



Glicerol: suplemento alimenticio y su respuesta en bovinos de leche¹

Glycerol: dietary supplement and response in dairy cattle

Alexander Nivia-Osuna², Alejandra Ramírez-Peña², Claudia Jineth Porras-Sánchez²,
Diana Lorena Marentes-Barrantes³

- ¹ Recepción: 10 de octubre, 2019. Aceptación: 13 de mayo, 2020. Este trabajo formó parte de la fase de estructuración del proyecto de investigación “Efecto de la adición del glicerol como suplemento dietario sobre la respuesta reproductiva de vacas lecheras” presentado en la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Colombia.
- ² Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente, Programa de Zootecnia, Sede José Celestino Mutis, Calle 14 Sur No. 14 - 23, Bogotá, Colombia. alexander.nivia@unad.edu.co (autor para correspondencia, <https://orcid.org/0000-0002-3289-151X>); aramirezpena@unadvirtual.edu.co (<https://orcid.org/0000-0001-6193-3101>); cjporrassa@unadvirtual.edu.co (<https://orcid.org/0000-0001-9151-5963>).
- ³ Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales - UDCA, Facultad de Ciencias Ambientales e Ingenierías, Programa de Ingeniería Agronómica, Calle 222 No. 57 - 37, Bogotá, Colombia. dmarentes@udca.edu.co (<https://orcid.org/0000-0002-0531-7846>).

Resumen

Introducción. Las tecnologías de producción animal han permitido la utilización eficiente de recursos alimenticios para satisfacer las necesidades nutricionales y generar alimento para la población humana. Fuentes alternativas de alimentación en ruminantes han sido utilizadas para el incremento de los indicadores productivos y reproductivos. La expansión del área sembrada con palma de aceite (*Elaeis guineensis*) destinada a la producción de biodiesel como fuente de energía renovable, ha favorecido el desarrollo de procesos agroindustriales mediante la generación de subproductos, como el glicerol, que por su efecto glucogénico, podría ser considerado como fuente energética alternativa. **Objetivo.** Fundamentar el efecto nutricional del glicerol como suplemento alimenticio sobre la respuesta en bovinos de leche. **Desarrollo.** Estudios han reportado efectos benéficos del uso de glicerol como terapia en la prevención de trastornos metabólicos asociados al período de transición, caracterizado por deficiencias y desequilibrios nutricionales. Diversos resultados han mostrado que su respuesta está asociada con el nivel de inclusión (5 a 12 % MS) en la dieta y la tasa de desaparición a nivel ruminal, que incide sobre la ingesta. Su composición varía de acuerdo con la calidad de la materia prima (grado de impurezas), lo que podría considerarse como inseguro para su suministro. Las fuentes energéticas han mostrado un efecto favorable sobre la respuesta reproductiva expresada por el incremento de la tasa de ovulación, el mejoramiento en la modulación de la síntesis de prostaglandina uterina, mejor calidad de los ovocitos, mayor competencia en el desarrollo embrionario e incremento en las tasas de concepción, en las que el uso de glicerol podría ser asociado. **Conclusión.** El glicerol podría ser considerado como ingrediente esencial en dietas alimenticias por su alto valor energético y efecto benéfico sobre los indicadores productivos y reproductivos, sin embargo, es necesario ampliar su estudio.

Palabras clave: fertilidad, trastornos metabólicos, parámetros reproductivos, nutrición, suplemento energético.

Abstract

Introduction. Animal production technologies have allowed the efficient use of food resources to meet nutritional needs and generate food for the human population. Alternative feed sources in ruminants have been



used to increase the productive and reproductive indicators. The expansion of the oil palm area (*Elaeis guineensis*) for biodiesel production as a renewable energy source has favoured the development of agro-industrial processes through the generation of by-products, such as glycerol, which due to its glycogenic effect, could be considered as an alternative energy source. **Objective.** To substantiate the nutritional effect of glycerol as a dietary supplement on the response in dairy cattle. **Development.** Studies have reported beneficial effects of the glycerol use as therapy in the prevention of metabolic disorders associated with the transition period, characterized by nutritional deficiencies and imbalances. Several results have shown that its response is associated with the level of inclusion (5 to 12 % DM) in the diet and the rate of disappearance at the ruminal level, which concerns the intake. Its composition varies according to the quality of the raw material (degree of impurities), which could be considered unsafe for its supply. The energy sources have shown a favourable effect on the reproductive response expressed by the increase in the ovulation rate, the improvement in the modulation of the uterine prostaglandin synthesis, better quality of oocytes, greater competition in embryonic development, and an increase in the conception rates, in which the use of glycerol could be associated. **Conclusion.** Glycerol could be considered an essential ingredient in diets due to its high energy value and beneficial effect on productive and reproductive indicators, however, it is necessary to expand its study.

Keywords: fertility, metabolic disorders, reproductive parameters, nutrition, energy supplement.

Introducción

La búsqueda de nuevas fuentes de energía renovables ha generado un aumento sobre la producción de biodiesel alrededor del mundo (Vinhas y Rondina, 2013; Olivares-Palma et al., 2013); sin embargo, se registra una gran residualidad durante su proceso de producción sin uso definido por la cadena productiva (Donkin, 2008; Mach et al., 2009; Parsons et al., 2009). A partir de la expansión del área sembrada con palma de aceite (*Elaeis guineensis*) se reconoce un aumento en la disponibilidad de subproductos como el glicerol obtenido a partir de la producción de biodiesel, por lo que en los últimos tiempos, se ha logrado incorporar en la alimentación animal, principalmente como suplemento alimenticio en bovinos con orientación productiva hacia la leche y carne. Lo anterior, gracias a sus propiedades glucogénicas, como componente estructural de triglicéridos y fosfolípidos, lo que proporciona energía para el metabolismo celular y conversión en glucosa en el hígado y riñones (Cori y Shine, 1935; Krebs y Lund, 1966; Wang et al., 2009). Dada su disponibilidad por el auge de la producción de biocombustibles, es necesario recalcar que en su proceso productivo se genera alrededor de un 10 % de glicerina cruda (Thompson y He, 2006; Donkin, 2008; Echeverri et al., 2010). Es así que, se ha considerado este producto como una gran fuente energética que logra sustituir el maíz (*Zea mays L.*) como principal materia prima utilizada para la producción de raciones (Giotto et al., 2015), además, favorece subsecuentemente la disminución en los costos de producción (Donkin, 2008; Mota et al., 2009).

El glicerol presenta un alto valor de energía neta de lactación (1,98 a 2,29 Mcal kg⁻¹), el cual ha repercutido positivamente sobre los índices de rendimiento productivo de los animales y de la calidad cárnica (Mach et al., 2009; Egea et al., 2014; Ezequiel et al., 2015). Adicionalmente, se ha encontrado un efecto benéfico sobre la eficiencia reproductiva que repercute directamente sobre mejoras en las tasas de preñez, debido al incremento de la actividad ovárica posparto (Hess et al., 2005). Estudios han demostrado que la suplementación de lípidos afecta positivamente la función reproductiva en varios tejidos importantes incluidos el hipotálamo, la hipófisis anterior, el ovario y el útero (Grummer y Carroll, 1988; Staples et al., 1998). Por tanto, se evidencia el efecto que tiene la nutrición sobre la reproducción, principalmente en vacas que han tenido un consumo restringido de energía antes y/o después del parto (Freetly et al., 2006). Sin embargo, se ha encontrado que su utilización puede ser limitada,

debido al potencial nutricional, el cual se encuentra relacionado con factores como el tipo de dieta en el que se incorpore (dietas altas con granos vs altas en fibra), grado de pureza (baja concentración de metanol, menor a 0,5 %, y sales constituidas por potasio, sodio y fósforo, con valores máximos de 11,5 %) y el nivel de inclusión (menor a 15% de la materia seca). Lo anterior dado a que podría generar alteraciones metabólicas, a partir de la fermentación en el rumen, modificando la síntesis de ácidos grasos de cadena corta, principalmente a propiónico y butírico. Es así, caso de la acidosis ruminal, en donde se produce en su mayoría ácido propiónico, modificando la sinergia ruminal con la reducción en la disponibilidad de ácido acético y butírico y presentando una disminución del pH (Rémond et al., 1993; Leão et al., 2012; Vinhas y Rondina, 2013; Van-Cleef et al., 2014; 2016).

Es necesario ahondar en el mejoramiento del componente nutricional, a partir de la identificación de moléculas como fuentes alternativas de energía promisorias en la alimentación animal para la sustitución de productos de alto costo, y de esta forma, aumentar los indicadores productivos y mejorar el balance nutricional en los periodos pre y postparto con el fin de no afectar el comportamiento reproductivo, a través de procesos endocrinos y el funcionamiento de sus órganos.

El objetivo de la presente revisión fue fundamentar el efecto nutricional del uso de glicerol como suplemento alimenticio sobre la respuesta en bovinos de leche.

Generalidades del glicerol

El glicerol es producido de dos formas como glicerina natural y glicerol sintético (Oliveira et al., 2008). El término glicerol solo es aplicable a la sustancia química pura, compuesto 1,2,3 propanotriol, mientras que el término glicerina se aplica a productos comerciales purificados con contenidos superiores a 95 % de glicerol (Quispe et al., 2013). Es así que, esta difiere ligeramente en el contenido de glicerol y en otras características como olor, color y trazas de impurezas. El glicerol es catalogado como un compuesto estable y multifuncional que se utiliza como elemento básico en la síntesis química de biopolímeros, ácidos grasos poliinsaturados, etanol, hidrógeno, n-butanol, carbonato de glicerol, ésteres de acetilo de glicerol, entre otros. De acuerdo con sus propiedades fisicoquímicas, es un polialcohol altamente higroscópico con una textura clara e incolora, inodoro, altamente viscoso, dulce al gusto y no tóxico para los humanos y el ambiente (Delgado et al., 2016). Su punto de ebullición, inflamación y fusión, alcanzan valores de 290, 177 y 18 °C, respectivamente. Además, tiene propiedades humectantes y alto contenido de energía (Pradima et al., 2017).

El glicerol de forma natural es el componente principal de los triglicéridos presentes en todas las grasas animales y aceites vegetales y se obtiene durante la producción de jabón o de biodiesel (Choi, 2008). Asimismo, es considerado como el principal subproducto con valor agregado producido a partir de aceites y grasas mediante los procesos de saponificación y transesterificación llevados a cabo durante procesos petroleros y químicos en producción de la industria del biodiesel (McCoy, 2006; Johnson y Taconi, 2007; Stelmachowski, 2011). La glicerina es el nombre comercial que reciben las mezclas con alto contenido de glicerol; es utilizada como ingrediente en la transformación de medicamentos, productos cosméticos y alimenticios. En el mercado se pueden encontrar tres tipos de glicerina de acuerdo al grado de pureza: glicerina cruda comercial (80 - 88 % en peso) que contiene gran cantidad de metanol, agua, jabones y sales, y es el coproducto natural obtenido durante el proceso de producción de biodiesel; la glicerina grado técnico (98 % en peso) de alta pureza, dado a los procesos de purificación, siendo adecuada para aplicaciones de tipo industrial; y finalmente, la glicerina refinada (99,7 % en peso, grado USP - *United States Pharmacopeia* o FCC- *Food Chemicals Codex*), producto de calidad farmacéutica, adecuada para su uso en alimentos, cosméticos, productos farmacéuticos y otras aplicaciones especiales (Posada y Cardona, 2010).

Con el auge de la producción mundial de biocombustibles y en especial del biodiesel, como fuente sostenible de nuevo recurso energético y como sustituto de los combustibles fósiles, surge la alternativa de su producción a

partir de oleaginosas, las cuales representan diversos beneficios relacionados con que su biodegradabilidad, son más limpias y generan un nivel aceptable de gases de emisión. Además, se constituyen en parte de un progreso tecnológico en la limitación de las emisiones de gases efecto invernadero y la disminución de la contaminación, favoreciendo así, la calidad del aire (Jaeger-Voirol et al., 2008; Murugesan et al., 2009). Por lo anterior, cabe señalar, que el biodiesel es definido como alquil-ésteres de ácidos grasos derivados de aceites vegetales como el aceite de palma, donde de forma particular con su rápida expansión se ha convertido en materia prima adecuada para su obtención, lo que refleja un aumento en los niveles de producción (Tan et al., 2009).

Datos históricos en Colombia, demuestran que durante el año 2017 se incrementó el área sembrada con palma de aceite y alcanzó las 516 960 ha, con un aumento del 1 % frente al año anterior (FEDEPALMA, 2017). Se reportó que los niveles de producción han alcanzado máximos valores de: fruto de palma de aceite (8 037 274 t), aceite de palma crudo (1 627 552 t) y almendra de palma (palmiste) (325 835 t), con variaciones positivas de 42,5, 42 y 36,8 %, respectivamente. Según Contexto Ganadero (2018), el glicerol, como subproducto del biodiesel generado a partir del aceite de palma, ha tenido un crecimiento cercano al 64 % durante la última década con un valor promedio de venta comercial de USD\$ 600 a 650 t. Conviene señalar que durante el proceso se obtiene una diversidad de residuos como: gluten, pulpa, aguas residuales y glicerina cruda (Quispe et al., 2013).

La glicerina cruda que es producida a partir del biodiesel tiene un contenido de glicerol que varía de 46,4 a 89,2 %; sin embargo, específicamente en su reacción de transesterificación se estima que alcanza alrededor del 10 % del volumen total resultante (Vinhas y Rondina, 2013). Por lo anterior, esta posee un valor bajo en el mercado, dado su grado de impurezas; por lo que, su composición varía de acuerdo con la calidad de la materia prima y de las condiciones en su proceso de producción, relacionadas principalmente con la eliminación de sales (macroelementos como calcio, potasio, magnesio, fósforo, azufre y sodio), metanol y ácidos grasos libres (Choi, 2008). Los niveles de metanol en el glicerol crudo deben ser inferiores a 0,5 %, ya que valores superiores a 150 ppm son considerados inseguros para la alimentación animal. Finalmente, cabe destacar su alto valor de energía (2,27 Mcal kg⁻¹ MJ de energía neta para lactancia) y su alto índice de solubilidad en agua, lo que favorece su uso en la elaboración de alimentos balanceados para animales, siendo reconocido como una fuente alimenticia segura para consumo animal según la FDA (2006) y utilizado principalmente en la Unión Europea, donde es considerado como aditivo (Schröder y Südekum, 1999; Donkin, 2008; Groesbeck et al., 2008).

Con respecto a la producción del biodiesel, este dependerá en gran medida de las políticas gubernamentales; sin embargo, el reciente aumento en el precio de las oleaginosas ha disminuido considerablemente su rentabilidad. Por otra parte, las tendencias encaminadas hacia un mayor refinado y purificación del glicerol favorecerán un valor más alto y una menor disponibilidad en el suministro al mercado de alimentos para animales. Es así que su uso dependerá de la oferta y la demanda de combustible, y el precio de alimentos sustitutos utilizados para la producción.

Glicerol en la alimentación animal

De acuerdo con la situación actual del biodiesel y su expansión en los mercados nacionales e internacionales, se ha evidenciado un excedente de glicerina cruda generado en la cadena de producción del biodiesel, la cual debe ser absorbida ambientalmente de la mejor manera y aprovechada económicamente, ya que no existe una legislación específica para su almacenamiento, descarte o utilización (Thompson y He, 2006; Chi et al., 2007). Sin embargo, el glicerol ha sido utilizado como una 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, lo que ayuda de esta forma a obtener su energía (Donkin, 2008; Mach et al., 2009).

El proceso de obtención de glicerol no requiere calor o cambio químico, lo que facilita su fabricación de forma rápida, convirtiéndose en alternativa económica y de mayor disponibilidad para los sistemas de producción bovina. Además, estudios han reportado que su adición en pellets produce la inhibición del crecimiento fúngico, destacando

sus propiedades preservantes (Hernández et al., 2015). El glicerol ha sido utilizado en diversos experimentos, tanto de forma líquida para ser incorporado en la mezcla total de las raciones, como en suplemento de concentrados granulados, a fin de comparar su valor nutritivo con otras fuentes energéticas.

Con relación al metabolismo ruminal, el glicerol es fermentado completamente en el rumen a ácidos grasos volátiles, en especial en propionato y butirato (Silva et al., 2014). Diversos estudios muestran que existe una variabilidad en el efecto de la administración del glicerol sobre el pH ruminal y la proporción de acetato, propionato, butirato y valerato, lo que incide sobre la producción de leche; sin embargo, su respuesta depende de la dosis y la tasa de desaparición a nivel ruminal (Kijora et al., 1998; Linke, 2005; Kristensen y Raun, 2007); así como también, de la dosis suministrada, la cual tiene un efecto sobre la ingesta de alimento, donde estudios han reportado una reducción en el consumo de materia seca que varía entre el 15 y 30 %, lo que podría estar relacionado con la alta producción de energía suministrada y la satisfacción de la saciedad, mejorando así, el metabolismo ruminal de los ácidos grasos volátiles y su flujo hacia el hígado (Trabue et al., 2007; Donkin et al., 2009; Ezequiel et al., 2015; de-Andrade et al., 2018). Estudios contradictorios reportan, que la adición de glicerol de hasta un 15 % como reemplazo del maíz no afectó el nivel de ingesta de materia seca, ni la palatabilidad (Donkin et al., 2007). No se observaron limitaciones en el consumo de materia seca hasta un 24 % del nivel de inclusión en dietas de vacas y novillos castrados de aptitud lechera, sin afectación en el consumo de nutrientes permitiendo un rendimiento animal similar comparado con los alimentados con maíz como principal fuente de energía (Leão et al., 2012). Otro estudio donde se suplementó con niveles de inclusión de hasta un 18 % sobre la dieta, reportó un aumento de la ingesta de 1 kg (Gaillard et al., 2018).

Se ha reportado un efecto benéfico del glicerol como estrategia preventiva de trastornos metabólicos asociados al período de transición, caracterizado por las deficiencias o desequilibrios nutricionales como: cetosis, hígado graso, hipocalcemia puerperal y tetania hipomagnésica, denominadas enfermedades de la producción (Drackley y Elliott, 1993; Corbellini, 2000; Goff y Horst, 2001; 2003; Donkin, 2008; Delgado et al., 2018). Lo anterior obedece a que el glicerol es caracterizado como precursor glucogénico exógeno, que actúa supliendo las necesidades de energía y controlando la movilización de grasa a partir de la estimulación de la liberación de insulina, que tiene un efecto inhibitorio sobre la lipólisis. Su adición permite tanto 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). Se obtuvo un rápido incremento de los niveles de glicemia de 16 a 25 % en vacas lecheras en los primeros 30 min posterior a la administración con la adición de 1 a 3 litros de glicerol (Clariget et al., 2016). Además, cuando se suministraron de 1, 2 o 3 litros de glicerol en dietas de vacas de leche alimentadas durante su periodo de transición, se obtuvieron mayores valores de glucosa en plasma en un 16, 20 y 25 %, respectivamente (Goff y Horst, 2001).

El glicerol ha sido utilizado principalmente como alternativa de suplemento, donde se ha considerado como sustituto parcial del maíz en dietas de animales bovinos de elevada producción, dada su similitud en el valor de energía neta (Donkin, 2008; Haydt et al., 2015). Estudios realizados han demostrado que no existen diferencias significativas entre animales alimentados con maíz y glicerol (Clariget et al., 2016); por lo tanto, se considera que los subproductos agroindustriales pueden ser dispuestos como alternativa en la suplementación de vacas lecheras como ingrediente para la elaboración de alimentos concentrados peletizados o como componente de raciones mixtas totales. Estudios realizados en varios animales demuestran la utilización del glicerol como sustituto de fuentes energéticas para su alimentación. Es así que, el glicerol como ingrediente principal en la suplementación de lechones en fase de ceba, como sustituto de alimentos concentrados energéticos en hasta un 10 %, mostró que el rendimiento sobre la tasa de crecimiento y de la canal, no se vio afectada. Además, su valor energético fue similar comparado con el del maíz y menor con el de otros aceites vegetales o grasas animales (Kerr et al., 2007). Otro estudio evaluó el efecto de la inclusión de glicerol en niveles de 6, 12 y 18 % sobre la ingesta de nutrientes, digestibilidad, rendimiento y parámetros sanguíneos en corderos de engorde, donde los resultados mostraron un efecto benéfico sobre las

variables analizadas, y hubieron mayores ganancias diarias de peso promedio y mejores conversiones alimenticias, así como también mayores valores de glucosa y albúmina sérica (de-Andrade et al., 2018).

En relación con la composición química de la glicerina cruda, sigue siendo variable, por lo que es importante continuar evaluando el uso de este ingrediente, ya que puede tener efectos tóxicos en los rumiantes. Estudios han demostrado que el suministro de glicerol debe ser moderado debido a la presencia de contaminantes, principalmente el metanol, utilizado en el proceso de separación de los ácidos grasos del glicerol y responsable de los desbalances metabólicos caracterizados por acidosis. Esto se ha atribuido principalmente al ácido fórmico, un metabolito del proceso de degradación del metanol en el hígado (Leão et al., 2012). Es así que, los niveles de metanol deben ser inferiores al 0,5 %. Adicionalmente, existen niveles residuales de sodio y potasio que pueden limitar su utilización (Waldroup, 2007).

A partir de estudios preliminares de adición de materiales gluconeogénicos en la alimentación animal, se ha venido evaluando los niveles de inclusión del glicerol en la dieta de animales. Por lo cual, diversos estudios han sugerido que los niveles de glicerol en las dietas presentan una variabilidad en su respuesta, donde algunos autores reportan que no se debe exceder del 5 % de la dieta, puesto que se ha encontrado un detrimento sobre el consumo y la eficiencia alimenticia (Fisher et al., 1971, 1973). Otros estudios reportan que se ha incluido como terapia en vacas durante su periodo de transición con niveles de 5 a 8 % de la dieta sobre la materia seca, reportando bajas tasas de alimentación.

Experimentos de alimentación con vacas lecheras en lactancia indican la sustitución del maíz con glicerol a un nivel del 15% de la ración de materia seca (Donkin, 2008). Cuando se evaluó el efecto de la inclusión de glicerol con niveles de 0, 4, 8, y 12 % sobre la materia seca en la dieta de novillos Holstein, se demostró que niveles de hasta un 12,1 % de inclusión no produjeron efectos perjudiciales en el rendimiento, la fermentación ruminal, el metabolismo y las variables de calidad de la carne y la canal (Mach et al., 2009). Otro estudio incluyó la alimentación de ganado lechero con 10 % de glicerol, lo que permitió reemplazar más de la mitad del almidón en la dieta sin afectar negativamente la ingesta, digestibilidad ruminal, síntesis microbiana ruminal o la digestibilidad total de nutrientes (Schröder y Südekum, 1999; Südekum, 2007). También, se reportó la inclusión de un 10 % de glicerol sobre la materia seca en la dieta de vacas de la raza Holstein, de alta producción, permitiendo la sustitución del maíz por glicerol (Delgado et al., 2018).

Dado a que las dietas utilizadas para la alimentación animal no están formuladas adecuadamente, estas pueden causar ingestas reducidas de materia seca, pérdidas de volúmenes de producción de leche y baja calidad composicional, por lo que se recomienda establecer los niveles de inclusión de fuentes energéticas como el glicerol.

Efecto de sustratos glucogénicos sobre la respuesta reproductiva en bovinos

Dado que el metabolismo de los rumiantes permite la digestión de celulosa y el nitrógeno no proteico a través de la fermentación en el rumen, los carbohidratos en su mayoría son fermentados a ácidos grasos volátiles. Por lo que, la síntesis de glucosa está dada principalmente a través de la gluconeogénesis como ruta metabólica, donde precursores como el glicerol, propionato, lactato y aminoácidos, son indispensables para que el animal se provea de glucosa (Ballard et al., 1969). Estudios han demostrado que existe un efecto nutricional sobre los índices productivos y reproductivos. Es así como, la fertilidad está relacionada con el manejo alimentario y nutricional, por tanto, existe un efecto sobre los índices productivos y reproductivos (Hess et al., 2005; Meléndez y Bartolomé, 2017). Se ha considerado que una nutrición deficiente puede tener efectos adversos sobre la condición corporal, la disminución de la tasa de concepción y el aumento en la incidencia de anestro (Meléndez y Bartolomé, 2017). De igual manera, se reportó que el exceso de proteína causa detrimento en la fertilidad de hembras bovinas (Byrne et al., 2002), por lo cual, es necesario establecer programas de alimentación adecuados que suplan los requerimientos nutricionales del animal, acorde a su fase productiva (Titgemeyer y Loëst, 2001; Meléndez y Bartolomé, 2017).

El balance energético postparto es uno de los factores más significativos que influye sobre el estado reproductivo de los animales, en especial, en los de aptitud lechera (Aguilar et al., 2016). Se ha reportado que cuando se restringe el consumo de energía en el período posparto, la tasa de preñez y la actividad ovárica se ven afectadas (Freetly et al., 2006; López et al., 2013). Se determinó que los niveles de glucosa e insulina pueden favorecer el incremento en la tasa de ovulación, ocasionado como respuesta al desarrollo folicular, lo que podría favorecer la oferta de mayor cantidad de folículos capaces de responder al estímulo de gonadotropinas (Gutiérrez et al., 1997; Viñoles et al., 2005).

El consumo de lípidos tiene un efecto positivo sobre el hipotálamo, hipófisis anterior, ovario y útero, reflejado por el aumento en la producción de glucosa y disponibilidad de propionato (Funston, 2004; Giraldo y Uribe, 2012). Lo anterior obedece a que este aumento puede tener un efecto positivo sobre la liberación de hormona luteinizante, que estimula la última etapa de crecimiento folicular (Gutiérrez et al., 1997). Se han evidenciado ovulaciones con folículos de mayor tamaño generando como resultado una formación de cuerpos lúteos mayores y una mejor capacidad esteroidogénica, desencadenando finalmente un incremento en la producción de progesterona y aumento en las tasas de concepción (Funston, 2004). Se ha relacionado directamente con la modulación de la síntesis de prostaglandina (PG) uterina, una mejor calidad ovocitaria y mayor competencia en el desarrollo del embrión (Santos et al., 2008). Se ha propuesto que la administración de insulina y los factores de crecimiento insulínico (IGFs) durante los primeros días del ciclo estral podrían favorecer el desarrollo embrionario y el mejoramiento en la tasa de gestación, mediante el incremento de las concentraciones séricas de progesterona, ya que tiene un efecto directo sobre las células ováricas a través de la estimulación de la mitogénesis de las células de la granulosa, la producción de progesterona en las células lúteas y de la granulosa y la producción de andrógenos de células tecales (Spicer y Echemkamp, 1995; Cooke et al., 2012). Lo anterior se fundamenta en que la insulina y el metabolismo de la glucosa están íntimamente relacionados con la función ovárica. Estudios realizados en bovinos y cabras durante los primeros seis días del ciclo estral, posterior a la administración de glicerol se encontró que se incrementaba la tasa de ovulación, la prolificidad y la tasa de gestación, relacionado principalmente con que la insulina permitió incrementar las concentraciones circulantes de progesterona (McCann y Hansel, 1986; Aguilar et al., 2016). A su vez, Mann et al. (2003) y Boken et al. (2005) mencionaron que las bajas concentraciones de insulina afectan negativamente el desarrollo embrionario y su capacidad para producir interferón tau (INT-t).

El método para incrementar las concentraciones séricas de insulina consiste en la administración de sustancias glucogénicas (Ortega et al., 2010; Aguilar et al., 2016). Estudios señalan que la administración de un litro de glicerol por vía oral en vacas lecheras Holstein durante los primeros seis días posteriores a la inseminación, permite el aumento en el porcentaje de concepción, lo que favorece el desarrollo embrionario, inducido por el incremento en las concentraciones de insulina, probablemente relacionado con el aumento de la capacidad embrionaria para establecer el mecanismo de reconocimiento de la gestación (Ortega et al., 2010).

Estudios realizados con precursores glucogénicos, caso de la administración oral de 250 ml de propilenglicol en vacas Holstein durante veinte días previos a la fecha de transferencia embrionaria, permitió aumentar la calidad del cuerpo lúteo y los niveles séricos de progesterona y por ende, los índices de gestación. Así mismo, se logró seleccionar una mayor proporción de receptoras utilizadas en programas de transferencia de embriones; por lo que su empleo puede redundar en un mejor beneficio económico (Hidalgo et al., 2007). Lo anterior explica que la hormona insulina es la responsable de la homeostasis y de la captación celular de glucosa y su oxidación, lo que permite una disminución en la gluconeogénesis hepática en rumiantes. Se ha demostrado que en condiciones *in vitro*, previene la apoptosis y favorece el desarrollo embrionario, estimulando la proliferación y función esteroidogénica en las células de la granulosa y de la teca, permitiendo así una mejora en la función lútea y en el porcentaje de concepción en vacas repetidoras (Byrne et al., 2002; Augustin et al., 2003). Se han obtenido mayores tasas de preñez y viabilidad embrionaria en vacas suplementadas con grasas y con el uso de jabones de calcio de ácidos grasos en vacas lecheras, lo cual provocó el desarrollo de blastocistos con una mayor cantidad de células

tanto en su masa interna como en el trofocodermo (Espinoza et al., 2010). Un estudio realizado por Bader et al. (2000) en el que se utilizaron dos dietas hiperlipídicas (21 y 17 % de grasa; 1,8 kg día⁻¹) para la alimentación de vacas de dos años de edad, durante 51 y 45 días posparto, reportaron una mejora en la presentación de los estros y las tasas de concepción al primer servicio.

Finalmente, los estudios reportados muestran que la utilización de sustratos glucogénicos, entre ellos el glicerol afectan de forma benéfica la respuesta reproductiva, lo cual podría utilizarse como estrategia para mejorar la fertilidad en vacas, a partir de su efecto sobre el incremento de los niveles de insulina y así, favorecer la sobrevivencia embrionaria y el porcentaje de concepción. Por otra parte, la adición de grasas a la dieta es una práctica común implementada en los sistemas de producción de leche, principalmente para aumentar la densidad de energía de la dieta y favorecer su efecto positivo asociado a la reproducción, ya que estudios han mostrado que la suplementación con grasas a nivel de 3 % de materia seca en la dieta influye en el aumento del tamaño del folículo ovulatorio, el número de folículos ováricos, la concentración plasmática de progesterona, la secreción reducida del metabolito de prostaglandina, el aumento de vida útil del cuerpo lúteo y por ende, una mejora de la fertilidad (Grummer y Carroll, 1988; Staples et al., 1998). Existe la necesidad de buscar alternativas eficientes de alimentación a fin de favorecer la concentración de energía y mejorar la producción, crecimiento y reproducción de los animales, en especial durante el periodo de transición.

Conclusiones

En la actualidad existe un auge en la producción de biodiesel, lo que genera altos excedentes de subproductos como el glicerol, el cual ha sido incluido en la alimentación animal como estrategia nutricional direccionada hacia la búsqueda de fuentes alternativas más baratas y de mayor disponibilidad.

El glicerol ha sido utilizado como una buena fuente de energía en la dieta de animales, donde para la especie bovina los niveles de inclusión varían entre 5 y 12 %, y muestra resultados favorables en comparación con materias primas tradicionales como el maíz y sin efectos negativos para vacas lactantes, además de los resultados en la disminución de los costos de producción. Sin embargo, es de resaltar que el valor energético del glicerol crudo no se conoce completamente y por la variación con su pureza pueden presentarse problemas de toxicidad en la alimentación de vacas lecheras relacionado con los niveles de metanol.

La utilización de sustratos glucogénicos, afectan de forma benéfica la respuesta reproductiva, por lo cual el glicerol podría servir como estrategia en su utilización; sin embargo, es conveniente conducir investigaciones para dilucidar estas condiciones y permitir su uso adecuado en la dieta de vacas de leche.

Literatura citada

- Aguilar, U., C.J. Hernández-Cerón., Y. Dominguez, and C.G. Gutiérrez. 2016. Ovulation rate, prolificacy and pregnancy rate in goats treated with oral glycerol. *Vet. Méx.* OA 3(1):1-10. doi:10.21753/vmoa.3.1.360
- Augustin, R., P. Pocar, C. Wrenzycki, H. Niemann, and B. Fischer. 2003. Mitogenic and anti-apoptotic activity of insulin on bovine embryos produced *in vitro*. *Reproduction* 126:91-99. doi:10.1530/rep.0.1260091
- Bader, J.F., E.E.D. Felton, M.S. Kerley, D.D. Simms, and D.J. Patterson. 2000. Effects of postpartum fat supplementation on reproduction in primiparous 2-year-old and mature cows. *J. Anim. Sci.* 78:224.
- Ballard, F.J., Hanson, R.W., and Kronfeld, D.S. 1969. Gluconeogenesis and lipogenesis in tissue from ruminant and nonruminant animals. *Fed Proc.* 28:218-231.

- Boken, S.L., C.R. Staples, L.E. Sollenberger, T.C. Jenkins, and W.W. Thatcher. 2005. Effect of grazing and fat supplementation on production and reproduction of Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 88:4258-4272. doi:10.3168/jds.S0022-0302(05)73112-X
- Byrne, A.T., J. Southgate, D.R. Brison, and H.J. Leese. 2002. Regulation of apoptosis in the bovine blastocyst by insulin and the insulin-like growth factor (IGF) superfamily. *Mol. Reprod. Dev.* 62:489-495. doi:10.1002/mrd.10153
- Chi, Z., D. Pyle, Z. Wen, C. Frear, and S. Chen. 2007. A laboratory study of producing docosaheptaenoic acid from biodiesel-waste glycerol by microalgal fermentation. *Proc. Biochem.* 42:1537-1545. doi:10.1016/j.procbio.2007.08.008
- Choi, W.J. 2008. Glycerol-Based Biorefinery for Fuels and Chemicals. *Recent Patents Biotechnol.* 2(3):173-180. doi:10.2174/187220808786241006
- Clariget, J.M., R. Pérez-Clariget, A. Álvarez-Oxiley, O. Bentancur, and M.Á. Bruni, 2016. Suplementación con glicerina cruda y afrechillo de arroz entero a vacas de carne pastoreando campo natural. *Agrociencia Uruguay* 20(2):121-131.
- CONtextoganadero. 2018. Colombia. Conozca por qué el precio del glicerol ha caído en las últimas semanas. CONtextoganadero, Bogotá, COL. <https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/conozca-por-que-el-precio-del-glicerol-ha-caido-en-las-ultimas-semanas> (consultado 10 oct. 2018).
- Cooke, R.F., B.I. Cappelozza, M.M. Reis, D.W. Bohnert, and J.L. Vasconcelos. 2012. Plasma progesterone concentration in beef heifers receiving exogenous glucose, insulin, or bovine somatotropin. *J. Anim. Sci.* 90:3266-3273. doi:10.2527/jas.2011-4959
- Corbellini, C. 2000. Influencia de la nutrición en las enfermedades de la producción de las vacas lecheras en transición. En: Sociedad de Medicina Veterinaria del Uruguay, editor, XXI Congreso Mundial de Buiatría: XXVIII Jornadas Uruguayas de Buiatría. Sociedad de Medicina Veterinaria del Uruguay, Punta de Este, URY. p. 689.
- Cori, C.F., and W.M. Shine. 1935. The formation of carbohydrate from glycerophosphate in the liver of the rat. *Science* 82:134-135. doi:10.1126/science.82.2119.134-a
- de-Andrade, G., F.F. de-Carvalho, A.M. Batista, R.A. Pessoa, C. da-Costa, D. Cardoso, and M. Maciel. 2018. Evaluation of crude glycerin as a partial substitute of corn grain in growing diets for lambs. *Small Ruminant Res.* 165:41-47. doi:10.1016/j.smallrumres.2018.06.002
- Delgado, A., M. Bruni, J.L. Galindo, J.P. Marchelli, D. Rodríguez, y P. Chilibroste. 2016. Efectos del glicerol al inicio de la lactancia en la producción y calidad de la leche de vacas Holando en pastoreo. *Avan. Invest. Agropecu.* 20(2):5-18.
- Delgado, A., M.A. Bruni, J.L. Galindo, J.P. Marchelli, D. Rodríguez, y P. Chilibroste, 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.
- Donkin, S.S. 2008. Glycerol from biodiesel production: the new corn for dairy cattle. *R. Bras. Zootec.* 37(spe):280-286. doi:10.1590/S1516-35982008001300032
- Donkin, S.S., S.L. Koser, H.M. White, P.H. Doane, and M.J. Cecava. 2009. Feeding value of glycerol as a replacement for corn grain in rations fed to lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 92:5111-5119. doi:10.3168/jds.2009-2201
- Donkin, S.S., M.R. Pallatin, P.H. Doane, M.J. Cecava, H.M. White, E. Barnes, and S.L. Koser. 2007. Performance of dairy cows fed glycerol as a primary feed ingredient. *J. Dairy Sci.* 90:350.
- Drackley, J.K., and J.P. Elliott. 1993. Milk composition, ruminal characteristics, and nutrient utilization in dairy cows fed partially hydrogenated tallow. *J. Dairy Sci.* 76:183-196. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(93)77337-3
- Echeverri, D.A., F. Cardeño, and L.A. Rios. 2010. Glycerolysis of soybean oil with crude glycerol containing residual alkaline catalysts from biodiesel production. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 88:551-557. doi:10.1007/s11746-010-1688-5

- Egea, M., M.B. Linares, M.D. Garrido, C. Villodre, J. Madrid, J. Orengo, S. Martínez, F. Hernández. 2014. Crude glycerine inclusion in Limousin bull diets: Animal performance, carcass characteristics and meat quality. *Meat Sci.* 98:673-678. doi:10.1016/j.meatsci.2014.06.034
- Espinoza, J.L., R. Ortega, A. Palacios, y A. Guillén. 2010. Efecto de la suplementación de grasas sobre características productivas, tasas de preñez y algunos metabolitos de los lípidos en vacas para carne en pastoreo. *Arch. Med. Vet.* 42:25-32. doi:10.4067/S0301-732X2010000100004
- Ezequiel, J.M., J.B. Sancanari, O.R. Neto, Z.F. da-Silva, M.T. Almeida, D.A.V. Silva, F.O. Van-Cleef., and E.H.C.B. Van-Cleef. 2015. Effects of high concentrations of dietary crude glycerin on dairy cow productivity and milk quality. *J. Dairy Sci.* 98:8009-8017. doi:10.3168/jds.2015-9448
- FDA. 2006. CFR - Code of Federal Regulations, Title 21, Sec. 582.1320. US Government Information, USA. <https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcr/CFRSearch.cfm?fr=582.1320> (accessed Jun. 2, 2019).
- FEDEPALMA (Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite). 2017. Informe de gestión de Fedepalma 2017. FEDEPALMA, Bogotá, COL.
- Fisher, L.J., J.D. Erfle, G.A. Lodge, and F. D. Sauer. 1973. Effects of propylene glycol or glycerol supplementation of the diet of dairy cows on feed intake, milk yield and composition, and incidence of ketosis. *Can. J. Anim. Sci.* 53:289-296. doi:10.4141/cjas73-045
- Fisher, L.J., J.D. Erfle, and F.D. Sauer. 1971. Preliminary evaluation of the addition of glucogenic materials to the rations of lactating cows. *Can. J. Anim. Sci.* 51:721-727. doi:10.4141/cjas71-097
- Freetly, H.C., J.A. Nienaber, and T. Brown-Brandl. 2006. Partitioning of energy during lactation of primiparous beef cows. *J. Anim. Sci.* 84:2157-2162. doi:10.2527/jas.2005-534
- Funston, R.N. 2004. Fat supplementation and reproduction in beef females. *J. Anim. Sci.* 82(E-Suppl):E154-E161. doi:10.2527/2004.8213_supplE154x
- Gaillard, C., M.T. Sørensen, M. Vestergaard, M.R. Weisbjerg, M.K. Larsen, H. Martinussen, U. Kidmose, and J. Sehested. 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. *Livest. Sci.* 209:25-31. doi:10.1016/j.livsci.2018.01.006
- Giotto, F.M., M.P. Osmari, B.L. Salab, L.F. de-Matos, e T.G. Díaz. 2015. Subproduto do biodiesel na alimentação de ruminantes: o caso da glicerina. *Arq. Ciênc. Vet. Zool. UNIPAR* 18(4):253-257. doi:10.25110/arqvet.v18i4.2015.5753
- Giraldo, A.D., y V.L. Uribe. 2012. Estrategias para mejorar la condición corporal postparto en vacas de carne. *Biosalud* 11(1):71-89.
- Goff, J.P., and R.L. Horst. 2001. Oral glycerol as an aid in the treatment of ketosis/fatty liver complex (abstract). *J. Dairy Sci.* 84(Suppl. 1):153.
- Goff, J.P., and R.L. Horst, 2003. Oral glycerol as a gluconeogenic precursor in the treatment of ketosis and fatty liver. *Acta Vet. Scand.* 44:40. doi:10.1186/1751-0147-44-S1-P40
- Gómez, L., y R. Campos. 2016. Control del balance energético negativo y comportamiento productivo y metabólico en vacas doble propósito bajo suplementación energética. *Rev. Invest. Agrar. Amb.* 7(1):147-156. doi:10.22490/21456453.1545
- Groesbeck, C.N., L.J. McKinney, J.M. DeRouchey, M.D. Tokach, R.D. Goodband, S.S. Dritz, J.L. Nelssen, A.W. Duttlinger, A.C. Fahrenholz, and K.C. Behnke. 2008. Effect of crude glycerol on pellet mill production and nursery pig growth performance. *J. Anim. Sci.* 86:2228-2236. doi:10.2527/jas.2008-0880
- Grummer, R.R., and D.J. Carroll. 1988. Review of lipoprotein cholesterol metabolism: Importance to ovarian function. *J. Anim. Sci.* 66:3160-3173. doi:10.2527/jas1988.66123160x

- Gutierrez, C.G., J. Oldham, T.A. Bramley, J.G. Gong, B. Campbell, and R. Webb. 1997. The recruitment of ovarian follicles is enhanced by increased dietary intake in heifers. *J. Anim. Sci.* 75:1876-1884. doi:10.2527/1997.7571876x
- Haydt, E., J. Bertocco, R. Patiño, A. Pastori, D. Attuy, y F. de-Oliveira, F. 2015. Conductas de ingestión en bovinos de la raza Nelore recibiendo altas concentraciones de glicerina cruda. *Semina: Ciênc. Agrár.* 36:2329-2337. doi:10.5433/1679-0359.2015v36n3Supl1p2329
- Hernández, J.A., J.C. Acevedo, C.F. Valdés, y F.R. Posso. 2015. Evaluación de rutas alternativas de aprovechamiento de la glicerina obtenida en la producción de biodiésel: una revisión. *Ingen. Desarrollo* 33:126-148. doi:10.14482/inde.33.L5573
- Hess, B.W., S.L. Lake, E.J. Scholljegerdes, T.R. Weston, V. Nayigihugu, J.D.C. Molle, and G.E. Moss. 2005. Nutritional controls of beef cow reproduction. *J. Anim. Sci.* 83(13):90-106. doi:10.2527/2005.8313_supplE90x
- Hidalgo, C., M.C. Tamargo, E. Gómez, F.N. Facal, y C. Díez. 2007. El propilenglicol mejora los resultados de la transferencia de embriones. *Tecnol. Agroaliment.: Bol. Inform. SERIDA* 4:33-37.
- Jaecker-Voirol, A, I. Durand, G. Hillion., B. Delfort., and X. Montagne. 2008. Glycerin for new biodiesel formulation. *Oil Gas Sci. Technol. Rev. IFP* 63:395-404. doi:10.2516/ogst:2008033
- Johnson, D., and K. Taconi. 2007. The glycerin glut: Options for the value-added conversion of crude glycerol resulting from biodiesel production. *Environ. Progress.* 26:338-348. doi:10.1002/ep.10225
- Kerr, B.J., M.S. Honeyman, P.J. Lammers, and S. Hoyer. 2007. Feeding bioenergy coproducts to swine: Crude glycerol. Iowa State University, IA, USA. <https://www.ipic.iastate.edu/publications/IPIC11b.pdf> (accessed Jul. 5, 2019).
- Kijora, C., H. Bergner, K.P. G€otz, J. Bartelt, J. Szak_acs, and A Sommer. 1998. Research note: investigation on the metabolism of glycerol in the rumen of bulls. *Archiv für Tierernaehrung* 51(4):341-348. doi:10.1080/17450399809381931
- Krebs, H.A., and P. Lund. 1966. Formation of glucose from hexoses, pentoses, polyols and related substances in kidney cortex. *Biochem. J.* 98:210-214. doi:10.1042/bj0980210
- Kristensen, N.B., and B.M.L. Raun. 2007. Ruminal fermentation, portal absorption, and hepatic metabolism of glycerol infused into the rumen of lactating dairy cows. In: I. Ortigues-Marty, editor, *Energy and protein metabolism and nutrition e Proceedings of the 2nd International symposium on energy and protein metabolism and nutrition.* EAAP Publication No. 124. Wageningen Academic Publishers, NLD. p. 355-356.
- Leão, J.P., A.T. Ramos, V.M. Maruo, D.P.M. de-Souza, J.N.M. Neiva, J. Restle, e S.E. Moron. 2012. Anatomopatologia de amostras de bovinos alimentados com glicerol. *Ciênc. Rural* 42:1253-1256. doi:10.1590/S0103-84782012005000046
- Linke, P. 2005. Ruminal and plasma responses in dairy cows to drenching or feeding glycerol. *J. Undergraduate Res.* 3(8):49-60.
- López, O.R., M.J.G. García, E.A. Islas, V.R. Ramírez, F.A. Ruíz, C.I. Ponce, y O.R. López, 2013. Los isómeros cis-9, trans-11 y trans-10, cis-12 de ácido linoleico conjugado y su relación con producción de leche de vacas Holstein-Friesian. *Revisión. Rev. Mex. Cienc. Pecu.* 4:339-360.
- Mach, N., A. Bach, and M. Devant. 2009. Effects of crude glycerin supplementation on performance and meat quality of Holstein bulls fed high-concentrate diets. *J. Anim. Sci.* 87:632-638. doi:10.2527/jas.2008-0987
- Mann G.E., M.P. Green, K.D. Sinclair, K.J. Demmers, M.D. Fray, C.G. Gutierrez, P.C. Garnsworthy, and R. Webb. 2003. Effects of circulating progesterone and insulin on early embryo development in beef heifers. *Anim. Reprod. Sci.* 79(1-2):71-79. doi:10.1016/S0378-4320(03)00114-3
- McCann, J.P., and W. Hansel. 1986. Relationships between insulin and glucose metabolism and pituitary-ovarian functions in fasted heifers. *Biol. Reprod.* 34:630-641. doi:10.1095/biolreprod34.4.630
- McCoy, M. 2006. Glycerine surplus. *Chemical and engineering news.* 84(6):7-8. doi:10.1021/cen-v084n006.p007a

- Meléndez, P., and J. Bartolomé. 2017. Advances on nutrition and fertility in dairy cattle: Review. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.* 8:407-417. doi:10.22319/rmcp.v8i4.4160
- Mota, C.J.A., C.X.A. da-Silva, e V.L.C. Gonçalves. 2009. Gliceroquímica: novos produtos e processos a partir da glicerina de produção de biodiesel. *Quím. Nova* 32:639-648. doi:10.1590/S0100-40422009000300008
- Murugesan, A., C. Umarani, R. Subramanian, and N. Nedunchezian. 2009. Bio-diesel as an alternative fuel for diesel engines—A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 13:653-62. doi:10.1016/j.rser.2007.10.007
- Olivares-Palma, S.M., S.J. Meale, L.G. Pereira, F.S. Machado, H. Carneiro, F.C. Lopes, R.M. Mauricio, and A.V. Chaves. 2013. *In vitro* fermentation, digestion kinetics and methane production of oilseed press cakes from biodiesel production. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* 26:1102-1110. doi:10.5713/ajas.2013.13098
- Oliveira, F.C.C., P.A.Z. Suarez, e W.L.P. dos-Santos. 2008. Biodiesel: Possibilidades e desafios. *Química Nova Escola* 28:3-8
- Ortega, L.A., C.J. Hernández, y C.G. Gutiérrez. 2010. La administración oral de glicerol después de la inseminación incrementa el porcentaje de concepción en vacas Holstein. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.* 1:69-74.
- Parsons, G.L., M.K. Shelor, and J.S. Drouillard. 2009. Performance and carcass traits of finishing heifers fed crude glycerin. *J. Anim. Sci.* 87:653-657. doi:10.2527/jas.2008-1053
- Posada, D.J.A., y A.C.A. Cardona. 2010. Análisis de la refinación de glicerina obtenida como coproducto en la producción de biodiésel. *Ingen. Universidad* 14(1):9-27.
- Pradima, J., M.R. Kulkarni, and Archana. 2017. Review on enzymatic synthesis of value added products of glycerol, a by-product derived from biodiesel production. *Res.- Efficient Technol.* 3:394-405. doi:10.1016/j.refit.2017.02.009
- Quispe, C.A.G., C.J.R. Coronado, and J.A. Carvalho. 2013. Glycerol: Production, consumption, prices, characterization and new trends in combustion. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 27:475-493. doi:10.1016/j.rser.2013.06.017
- Rémond, B., E. Souday, and J.P. Jouany. 1993. In vitro and in vivo fermentation of glycerol by ruminal microbes. *Anim. Feed Sci. Technol.* 41(2):121-132. doi:10.1016/0377-8401(93)90118-4
- Santos, J.E., T.R. Bilby, W.W. Thatcher, C.R. Staples, and F.T. Silvestre. 2008. Long chain fatty acids of diet as factors influencing reproduction in cattle. *Reprod. Domest. Anim.* 43(suppl2):23-30. doi:10.1111/j.1439-0531.2008.01139.x
- Schröder, A., and K.H. Südekum. 1999. Glycerol as a by-product of biodiesel production in diets for ruminants. The Regional Institute online publishing, AUS. <http://www.regional.org.au/au/gcirc/1/241.htm> (accessed Jun. 2, 2019).
- Silva, L.G., J.A. Torrecilhas, M.G. Ornaghi, C.E. Eiras, R.M. Prado, and I.N. Prado. 2014. Glycerin and essential oils in the diet of nellore bulls finished in feedlot: animal performance and apparent digestibility. *Acta Sci. Anim. Sci.* 36:177-184. doi:10.4025/actascianimsci.v36i2.23089
- Spicer, L.J., and S.E. Echternkamp. 1995. The ovarian insulin and insulin-like growth factor system with an emphasis on domestic animals. *Domest. Anim. Endocrinol.* 12:223-245. doi:10.1016/0739-7240(95)00021-6
- Staples, C.R., J.M. Burke, and W.W. Thatcher. 1998. Influence of supplemental fats on reproductive tissues and performance of lactating cows. *J. Dairy Sci.* 81:856-871. doi:10.3168/jds.S0022-0302(98)75644-9
- Stelmachowski, M. 2011. Utilization of glycerol, a by-product of the transesterification process of vegetable oils: A review. *Ecol. Chem. Engin. Soc.* 18(1):9-30.
- Südekum, K.H. 2007. Co-products from biodiesel production. *Recent Adv. Anim. Nutr.* 1:201-219.
- Tan, K.T., K.T. Lee, A.R. Mohamed, and S. Bhati. 2009. Palm oil: Addressing issues and towards sustainable development. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 13:420-427. doi:10.1016/j.rser.2007.10.001

- Thompson, J.J., and B.B. He. 2006. Characterization of crude glycerol from biodiesel production from multiple feedstocks. *App. Eng. Agric.* 22:261-265. doi:10.13031/2013.20272
- Titgemeyer, E.C., and C.A. Löest. 2001. Amino acid nutrition: Demand and supply in forage-fed ruminants. *J. Anim. Sci.* 79(ESuppl):E180-E189. doi:10.2527/jas2001.79E-SupplE180x
- Trabue, S., K. Scoggin, S. Tjandrakusuma, M.A. Rasmussen, and P.J. Reilly. 2007. Ruminal fermentation of propylene glycol and glycerol. *J. Agric. Food Chem.* 55:7043-7051. doi:10.1021/jf071076i
- Van Cleef, E.H., J.M. Bertocco, D.S. Da-Silva, P. D'aurea, V.C.F. Scarpino, y R.M. Patiño. 2014. Glicerina cruda en la dieta de bovinos: efecto sobre los parámetros bioquímicos séricos. *RECIA* 6:86-102. doi:10.24188/recia.v6.n1.2014.207
- Van-Cleef, E.H.C.B., J.B.D. Sancarari, Z.F. Silva, A.P. D'Aurea, V.R. Fávaro, F.O.S. Van-Cleef, A.C. Homem, and J.M.B. Ezequiel, 2016. High concentrations of crude glycerin on ruminal parameters, microbial yield, and *in vitro* greenhouse gases production in dairy cows. *Can. J. Anim. Sci.* 96:461-465. doi:10.1139/cjas-2015-0170
- Vinhas, R.F., e D. Rondina. 2013. Alternativas de uso de subproductos da cadeia do biodiesel na alimentação de ruminantes: glicerina bruta. *Acta Vet. Bras.* 7(2):91-99. doi:10.21708/avb.2013.7.2.2801
- Viñoles, C., M. Forsberg, G.B. Martin, C. Cajarville, J. Repetto, and A. Meikle. 2005. Short-term nutritional supplementation of ewes in low body condition affects follicle development due to an increase in glucose and metabolic hormones. *Reproduction* 129:299-309. doi:10.1530/rep.1.00536
- Waldroup, P.W. 2007. Biofuels and broilers – competitors or cooperators? University of Minnesota, MN, USA. https://www.biofuelscoproducts.umn.edu/sites/biodieselfeeds.cfans.umn.edu/files/cfans_asset_428407.pdf (accessed Sep. 12, 2018).
- Wang, C., Q. Liu, W.J. Huo, W.Z. Yang, K.H. Dong, Y.X. Huang, and G. Guo. 2009. Effects of glycerol on rumen fermentation, urinary excretion of purine derivatives and feed digestibility in steers. *Livest. Sci.* 121:15-20. doi:10.1016/j.livsci.2008.05.010