales del T1 y el 16,67% de los animales del T2 presentaron una reacción leve. Finalmente, el 2,38% de los animales del T0, el 2,78% de los animales del T1 y el 7,14% de los animales del T2 mostraron una reacción moderada. Ninguno de

los tratamientos presentó una reacción intensa, como lo muestra la Figura 3.

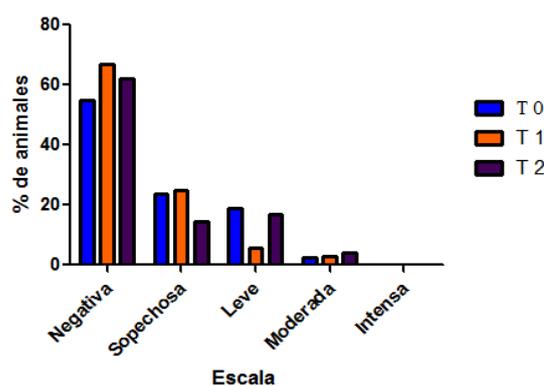


Figura 3. Reacción de los animales en % el Test de rothera, en condiciones de pastoreo sometidas a diferentes niveles de suplementación de glicerol (T 0: Sin glicerol, T 1: 500 mL y T 2; 1000 mL) durante 6 semanas.

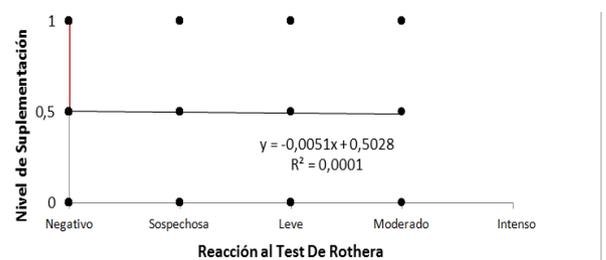


Figura 4. Relación de la suplementación de glicerol sobre la presencia de cuerpos cetónicos en orina, mediante el test de rothera, por PROC GLM, SAS 9.0.

No hay una correlación de la suplementación de glicerol sobre la presencia de cuerpos cetónicos en orina, mediante el test de rothera como lo muestra la figura 4.

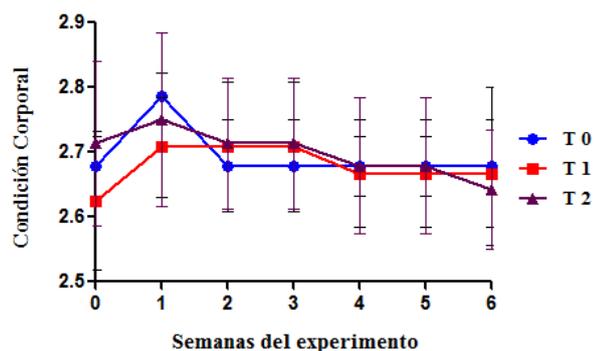


Figura 5. Fluctuación de la condición corporal de vacas Holstein en condiciones de pastoreo sometidas a diferentes niveles de suplementación de glicerol, (T 0: Sin glicerol, T 1: 500 mL y T 2; 1000 mL) durante 6 semanas.

La CC en la semana 0 fue de: T0: 2,68; T1: 2,63; y T2: 2,72. En la 6.^a semana fue de: T0: 2,68; T1: 2,64; y T2: 2,67. Se observó que en la 1.^a semana del experimento la CC aumentó para todos los tratamientos, mientras que en la 2.^a semana hubo una disminución general de la CC. A partir de la 3.^a semana, la CC se mantuvo estable en todos los tratamientos, aunque en la 4.^a semana el T1 y el T2 presentaron una ligera disminución. El T0 mantuvo su CC constante desde la 3.^a hasta la 6.^a semana, al igual que el T1 desde la 4.^a hasta la 6.^a semana. En cambio, el T2 mantuvo su CC en la 5.^a semana pero disminuyó en la 6.^a semana. No se observaron diferencias significativas en la CC entre tratamientos en ninguna de las semanas ($P > 0,05$).

Tabla 3. Frecuencias observadas (%) para la actividad ovárica de vacas Holstein suplementadas con diferentes niveles de glicerol durante 6 semanas.

Actividad Ovárica	T 0	T 1	T 2	Total	P (tratamiento)
					Test Fisher
Semana 0					0.4457
Sin	42.86(n=3)	83.33(n=5)	57.14(n=4)	60.00(n=12)	
Con	57.14(n=4)	16.67(n=1)	42.86(n=3)	40.00(n=8)	
Semana 2					0.1295
Sin	100(n=7)	50.00(n=3)	71.43(n=5)	75.00(n=15)	
Con	0	50.00(n=3)	28.57(n=2)	25.00(n=5)	
Semana 4					10.000
Sin	42.86(n=3)	33.33(n=2)	28.57(n=2)	35.00(n=7)	
Con	57.14(n=4)	66.67(n=4)	71.43(n=5)	65.00(n=13)	
Semana 6					10.000
Sin	14.29(n=1)	16.67(n=1)	28.57(n=2)	20.00(n=4)	
Con	85.71(n=6)	83.33(n=5)	71.43(n=5)	80.00(n=16)	
General					0.9611
Sin	50.00(n=14)	45.83(n=11)	46.43(n=13)	47.50(n=38)	
Con	50.00(n=14)	54,17(n=13)	53.57(n=15)	52.50(n=42)	

¹ T 0: Sin glicerol, T 1: 500 mL y T 2; 1000 mL.

La actividad ovárica se evaluó mediante palpación rectal y se clasificó de la siguiente manera: sin actividad ovárica para ovarios pequeños, ovarios lisos pequeños y ovarios con folículos de tipo I y II; y con actividad ovárica para ovarios con folículos de tipo III, cuerpos lúteos de tipo I, II y III, o confirmación de gestación. En la semana 0, 4 animales del T1, 1 animal del T0 y 3 animales del T2 presentaron actividad ovárica.

Para la 2.^a semana, 3 animales del T1 y 2 animales del T2 mostraron actividad ovárica. En la 4.^a semana, 4 animales del T0, 4 animales del T1 y 5 animales del T2 presentaron actividad ovárica. En la 6.^a semana, la actividad ovárica fue observada en 6 animales del T0, 5 animales del T1 y 5 animales del T2.

Durante todo el experimento, se registró activi-

dad ovárica en 10 animales del T0, 12 animales del T1 y 13 animales del T2, lo que representa un 56,67% de la población en estudio. El 43,33% restante no presentó actividad ovárica. No se observaron diferencias significativas en la actividad ovárica entre tratamientos ($P > 0,05$), como se muestra en la Tabla 3."

Discusión

Durante el experimento no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos para la producción láctea ($P > 0,05$) (T0: 24.61, T1: 23.95, T3: 26.47), así como tampoco la interacción de semana tratamiento ($P > 0,05$). Los resultados sobre el uso de glicerol en la dieta de los bovinos son controvertidos, ya que algunos estudios reportan un aumento en la producción láctea, mientras que otros no encontraron un efecto significativo entre la suplementación con glicerol y la producción de leche."

En un estudio realizado por Donkin et al. (10) reemplazaron maíz por glicerol en un 5%, 10% y 15% de MS de las dietas de vacas lecheras en período de transición, no obstante, no produjeron efectos significativos en la producción ni la composición láctea. De manera similar, Carvalho et al. (14) reemplazaron de maíz por glicerol en un 11,5% de MS de las dietas de vacas lecheras en período de transición, sin observar efectos en la producción láctea.

Ogborn et al. (15) también reportaron que la suplementación de glicerol no tiene ningún efecto sobre la producción láctea. Wang et al. (13) un experimento de duración similar al presente estudio, suplementando con 300 g de glicerol a vacas multíparas Holstein desde el día 4 hasta el día 63 postparto, sin observar un impacto en la producción láctea. Asimismo, Van Soest et al. (18) suplementación con glicerol seco a vacas lecheras en período de transición, sin encontrar efectos sobre la producción de leche durante este período.

El test de Rothera, utilizado en este estudio para la determinación de cuerpos cetónicos en la orina, tiene una sensibilidad del 78% y una especificidad del 96% para los cuerpos cetónicos Ac y AcAc, pero no para la detección del β -hidroxibutirato (17). Los cuerpos cetónicos en la orina son un buen indicador de déficit energético en animales, lo que conlleva a la movilización de grasa, una de las principales consecuencias del balance energético negativo (BEN) o de la cetosis subclínica (17).

En este estudio, no se encontró correlación en-

tre la suplementación con glicerol y la presencia de cuerpos cetónicos. Se observó que el 60,83% de los animales presentó una reacción negativa, indicando la ausencia de cuerpos cetónicos en la orina. El 20,83% mostró una reacción sospechosa, el 14,17% una reacción leve y el 4,17% una reacción moderada. Las reacciones sospechosa, leve y moderada sugieren la posible presencia de cetosis subclínica (17), lo que implica que el 39,62% de los animales podría haber experimentado cetosis subclínica.

Independientemente del tratamiento, el 60,38% de los animales no presentó cuerpos cetónicos en la orina, lo que sugiere que estos mantuvieron un buen estatus energético. Esto también se refleja en la ausencia de diferencias significativas en la condición corporal ($P > 0,05$) entre los tratamientos. Según Drackley (19) cuando los animales mantienen un buen estatus energético, no movilizan tejido graso, lo que actúa como una medida compensatoria para equilibrar el desbalance energético durante la producción láctea, evitando así la generación de cuerpos cetónicos que podrían afectar la salud del hato.

En el estudio descrito por Chung et al. (20), se utilizó un test llamado Ketostix para determinar cuerpos cetónicos (Ac y AcAc) en orina, además de medir β -hidroxibutirato en sangre, encontrando una disminución de estos en vacas tratadas con glicerol. El glicerol es un producto gluconeogénico, al igual que el propilenglicol. McArt et al. (21) utilizaron 717 animales con cetosis subclínica, asignando 372 al tratamiento con propilenglicol (300 mL) y 369 al grupo control. Encontraron una disminución del riesgo de cetosis subclínica en un 1,5% y de cetosis clínica en un 0,54% en el grupo tratado con propilenglicol en comparación con el control. Hoedemaker et al. (22) suplementaron con 300 mL de propilenglicol desde los 13 días previos al parto hasta los 12 días postparto, observando una disminución en las concentraciones de β -hidroxibutirato en sangre y en la incidencia de cetosis subclínica en el grupo tratado en comparación con el grupo control.

Según McArt et al. (21), la disminución de cuerpos cetónicos por los precursores gluconeogénicos podría deberse a una mejora en el estatus energético, lo que conlleva un aumento en las concentraciones de glucosa, insulina e IGF-1. La insulina inhibe las enzimas lipolíticas, que son responsables de la hidrólisis de triglicéridos y la movilización de ácidos grasos (23). Bioquímicamente, el propionato derivado de la fermentación del glicerol actúa como precursor en el ciclo de Krebs al convertirse en oxaloacetato, el

cual reacciona con el acetyl-CoA producido por la β -oxidación de los NEFA, generando energía y evitando la formación de cuerpos cetónicos (22,24).

Estudios como los de Carvalho et al. (14) y DeFrain et al. (25), reportaron un aumento en las concentraciones séricas de β -hidroxibutirato debido a la mayor proporción molar de butirato en el rumen, consecuencia de la suplementación con glicerol. Dado que el butirato es precursor del β -hidroxibutirato, estos estudios no encontraron diferencias significativas en la condición corporal ($P > 0,05$), lo que sugiere que no hubo movilización de grasa. En el presente estudio no se midió β -hidroxibutirato, como se mencionó anteriormente.

La condición corporal (CC) está relacionada con la producción láctea, ya que cerca del parto los requerimientos nutricionales aumentan para favorecer la lactogénesis, lo que puede dar lugar a importantes deficiencias energéticas en el mantenimiento. Esto, a su vez, puede resultar en la pérdida de CC para satisfacer las necesidades energéticas (26). Un animal puede perder de 0,25 a 0,5 puntos de CC desde el parto hasta el pico de lactancia (28). En contraste, al inicio del experimento, los animales se encontraban en el pico de lactancia, con una CC de 2,68 para el grupo control (T0), 2,63 para el Tratamiento 1 (T1) y 2,72 para el Tratamiento 2 (T2). A la sexta semana, la CC fue de 2,68 para T0, 2,64 para T1 y 2,67 para T2, sin encontrar diferencias significativas ($P > 0,05$).

Lo anterior permite deducir que los animales, independientemente de su tratamiento, presentaban un balance energético adecuado, lo cual también se refleja en la variable de determinación de cuerpos cetónicos, que está muy correlacionada con la CC porque estima la pérdida de tejido graso subcutáneo en ciertos puntos anatómicos (16). Según Oetzel (27), la pérdida de CC se manifiesta a nivel plasmático, donde se observa un aumento en las concentraciones de ácidos grasos no esterificados (NEFA), cuerpos cetónicos y su presencia en orina. Otros estudios mencionados anteriormente, como los de Carvalho et al. (14) y DeFrain et al. (25), no encontraron diferencias significativas en la CC ($P > 0,05$) debido a la suplementación con glicerol. En cuanto a la ganancia de peso, Donkin et al. (10) suplementaron un 5, 10 y 15 % de glicerol en la dieta en materia seca, sin encontrar diferencias en la CC ($P > 0,05$), pero sí encontraron una diferencia significativa ($P < 0,05$) en la ganancia de peso para los tratamientos con 10 y 15 % de glicerol. Osborne et al. (28) utilizaron 20 g/L de

glicerol en el agua durante el período de transición, observando un aumento de peso, aunque no encontraron diferencias significativas en la CC ($P > 0,05$).

No se presentó una diferencia significativa en la actividad ovárica entre los tratamientos ($P > 0,05$), lo cual pudo deberse al largo período de seguimiento de la actividad ovárica, lo que impidió determinar si con el tiempo podrían encontrarse diferencias en las estructuras ováricas para los diferentes tratamientos. En el presente estudio, se concluyó que la suplementación con glicerol no tiene efecto sobre la producción láctea ni sobre la CC, afirmación que también respalda lo encontrado en otros estudios realizados por Donkin et al. (10) y Osborne et al. (28), ni efecto significativo sobre la presencia de cuerpos cetónicos y actividad ovárica.

Conclusiones

Se encontró que la suplementación de glicerol no tiene efecto sobre la producción láctea y CC, ni efecto significativo sobre la presencia de cuerpos cetónicos y actividad ovárica, se sugieren nuevos estudios con niveles de suplementación 500 y 1000 mL de glicerol, con el fin de determinar su efecto en la producción láctea.

Referencias

1. Brito LF, Bédère N, Douhard F, Oliveira HR, Arnal M, Peñagaricano F, et al. Genetic selection of high-yielding dairy cattle toward sustainable farming systems in a rapidly changing world. *Animal*. 2021;15:100292.
2. Galvis RD, Múnera EA, Marín AM. Relación entre el mérito genético para la producción de leche y el desempeño metabólico y reproductivo en la vaca de alta producción. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 2005;18(3):228–39.
3. Mekuriaw Y. Negative energy balance and its implication on productive and reproductive performance of early lactating dairy cows. *Journal of Applied Animal Research*. 2023;51(1):220–8.
4. McGuffey RK. A 100-Year Review: Metabolic modifiers in dairy cattle nutrition. *Journal of Dairy Science*. 2017;100(12):10113–42.
5. Bekuma A, Galmessa U. Combating negative effect of negative energy balance in dairy cows: Comprehensive review. *Approch Poult Dairy Vet Sci*. 2019;6:1–4.

6. Butler ST. Nutritional management to optimize fertility of dairy cows in pasture-based systems. *Animal*. 2014;8(s1):15–26.
7. Ceballos Ramírez E, Cruz Calderón WM. Producción y comercialización de aceite de semillas de higuera (*Ricinus communis* L.) para uso en la elaboración de biocombustibles. 2023;
8. El-Nor SA, AbuGhazaleh AA, Potu RB, Hastings D, Khattab MSA. Effects of differing levels of glycerol on rumen fermentation and bacteria. *Animal Feed Science and Technology*. 2010;162(3–4):99–105.
9. Kupczyński R, Szumny A, Wujcikowska K, Pachura N. Metabolism, ketosis treatment and milk production after using glycerol in dairy cows: A review. *Animals*. 2020;10(8):1379.
10. Donkin SS. Glycerol from biodiesel production: the new corn for dairy cattle. *Revista brasileira de zootecnia*. 2008;37:280–6.
11. Omazic AW, Tråven M, Bertilsson J, Holtenius K. High-and low-purity glycerine supplementation to dairy cows in early lactation: effects on silage intake, milk production and metabolism. *Animal*. 2013;7(9):1479–85.
12. Ezequiel JMB, Sancanari JBD, Neto ORM, Da Silva ZF, Almeida MTC, Silva DA V, et al. Effects of high concentrations of dietary crude glycerin on dairy cow productivity and milk quality. *Journal of Dairy Science*. 2015;98(11):8009–17.
13. Wang C, Liu Q, Yang WZ, Huo WJ, Dong KH, Huang YX, et al. Effects of glycerol on lactation performance, energy balance and metabolites in early lactation Holstein dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*. 2009;151(1–2):12–20.
14. Carvalho ER, Schmelz-Roberts NS, White HM, Doane PH, Donkin SS. Replacing corn with glycerol in diets for transition dairy cows. *Journal of dairy science*. 2011;94(2):908–16.
15. Ogborn K. Effects of method of delivery of glycerol on performance and metabolism of dairy cows during the transition period. 2006;
16. Ferguson JD, Galligan DT, Thomsen N. Principal descriptors of body condition score in Holstein cows. *Journal of dairy science*. 1994;77(9):2695–703.
17. Carrier J, Stewart S, Godden S, Fetrow J, Rapnicki P. Evaluation and use of three cow-side tests for detection of subclinical ketosis in early postpartum cows. *Journal of dairy science*. 2004;87(11):3725–35.
18. Van Soest BJ, Pereira MN, Duffield TF, Steele MA, DeVries TJ. Effect of pre-and postpartum supplementation of a pure glycerol product to dairy cows on feed intake, metabolic markers, and milk yield and components. *Journal of Dairy Science*. 2023;106(10):6798–815.
19. Drackley JK. Biology of dairy cows during the transition period: The final frontier? *Journal of dairy science*. 1999;82(11):2259–73.
20. Chung Y-H, Rico DE, Martinez CM, Cassidy TW, Noirot V, Ames A, et al. Effects of feeding dry glycerin to early postpartum Holstein dairy cows on lactational performance and metabolic profiles. *Journal of dairy science*. 2007;90(12):5682–91.
21. McArt JAA, Nydam D V, Ospina PA, Oetzel GR. A field trial on the effect of propylene glycol on milk yield and resolution of ketosis in fresh cows diagnosed with subclinical ketosis. *Journal of Dairy Science*. 2011;94(12):6011–20.
22. Hoedemaker M, Prange D, Zerbe H, Frank J, Daxenberger A, Meyer HHD. Periparturient propylene glycol supplementation and metabolism, animal health, fertility, and production in dairy cows. *Journal of dairy science*. 2004;87(7):2136–45.
23. Pickett MM, Piepenbrink MS, Overton TR. Effects of propylene glycol or fat drench on plasma metabolites, liver composition, and production of dairy cows during the periparturient period. *Journal of Dairy Science*. 2003;86(6):2113–21.
24. Nielsen NI, Ingvarsen KL. Propylene glycol for dairy cows: A review of the metabolism of propylene glycol and its effects on physiological parameters, feed intake, milk production and risk of ketosis. *Animal Feed Science and Technology*. 2004;115(3–4):191–213.
25. DeFrain JM, Hippen AR, Kalscheur KF, Jardon PW. Feeding glycerol to transition dairy cows: effects on blood metabolites and lactation performance. *Journal of dairy science*. 2004;87(12):4195–206.

26. Bell AW, Slepatis R, Ehrhardt UA. Growth and accretion of energy and protein in the gravid uterus during late pregnancy in Holstein cows. *Journal of dairy science*. 1995;78(9):1954–61.
27. Oetzel GR. Monitoring and testing dairy herds for metabolic disease. *Veterinary Clinics: Food Animal Practice*. 2004;20(3):651–74.
28. Osborne VR, Odongo NE, Cant JP, Swanson KC, McBride BW. Effects of supplementing glycerol and soybean oil in drinking water on feed and water intake, energy balance, and production performance of periparturient dairy cows. *Journal of dairy science*. 2009;92(2):698–707.