



EL GLICEROL EN LA ALIMENTACIÓN DE ANIMALES RUMIANTES: VENTAJAS DE SU UTILIZACIÓN

GLYCEROL IN THE DIET OF RUMINANT ANIMALS: ADVANTAGES OF ITS USE

✉ A. DELGADO*, ✉ JUANA L. GALINDO

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

* Email: alvaro85.del@gmail.com

Se profundiza en algunos temas relacionados con el uso de glicerol en la alimentación de rumiantes. Se tratan las vías principales para la obtención del glicerol y se caracterizan sus propiedades. Se resalta su valor energético por la importancia que tiene su inclusión en las dietas destinadas a animales. Se refieren algunos trabajos en los que se evaluó la utilización del glicerol en bovinos de leche y de carne, así como su efecto en el consumo y los indicadores productivos. Además, se enfatiza en aspectos generales vinculados al metabolismo y se exponen las limitaciones relacionadas con su uso. Se concluye que el glicerol, que se obtiene como subproducto en la fabricación de biocombustibles, se puede incluir como concentrado energético en las dietas destinadas a rumiantes, siempre que se considere su nivel de metanol. Se recomienda el desarrollo de investigaciones futuras para demostrar sus características funcionales que permitirá la diversificación de su utilización y comercialización.

Palabras clave: glicerol, metanol, rumiantes, valor energético

This study delves into some topics related to the use of glycerol in ruminant feeding. The main ways to obtain glycerol are discussed and its properties are characterized. Its energetic value is highlighted due to the importance of its inclusion in diets for animals. Some studies are analyzed in which the use of glycerol in dairy and beef cattle was evaluated, as well as its effect on intake and productive indicators. In addition, general aspects related to metabolism are emphasized and the limitations related to its use are exposed. It is concluded that glycerol, which is obtained as a by-product in the manufacture of biofuels, can be included as an energy concentrate in diets intended for ruminants, as long as its methanol level is considered.

Keywords: glycerol, methanol, ruminants, energy value

Introducción

El encarecimiento de los combustibles fósiles (Benoit and Mottet 2023) y la capacidad de estos para generar gases contaminantes han motivado el interés para la búsqueda de fuentes de energía alternativa, sobre todo renovable. Al respecto, el biodiesel desempeña una función importante como un biocombustible producido a partir de aceites vegetales o grasas animales (Kumar Singh et al. 2024) mediante la transesterificación (Tang et al. 2024). La glicerina es el subproducto principal resultante de la producción de biodiesel (Bansod et al. 2024), por lo que el desarrollo de las industrias productoras de biocombustibles ha generado volúmenes considerables de glicerol, que se puede utilizar como ingrediente en las dietas destinadas a rumiantes (Madrid et al. 2019) y no rumiantes, entre los que

se encuentran cerdos, gallinas ponedoras y pollos de engorde (Tavernari et al. 2022). Esto contribuye a mejorar la sostenibilidad económica de la industria del biodiesel y a reducir el impacto ambiental que causan los residuos generados (Garlapati et al. 2016 and Abdul et al. 2019).

En un inicio, el glicerol se utilizó en el tratamiento de la cetosis bovina o de la toxemia de la preñez en ovejas. Sin embargo, su disponibilidad y el alto precio de los cereales condujeron a realizar estudios en los que se evaluó su efecto como componente energético de la dieta. Generalmente, el glicerol se utiliza en sustitución del grano de maíz, ya que ambos aportan cantidades similares de energía, por lo que puede ser una alternativa económicamente viable en la formulación de raciones para los rumiantes, especialmente cuando el precio del maíz se incrementa.

Recibido: 20 de septiembre de 2023

Aceptado: 26 de enero de 2024

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

Declaración de contribución de autoría CRediT: A. Delgado: **Conceptualización, Redacción-borrador original.** Juana L. Galindo: **Conceptualización, Redacción-borrador original**



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/>



El glicerol se puede usar puro o con nivel medio de pureza. Con este último se logran resultados más discretos, pero sin incurrir en el gasto que conlleva el proceso de refinado. Sin embargo, cuando se utiliza el glicerol crudo hay que tomar en cuenta la existencia de algunas impurezas que pueden reducir los efectos beneficiosos del producto e, incluso, comprometer la salud de los animales. El objetivo de esta reseña es profundizar en algunos temas relacionados con el uso del glicerol en la alimentación de rumiantes.

Obtención, propiedades y usos del glicerol

El glicerol se puede obtener de los lípidos complejos, por síntesis orgánica, mediante la fermentación de los carbohidratos o a partir de derivados sintéticos, resultantes de la refinación del petróleo. En un inicio, la vía principal de obtención de glicerol fue la saponificación de las grasas en el proceso de fabricación de jabones, hasta que comenzó el desarrollo de las empresas productoras de biocombustibles. Según [Badia-Fabregat et al. \(2019\)](#), por cada 10 kg de biodiesel se produce aproximadamente 1 kg de glicerol crudo, por medio de la esterificación de las grasas de origen vegetal o animal con el metanol.

También se pueden obtener pequeñas cantidades de glicerol a partir de las microalgas marinas, como la *Dunaliella salina* ([Celente et al. 2022](#)). Los animales tienen una fuente endógena a partir de la lipólisis del tejido adiposo o la hidrólisis de los triglicéridos de las lipoproteínas de la sangre. El glicerol resultante de la lipólisis sigue la vía de gluconeogénesis hepática y puede aportar hasta 15-20 % de las demandas totales de glucosa ([Jeon et al. 2023](#)).

El glicerol es un líquido incoloro, viscoso y casi inodoro. Es soluble en agua y alcohol e insoluble en éter y cloroformo. Actualmente, se utiliza en la industria química para la síntesis de resinas y ésteres (18 %), la industria farmacéutica (7 %), la elaboración de cosméticos (40 %), como humectante y conservante de alimentos, en la preparación de aderezos para ensaladas, coberturas de dulces y postres helados (24 %) y otros (11 %) ([Cardoso et al. 2015](#)). También se ha utilizado en la fabricación de explosivos (dinamita y nitroglicerina) ([Wu et al. 2023](#)). La contribución a la industria farmacéutica se corresponde con su empleo como componente de cápsulas, anestésicos, jarabes y antisépticos ([Wan Azelee et al. 2019](#)), mientras que en la elaboración de cosméticos mejora la suavidad, proporciona lubricación y tiene propiedad humectante.

Su efecto gluconeogénico y anticetósico explica su uso en el tratamiento de cetosis bovina ([Mammi et al. 2021](#)) y para prevenir el síndrome de hígado graso ([Zhang et al. 2023](#)). Se puede utilizar en el tratamiento de la toxemia de gestación en ovinos ([Cal-Pereyra et al. 2015](#)). Puede servir como materia prima para biopolímeros, ácidos grasos poliinsaturados, producción de etanol, hidrógeno y n-

butanol ([Garlapati et al. 2016](#)), así como en la elaboración de biosurfactantes ([Trentini Volpato et al. 2022](#)) y solcetal ([Kowalska-Kuś et al. 2020](#)).

La mayoría de los estudios con glicerol se basan en pequeñas proporciones añadidas a la dieta, debido a sus características gluconeogénicas ([Neiva et al. 2012](#) y [Soares et al. 2012](#)). Sin embargo, en los últimos años se han empleado cantidades superiores como un componente más de la dieta, debido a que los volúmenes de producción han excedido la capacidad de utilización ([Donkin 2008](#)). Esto puede constituir una vía de aumentar la eficacia biológica y financiera de la producción de biodiesel y, a la vez, se evita que pueda ser vertido al medio, convirtiéndose en otro contaminante.

El incremento en los volúmenes de producción sugiere la disminución de su precio, lo que fortalece la idea de emplearlo como sustituto de concentrados energéticos en la dieta de rumiantes ([Khalid and Al-Anbari 2024](#)). A esto se le suman otras propiedades descritas por [Schröder y Südekum \(1999\)](#), quienes se refieren a su fácil absorción en las mucosas ruminal e intestinal; además de su poder antiséptico, capaz de higienizar la ración, y su alta palatabilidad, que responde a su sabor dulce y su efecto aglomerante por ser higroscópico. Se trata de un compuesto normal del metabolismo de los rumiantes, que se encuentra en la sangre como en las células.

Metabolismo del glicerol

El glicerol que llega al rumen puede seguir tres destinos. Se estima que 44 % de glicerol que llega al órgano se fermenta, 43 % se absorbe a través de la pared ruminal y 13 % pasa a los compartimentos digestivos posteriores al rumen, aunque estas proporciones pueden variar ([Krehbiel 2008](#)). El exceso de glicerol se puede absorber por las mucosas ruminal e intestinal, lo que constituye una fuente gluconeogénica directa para el rumiante ([Ortega-Cerrilla et al. 2018](#)). Según [Hejna et al. \(2016\)](#), como resultado de la fermentación microbiana de glicerol, se podrían obtener varios compuestos químicos, como ácido propiónico, ácido succínico, butanol, propanodiol, dihidroxiacetona, entre muchos otros.

Según [Cabrera-Cruz \(2019\)](#), la sustitución del glicerol por maíz en la dieta no genera efecto negativo en la ecología del rumen, aun cuando existe una modificación en la síntesis de ácidos grasos volátiles. El glicerol es capaz de aumentar la producción total de los ácidos grasos volátiles, *in vivo* ([Rémond et al. 1993](#) y [Wang et al. 2009a](#)) y también *in vitro* ([Trabue et al. 2007](#)). Además de que aumenta, fundamentalmente, la producción de ácido propiónico ([Wang et al. 2009a](#) y [Chanjula et al. 2016](#)). Puede entrar en la vía glucolítica y se convierte en piruvato, que genera propionato por dos rutas diferentes: el succinato o el acrilato. Esto justifica el aumento de propionato, al añadir glicerol a la dieta de rumiantes ([Cardoso et al. 2015](#)).

La incorporación de glicerol a la dieta también puede aumentar la producción de ácido butírico (Kupezyński *et al.* 2020), y de propiónico y butírico (Van Cleef *et al.* 2016 and Madrid *et al.* 2019) con disminución en el acético (Chanjula *et al.* 2016), lo que contribuye a la disminución en la relación acético: propiónico (Wang *et al.* 2009a). La mayoría del glicerol se fermenta a ácidos grasos volátiles a través de la vía glucolítica, con una pequeña producción de ácido láctico (Trabue *et al.* 2007).

Si se tiene en cuenta que el propiónico como el propio glicerol son potentes agentes neoglucogénicos (McWilliams 2023), es razonable emplear el glicerol como suplemento energético para la producción de leche en el período de transición. Incluso, podría ser hasta más recomendable que otras fuentes energéticas porque está en ventaja metabólica con respecto a sus contrapartes tradicionales, sobre todo propionato y propilenglicol, debido a que entra en la gluconeogénesis a nivel de la fosfato-isomerasa, metabólicamente más cerca de la glucosa (Wang *et al.* 2021).

El propiónico y el glicerol se absorben y llegan al hígado por la vena porta para su posterior conversión a glucosa (Arias-Islas *et al.* 2020). Según Lei and Simões (2021), el propiónico que se produce por la fermentación ruminal, es el principal sustrato para la gluconeogénesis, en vacas lecheras de alta producción. Por esta vía se llega a obtener entre el 50 y 60 % del total de glucosa que se requiere. La producción de propiónico en el rumen es mayor en los animales que consumen concentrado, que en los que consumen forraje. Por lo que, en animales en pastoreo la suplementación con glicerol podría aumentar la eficiencia energética (Huerta-Jiménez *et al.* 2018).

Según estudios realizados por Rémond *et al.* (1993), los índices máximos de desaparición del glicerol en rumen, determinados por fermentadores *in vitro* es de 0.52 a 0.62 g.h⁻¹. Otros datos sugieren que, con una dosis de 240 g de glicerol, las tasas de desaparición en el rumen se encuentran entre 1.20 y 2.40 g.h⁻¹. En estudios donde se suplementó con niveles entre 15 y 25 % de glicerol, la mayoría desapareció en seis horas (Bergner *et al.* 1995). Según Donkin (2008), entre el 50 y el 70 % del glicerol desaparece del rumen a las cuatro horas.

Por otro lado, los estudios realizados por Chanjula *et al.* (2016), redujeron los niveles de nitrógeno amoniacal en rumen al incorporar 6 % de glicerol en la dieta. Sin embargo, Correa y Moreno (2019) no modificaron el contenido de nitrógeno ureico en sangre.

Efecto del empleo de glicerol en la ingestión de materia seca

Los trabajos donde se empleó el glicerol, mostraron resultados variables en relación a la ingestión de materia seca (IMS). En algunos estudios no se modificó este

indicador con la inclusión de glicerol en la dieta (Moriel *et al.* 2011 and Van Cleef *et al.* 2014). Sin embargo, Bodarski *et al.* (2005) informaron incrementos del consumo en aproximadamente 2 kg de MS a los 70 d, mientras que Ogborn (2006) observó un efecto depresivo en la etapa de posparto, Ladeira *et al.* (2016) en toros jóvenes cuando utilizó 18 % y Chanjula *et al.* (2016) usó 6 % en cabras.

El consumo de MS, también se modificó en los trabajos realizados por Shin *et al.* (2012) al emplear el glicerol. Además, obtuvieron un efecto de los niveles de incorporación del producto, con los valores más elevados del 5 % (28.40 kg.d⁻¹). Neiva *et al.* (2012) tampoco modificaron este indicador dentro de la misma categoría (vacas y novillos), pero al comparar las vacas con los novillos observaron una reducción en el consumo para estos últimos, cuando se utilizó el glicerol a razón de 6 y 12 % de la MS.

Utilización del glicerol en la dieta animal como aditivo energético

Según Donkin *et al.* (2009) la energía que aporta el glicerol es similar a la del almidón del maíz, cuando se emplea en vacas lecheras. No obstante, el valor energético del glicerol, depende de su grado de pureza, del porcentaje que representa con relación al total de materia seca (MS) y del contenido de almidón del concentrado que se emplea. Schröder y Südekum (1999) determinaron la energía neta de lactancia del glicerol y obtuvieron valores de 2.30 Mcal.kg⁻¹ cuando se ofrece en las dietas bajas en almidón, y entre 1.91 y 2.03 Mcal.kg⁻¹ cuando se incorporan a dietas ricas en almidón.

La producción de biodiesel genera subproductos con uso potencial en la alimentación animal (de Souza *et al.* 2014). En este grupo se destaca el glicerol, que se puede utilizar como fuente de energía (Soares *et al.* 2012). Se ha utilizado en dietas destinadas a cerdos (Martínez-Miró *et al.* 2021, Dahmer *et al.* 2022 and Li *et al.* 2022) y a pollos de engorde (Liu *et al.* 2020).

No obstante, la mayor parte de los estudios realizados va encaminada a la alimentación de animales rumiantes. Sotgiu *et al.* (2021) lo emplearon en ovinos y Chanjula *et al.* (2016) en cabras. Prado *et al.* (2015) y Ladeira *et al.* (2016) lo utilizaron en toros. Asimismo, Moriel *et al.* (2011) lo aplicaron en la alimentación de novillas de reemplazo en razas destinadas a la producción de carne. Correa y Moreno (2019) estudiaron su efecto en vacas Holstein.

Son varios los trabajos que incluyen el glicerol en la dieta de vacas lecheras altas productoras en el período de transición (Bodarski *et al.* 2005, Chung *et al.* 2007 and Wang *et al.* 2009b). Algunos estudios refieren su uso con alto nivel de pureza (Donkin *et al.* 2009 y Carvalho *et al.* 2011) o crudo (Neiva *et al.* 2012). En otros trabajos realizados con toros Holando, el glicerol se utilizó como

sustituto del grano de maíz en la ración de vacas lecheras (Donkin *et al.* 2009 y Carvalho *et al.* 2011) y en engorde (Mach *et al.* 2009). También se empleó en la elaboración de activadores ruminales para la producción de carne vacuna en sistemas de alimentación con materiales fibrosos (Iriñiz *et al.* 2011).

De Frain *et al.* (2004) estudiaron diferentes niveles de inclusión de glicerol en la dieta, a razón de 430 y 860 g. vaca⁻¹. d⁻¹. Bodarski *et al.* (2005) lo hicieron en dosis de 300 y 500 mL, mientras que Ogborn (2006) incluyó 504 g.vaca⁻¹.d⁻¹. Cantidades inferiores evaluaron Chung *et al.* (2007), al suministrar 250 g.vaca⁻¹.d⁻¹. Wang *et al.* (2009b) introdujeron 100 y 300 g.vaca⁻¹.d⁻¹, y Lounglawan *et al.* (2011) trabajaron con 150 y 300 g.vaca⁻¹.d⁻¹.

Donkin *et al.* (2009) utilizaron niveles de glicerol entre 5 y 15 % de la MS. Carvalho *et al.* (2011) lo incluyeron en 11.50 y 10.80 % para el parto y postparto, respectivamente. Niveles similares, de 0 a 12 %, utilizaron Mach *et al.* (2009) en la dieta. Sin embargo, otros estudios los superaron. D'Aurea *et al.* (2017) aplicaron hasta 20 % en combinación con urea para evaluar algunos parámetros ruminales y el comportamiento de la masa microbiana,

Neiva *et al.* (2012) adicionaron hasta 24 % en dietas para novillos y vacas de razas lecheras. Van Cleef *et al.* (2014) incluyó hasta 30 % en la alimentación de toros Nelore confinados.

Según Ortega-Cerrilla *et al.* (2018), los resultados que se obtuvieron con el empleo de glicerol dependen de la calidad de la dieta base, del grado de pureza y el nivel de inclusión. Precisamente, esta última es una de las principales interrogantes que genera la utilización de dicho producto. Por lo general, se emplea en cantidades próximas al 10 %. Según Donkin (2008), el glicerol se debe utilizar por lo menos en 10 % de la MS en las dietas para vacas lecheras. Shin *et al.* (2012) plantearon que obtuvieron éxito en el empleo de dietas para vacas lecheras, cuyo contenido de glicerol fue entre 5 y 15 % de la MS total. Sin embargo, el empleo de 15 % de glicerol en vacas lecheras en mitad de la lactancia puede ir acompañado de la disminución transitoria en el consumo de alimento (Donkin *et al.* 2009).

Efecto del glicerol en la digestibilidad de la dieta

Los estudios realizados por Schröder y Südekum (1999) demostraron que el efecto del glicerol en la digestibilidad de la dieta está determinado por la cantidad de almidón contenido en la misma. Por lo general, cuando se utilizan dietas con alto contenido de almidón se reduce la digestibilidad de la pared celular.

Otros estudios informan que no hubo modificación en la digestibilidad de la fibra (Hess *et al.* 2008) con el uso de glicerol. Wang *et al.* (2009a) lograron aumentar la digestibilidad de la materia orgánica y proteína bruta con el incremento en la suplementación del glicerol hasta un nivel

medio de 200 g.animal⁻¹.d⁻¹, pero al continuar con el incremento en los niveles de glicerol, las digestibilidades disminuyeron levemente. En estudios realizados por van Cleef *et al.* (2014) también se demostró incremento de la digestibilidad de la proteína bruta con reducción en la digestibilidad de la fibra neutro detergente, como resultado de una disminución en la digestibilidad de la hemicelulosa, al utilizar 30 % de glicerol en la dieta. Chanjula *et al.* (2016) redujeron la digestibilidad de la dieta al utilizar 6 % de glicerol.

Efecto del glicerol en el peso vivo y condición corporal

Son varios los autores que refieren no haber encontrado diferencias en el peso vivo y la condición corporal (Carvalho *et al.* 2011, Moriel *et al.* 2011 and Shin *et al.* 2012). Sin embargo, Bodarski *et al.* (2005) apreciaron efecto positivo del glicerol en la condición corporal al final del período de evaluación. Wang *et al.* (2009b) informan su efecto en la ganancia de peso vivo, al igual que Donkin *et al.* (2009) al suministrar 10 y 15 % de glicerol en la dieta. Neiva *et al.* (2012), Van Cleef *et al.* (2014), Chanjula *et al.* (2016) y Ladeira *et al.* (2016) no modificaron la ganancia de peso con el empleo de glicerol.

Efecto del glicerol en la calidad de la carne

En los estudios realizados por Lammer *et al.* (2015), la calidad de la canal no se afectó al utilizar glicerol en cerdos. Sin embargo, se incrementó el nivel de ácidos grasos monoinsaturados en el tejido adiposo, al aumentar el contenido de este producto en la dieta.

En vacunos tampoco hubo grandes modificaciones al incluir el glicerol. Elam *et al.* (2008) verificaron que la adición de hasta 15 % en novillas cruzadas no afecta la deposición de grasa intramuscular y el rendimiento de carne. No se modificaron el área del músculo Longissimus dorsi (LD) y su contenido de grasa en los estudios realizados por Mach *et al.* (2009), quienes utilizaron 12.1 %. De igual manera, Prado *et al.* (2015) no refirieron afectaciones en el área y la composición del LD, lo mismo con el espesor de la grasa dorsal y algunos indicadores de la calidad de la carne (marmoleo, textura y color).

No obstante a lo anterior, Van Cleef *et al.* (2014) incrementaron los niveles de grasa en la canal y Ladeira *et al.* (2016) favorecieron el veteado de la carne con el empleo de glicerol.

Efecto del glicerol en la producción de leche

Según Ogborn (2006), los efectos del glicerol en la producción de leche se observan cuando se emplean niveles superiores al 6 %. Esto puede explicar que no se modifique este indicador en los trabajos realizados por Chung *et al.* (2007) y Lounglawan *et al.* (2011). Sin embargo, Bodarski *et al.* (2005) incrementaron la producción de leche con

pequeñas dosis de glicerol, lo que pudo estar relacionado con el aumento en el consumo de MS, aunque *Shin et al. (2012)* aumentaron el consumo de materia seca, sin modificar la producción de leche.

También se incrementó la producción de leche en experimentos realizados por *Khalid and Al-Anbari (2024)* y *Correa y Moreno (2019)*. En tanto, *Donkin et al. (2009)*, *Wang et al. (2009b)* y *Carvalho et al. (2011)* no informan modificaciones.

Bonis et al. (2022) obtuvieron incremento en la producción de leche de 155.91 % en vacas multíparas Siboney de Cuba, que estuvieron en pastoreo de pasto pitilla (*Sporobolus indicus* (L.) R. Br) cuando emplearon el glicerol, obtenido del proceso de fabricación del biodiesel de *Jatropha curcas*.

Efecto del glicerol en la composición de la leche

Los componentes de la leche, por lo general, no se afectan con la utilización del glicerol (*Carvalho et al. 2011* and *Kupczyński et al. 2020*). No obstante, pueden existir algunas modificaciones en la grasa y la proteína. *Bodarski et al. (2005)* obtuvieron incrementos en la proteína con el aumento del glicerol en la dieta, mientras que *Wang et al. (2009b)* registraron disminución.

Otro indicador que puede variar es el contenido de grasa. *Shin et al. (2012)* constataron los valores superiores de cantidad y concentración de grasa, al emplear 5 % de glicerol. Lo mismo ocurrió en los estudios realizados por *Correa y Moreno (2019)*. Sin embargo, la incorporación de glicerol en la dieta redujo la proporción de grasa en la leche, según refieren *Lounglawan et al. (2011)*. En estudios de *Donkin et al. (2009)* se registró disminución del contenido de urea.

Limitaciones principales del uso de glicerol

La limitación principal del glicerol derivado de la industria del biodiesel es su contenido de metanol. También pueden influir negativamente otras impurezas, como jabones, sodio y el dietilen-glicol. El metanol y el dietilen-glicol son potentes tóxicos tisulares. Sin embargo, una vaca lechera de 600 kg de peso vivo, es capaz de consumir 7.44 mg de metanol, o sea, 1.24 % por cada kg de peso vivo y convertirlo en H₂O y CO₂. Esto se debe a que, en condiciones normales, bacterias metanogénicas del rumen lo transforman en metano (*Soares et al. 2012*). El efecto tóxico y limitante del consumo del metanol se comprueba con mayor frecuencia en animales monogástricos o pre rumiantes (terneros).

Existen límites para la proporción de metanol en el glicerol, que serán utilizados en la alimentación animal. Estudios realizados por la *Food and Drug Administration* de los EE.UU. (FDA - EUA) indican que niveles de metanol superiores a 150 p.p.m. se pueden considerar no aptos para

la alimentación animal. Niveles más altos se han establecido en Alemania, donde se definió un límite máximo de 5 000 p.p.m. (*Sellers 2008*).

El metanol se metaboliza en el hígado, pasa a 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 (*Soares et al. 2012*). Los efectos relacionados con la intoxicación por metanol se manifiestan con daños en el nervio óptico, perturbaciones neurológicas y a nivel renal, así como degeneración de la grasa del hígado.

Según *Soares et al. (2012)*, los metales pesados y el nivel de sodio también podrían limitar su uso en la dieta. El exceso de sodio reduce el consumo y el rendimiento animal. Además, aumenta la incidencia y severidad del edema de la ubre, principalmente en novillas de parto.

Para evitar los efectos perjudiciales de las impurezas, algunos autores recomiendan la purificación del producto. Sin embargo, este proceso tiene un costo elevado (*Chol et al. 2018*), por lo que hay que valorar si resulta rentable y hasta qué punto es más factible purificar. Evaluaciones de esta glicerina, probadas por *Schröder y Südekum (1999)* y *Thompson y He (2006)* indicaron contenidos en el orden de 63 a 76 % de glicerol en glicerina bruta de baja purificación. El contenido de glicerol aumenta a 85 % en purificaciones medias, con importante reducción de los contenidos de metanol, que termina por ser menor al 0.50 % y puede llegar a 99 % de glicerol, cuando se continúa el proceso de purificación (*Schröder y Südekum 1999*).

Consideraciones generales

En la actualidad, las empresas productoras de biocombustibles constituyen la fuente principal de glicerol. Su bajo costo, alta palatabilidad, efecto gluconeogénico y contenido energético son algunas de las propiedades que avalan su utilización como alimento animal. Varias investigaciones demuestran resultados prometedores con la utilización de este subproducto como fuente energética alternativa en la alimentación de rumiantes.

La inclusión del glicerol en la dieta de animales rumiantes pudiera mejorar el valor de la carne y la grasa de la leche al incrementar las propiedades anti-cancerígenas, anti-diabetogénicas y anti-dipogénicas por la presencia del ácido linoleico conjugado. Estas razones lo ubican como un producto con características funcionales. El desarrollo de investigaciones futuras que lo demuestren permitirá la diversificación de su utilización y comercialización.

Referencias

Abdul Raman, A.A., Tan, H.W. & Buthiyappan, A. 2019. Two-Step Purification of Glycerol as a Value Added by Product From the Biodiesel Production Process. *Frontiers in Chemistry*, 7: 774, ISSN: 2296-2646. <https://doi.org/10.3389/fchem.2019.00774>.

- Arias-Islas, E., Morales-Barrera, J., Prado-Rebolledo, O., & García-Casillas, A. 2020. Metabolism in ruminants and its association with blood biochemical analytes. *Abanico Veterinario*, 10(1), ISSN: 2007-428X.
- Badia-Fabregat, M., Rago, L., Baeza, J.A. & Guisasola, A. 2019. Hydrogen Production from Crude Glycerol in an Alkaline Microbial Electrolysis Cell. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44: 17204–17213, ISSN: 0360-3199. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.03.193>.
- Bansod, Y., Crabbe, B., Forster, L., Ghasemzadeh, K. & D'Agostino, C. 2024. Evaluating the environmental impact of crude glycerol purification derived from biodiesel production: A comparative life cycle assessment study. *Journal of Cleaner Production*, 437: 140485, ISSN: 1879-1786. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.140485>
- Benoit, M. & Mottet, A. 2023. Energy scarcity and rising cost: Towards a paradigm shift for livestock. *Agricultural Systems*, 205: 103585, ISSN: 0308-521X. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103585>
- Bergner, H., Kijora, Claudia., Ceresnakova, Zusana. & Szakacs, J. 1995. In vitro investigation on the glycerol transformation Rumen Microbes. *Archiv für Tierernaehrung*, 48(3): 245-256, ISSN: 1477-2817. <https://doi.org/10.1080/17450399509381845>.
- Bodarski, R., Wertelecki, T., Bommer, F. & Gosiewski, S. 2005. The changes of metabolic status and lactation performance in dairy cows under feeding tmr with glycerin (glycerol) supplement at periparturient period. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities*, 8(4): 22, ISSN: 1505-0297. <http://www.ejpau.media.pl/volume8/issue4/art-22.html#:~:text=In%20presented%20conditions%20a%20glycerin,fat%20tissue%20lipolysis%20in%20this>.
- Bonis, R., Sotolongo, J.A., Galindo, J., García López, R. & Ortiz, A. 2022. Utilización del glicerol como aditivo en la dieta de vacas lecheras Siboney. VII Congreso Internacional de Producción Animal. AGROPAT 2022.
- Cabrera-Cruz, M.A. 2019. Metabolismo del glicerol en rumiantes. *AgroProductividad*, 12(4): 81-85, ISSN: 2594-0252. <https://doi.org/10.32854/agrop.v0i0.306>.
- Cal-Pereyra, L., González-Montaña, J.R., Benech, A., Acosta-Dibarrat, J., Martín, M.J., Perini, S., Abreu, M.C., Da Silva, S. & Rodríguez, P. 2015. Evaluation of three therapeutic alternatives for the early treatment of ovine pregnancy toxemia. *Irish Veterinary Journal*, 68: 25, ISSN: 2046-0481. <https://doi.org/10.1186/s13620-015-0053-2>.
- Cardoso, Elizângela O., de Santana, H.A., Fernandes, Zeliana., Carvalho, A.H., dos Santos, Marilene., Lucas, M.E., Borges, C. & Souza, M. 2015. Utilização da glicerina na dieta de vacas lactantes em pastagens. *Revista Eletrônica Nutritime*, 12(1): 3857-3878, ISSN: 1983-9006.
- 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: 1525-3198. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3581>.
- Celente, G.S., Medianeira Rizzetti, T., Sui, Y., Schneider, R.C.S. 2022. Potential use of microalga *Dunaliella salina* for bioproducts with industrial relevance. *Biomass and Bioenergy*, 167: 106647. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2022.106647>.
- Chanjula, P., Pongprayoon, S., Kongpan, S. & Cherdthong, A. 2016. Effects of crude glycerin from waste vegetable oil supplementation on feed intake, ruminal fermentation characteristics, and nitrogen utilization of goats. *Tropical Animal Health and Production*, 48(5): 995–1004, ISSN: 1573-7438. <https://doi.org/10.1007/s11250-016-1047-0>.
- Chol, Ch.G., Dhabhai, R., Dalai, A. & Reaney, K.M. 2018. Purification of crude glycerol derived from biodiesel production process: Experimental studies and techno-economic analyses. *Fuel Processing Technology*, 178: 78-87, ISSN: 0378-3820. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2018.05.023>
- Chung, Y.H., Rico, D.E., Martinez, C.M., Cassidy, T.W., Noirot, V., Ames, A. & Varga, G.A. 2007. Effects of Feeding Dry Glycerin to Early Postpartum Holstein Dairy Cows on Lactational Performance and Metabolic Profiles. *Journal of Dairy Science*, 90(12): 5682-5691, ISSN: 1525-3198. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0426>.
- Correa, C. & Moreno, L. 2019. Evaluación de la producción de leche, nitrógeno ureico en sangre y algunos componentes de la leche en vacas holstein suplementadas con glicerol y palmiste en la dieta. *Revista colombiana de zootecnia*, 5(10), ISSN: 2462-8050. <https://anzoo.org/publicaciones/index.php/anzoo/article/view/95/91>.
- Dahmer, P.L., Harrison, O.L., & Jones, C.K. 2022. Effects of formic acid and glycerol monolaurate on weanling pig growth performance, fecal consistency, fecal microbiota, and serum immunity. *Translational Animal Science*, 6(4): txac145, ISSN: 2573-2102. <https://doi.org/10.1093/tas/txac145>.
- D'Aurea, A.P., Ezequiel, J.M.B., D'Aurea, E.M.O., Santos, V.C., Fávoro, V.R., Homem Júnior, A.C., Almeida, M.T.C. & Perez, H.L. 2017. Glicerina bruta associada à ureia na terminação de bovinos: consumo, desempenho e características da carne. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 69(1): 165-172, ISSN: 1678-4162. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-8895>.
- De Souza, A., Ribeiro, J., Lopes, M., Moletta, J.L., Los, S. & Breno, V. 2014. Glycerol inclusion levels in corn and sunflower silages. *Ciência e Agrotecnologia*, 38(5):

- 497-505, ISSN: 1981-1829. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542014000500009>.
- Donkin, S.S. 2008. Glycerol from biodiesel production: the new corn for dairy cattle. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37(spe): 280-286, ISSN: 1806-9290. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982008001300032>.
- Donkin, S.S., Koser, S.L., White, H.M., Doane, P.H. & Cecava, M.J. 2009. Feeding value of glycerol as a replacement for corn grain in rations fed to lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 92(10): 5111-5119, ISSN: 1525-3198. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2201>.
- Elam, N.A., Eng, K.S., Bechtel, B., Harris, J.M. & Crocker, R. 2008. Glycerol from biodiesel production: considerations for feedlot diets. Proceedings of the Southwest Nutrition Conference. 21 February 2008. Tempe, AZ, USA. 2-6 p.
- Garlapati, V.K., Shankar, U. & Budhiraja, A. 2016. Bioconversion technologies of crude glycerol to value added industrial products. *Biotechnology Reports*, 9: 9–14, ISSN: 2215-017X. <http://dx.doi.org/10.1016/j.btre.2015.11.002>.
- Hejna, A., Kosmela, P., Formela, K., Piszczyk, Ł. & Haponiuk, J.T. 2016. Potential applications of crude glycerol in polymer technology—Current state and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 66: 449–475, ISSN: 2377-8342. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.020>.
- Hess, B.W., Lake, S.L. & Gunter, S.A. 2008. Using glycerin as a supplement for forage-fed ruminants. In: Symposium Ruminant Nutrition Glycerin as Feed for Ruminants (19th). Available at: <http://www.adsa.asas.org/meetings/2008/abstracts/0392.pdf> [Consulted: January 10, 2022].
- Huerta-Jiménez, M., Ortega-Cerrilla, M.E., Herrera-Haro, J.G., Kawas-Garza, J.R., Díaz-Cruz, A., Nava, C., Hernández-Sánchez, D., Ortega-Jiménez, E. & Alarcón-Rojo, A.D. 2018. Relationship between glycerol administration to livestock 24 h before sacrifice and indicators of physiological and oxidative stress. *Journal of Animal Behavior and Biometeorology*, 6: 116-123, ISSN: 2318-1265. <https://doi.org/10.31893/2318-1265jabb.v6n4p116-123>
- Iriñiz, J., Elias, A., Michelena, J.B., Galindo, J. & Chilibroste, P. 2011. Uso de activadores ruminales con glicerol en el comportamiento productivo de novillos Hereford alimentados con paja de arroz. Alpa. Montevideo, Uruguay.
- Jeon, Y.G., Kim, Y.Y., Lee, G., & Kim, J.B. 2023. Physiological and pathological roles of lipogenesis. *Nature Metabolism*, 5(5): 735-759, ISSN: 2522-5812. <https://doi.org/10.1038/s42255-023-00786-y>.
- Johnson, R.B. 1957. The effect of glycerol on carbohydrate metabolism: The rate of absorption and conversion to glucose and glycogen. *Journal of Biological Chemistry*, 200(1): 1-8. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(18\)64723-4](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(18)64723-4).
- Khalid, W.A. & Al-Anbari, N.N. 2024. Effect of glycerol on performance and some blood characteristics of Holstein calves. *Iraqi Journal of Agricultural Sciences*, 55(1): 382-391, ISSN: 2410-0862. <https://doi.org/10.36103/731zw966>".
- Kowalska-Kuś, J., Held, A. & Nowińska, K. 2020. A continuous-flow process for the acetalization of crude glycerol with acetone on zeolite catalysts. *Chemical Engineering Journal*, 401: 126143, ISSN: 1873-3212. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.126143>.
- Krehbiel, C.R. 2008. Ruminant and physiological metabolism of glycerin. *Journal of Animal Science*, 86(E-suppl. 2): 392, ISSN: 1525-3163. <https://www.adsa.org/Portals/0/SiteContent/Docs/Meetings/PastMeetings/Annual/2008/0392.PDF>.
- Kumar Singh, Sh., Chauhan, A. & Sarkar, B. 2024. Resilience of sustainability for a smart production system to produce biodiesel from waste animal fat. *Journal of Cleaner Production*, 452: 142047, ISSN: 1879-1786. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142047>.
- Kupczyński, R., Szumny, A., Wujcikowska, K., & Pachura, N. 2020. Metabolism, ketosis treatment and milk production after using glycerol in dairy cows: A review. *Animals*, 10(8): 1379, ISSN: 2076-2615. <https://doi.org/10.3390/ani10081379>.
- Ladeira, M.M., Carvalho, J.R.R., Chizzotti, M.L., Teixeira, P.D., Dias, J.C.O., Gionbelli, T.R.S., Rodrigues, A.C. & Oliveira, D.M. 2016. Effect of increasing levels of glycerin on growth rate, carcass traits and liver gluconeogenesis in young bulls. *Animal Feed Science and Technology*, 219: 241–248, ISSN: 0377-8401. <http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.06.010>.
- Lei, M.A.C., & Simões, J. 2021. Invited review: ketosis diagnosis and monitoring in high-producing dairy cows. *Dairy*, 2(2): 303-325, ISSN: 2624-862X. <https://doi.org/10.3390/dairy2020025>.
- Li, L., Wang, H., Zhang, N., Zhang, T., & Ma, Y. 2022. Effects of α -glycerol monolaurate on intestinal morphology, nutrient digestibility, serum profiles, and gut microbiota in weaned piglets. *Journal of Animal Science*, 100(3): skac046. <https://doi.org/10.1093/jas/skac046>.
- Liu, T., Tang, J., & Feng, F. 2020. Glycerol monolaurate improves performance, intestinal development, and muscle amino acids in yellow-feathered broilers via manipulating gut microbiota. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 104(23): 1-13, ISSN: 1432-0614. <https://doi.org/10.1007/s00253-020-10919-y>.
- Lounglawan, P., Lounglawan, W. & Wisitiporn, S. 2011. Effects of feeding glycerol to lactating dairy cows on milk production and composition. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 5(8): 451-453, ISSN: 1307-6892. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1055000>.

- Mach, N., Bach, A. & Devant, M. 2009. Effects of crude glycerin supplementation on performance and meat quality of Holstein bulls fed high-concentrate diets. *Journal of Animal Science*, 87(2): 632-638, ISSN: 1525-3163. <https://doi.org/10.2527/jas.2008-0987>.
- Madrid, J., Martínez, S., Villodre, C., López, M.J., Alcázar, J., Orengo, J., Ramis, G. & Hernández, F. 2019. Effect of Feeding Glycerin on Ruminant Environment and In situ Degradability of Feedstuffs in Young Bulls. *Animals*, 9(6): 359, ISSN: 2076-2615. <https://doi.org/10.3390/ani9060359>.
- Mammi, L.M.E., Guadagnini, M., Mechor, G., Cainzos, J. M., Fusaro, I., Palmonari, A., & Formigoni, A. 2021. The use of monensin for ketosis prevention in dairy cows during the transition period: a systematic review. *Animals*, 11(7): 1988, ISSN: 2076-2615. <https://doi.org/10.3390/ani11071988>
- Martínez-Miró, S., Madrid, J., López, M.J., Orengo, J., Sánchez, C.J. & Hernández, F. 2021. Feeding Crude Glycerin to Finishing Iberian Crossbred Pigs: Effects on Growth Performance, Nutrient Digestibility, and Blood Parameters. *Animals*, 11(8): 2181, ISSN: 2076-2615. <https://doi.org/10.3390/ani11082181>.
- McWilliams, C. 2023. Effect of glycerol supplementation in early lactation on metabolic health, milking activity, and production of dairy cows housed in automated milking system herds (Doctoral dissertation, University of Guelph).
- Moriel, P., Nayigihugu, V., Cappellozza, B.I., Gonçalves, E.P., Krall, J.M., Foulke, T., Cammack, K.M. & Hess, B.W. 2011. Camelina meal and crude glycerin as feed supplements for developing replacement beef heifers. *Journal of Animal Science*, 89(12): 4314-4324, ISSN: 1525-3163. <https://doi.org/10.2527/jas.2010-3630>.
- Neiva, J. N. M., Leão, J.P., Restle, J., Rodrigues, P.V., Machado, Aline E., Chaves, Fabricia R. & Missio, R.L. 2012. Consumo e desempenho de bovinos de aptidão leiteira em confinamento alimentados com glicerol. *Brazilian Animal Science*, 13(4): 421-428, ISSN: 1809-6891. <https://doi.org/10.5216/cab.v13i4.18629>.
- Ogborn, K.L. 2006. Effects of method of delivery of glycerol on performance and metabolism of dairy cows during the transition period. MS Thesis (Animal Science). Cornell University, Ithaca, NY. 154p.
- Ortega-Cerrilla, M.E., Hidalgo-Hernández, U., Herrera-Haro, J.G., Ramírez-Mella, M. & Zetina-Córdoba, P. 2018. Glicerol, una alternativa para la alimentación de rumiantes. *Agroproductividad*, 11: 124-129, ISSN: 2594-0252. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/386/272>.
- Prado, I.N., Cruz, O.T.B., Valero, M.V., Zawadzki, F., Eiras, C.E., Rivaroli, D.C., Prado, R.M. & Visentainer, J.V. 2015. Effects of glycerin and essential oils (*Anacardium occidentale* and *Ricinus communis*) on the meat quality of crossbred bulls finished in a feedlot. *Animal Production Science*, 56(12): 2105-2114, ISSN: 1836-5787. <https://doi.org/10.1071/an14661>.
- Rémond, B., Souday, E. & Jouany, J.P. 1993. In vitro and in vivo fermentation of glycerol by rumen microbes. *Animal Feed Science and Technology*, 41(2): 121-132, ISSN: 0377-8401. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(93\)90118-4](https://doi.org/10.1016/0377-8401(93)90118-4).
- Schröder, A. & Südekum, K. 1999. Glycerol as a by-product of biodiesel production in diets for ruminants. En: 10^o Rapeseed Cogress, Canberra, Australia. Available at: <http://www.regional.org.au/au/gc/1/241.htm> [Consulted: May 28, 2022].
- Sellers, R.S. 2008. Glycerin as a feed ingredient, official definition(s) and approvals. *Journal of Dairy Science*, 91(1): 392, ISSN: 1525-3198. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2022.7353>.
- Shin, J.H., Wang, D., Kim, S.C., Adesogan, A.T. & Staples, C. 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: 1525-3198. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2011-5121>.
- Soares, A., Carvalho, M.R., de Souza, M.C., de Moura, D.C. & Gomes, J. 2012. Utilização de coprodutos agroindustriais na alimentação de bovinos. XI Congresso sobre Manejo e Nutrição de Bovinos CBNA. Campinas, Sao Paulo, Brazil.
- Sotgiu, F.D., Porcu, C., Pasciu, V., Dattena, M. & Gallus, M. 2021. Towards a sustainable reproduction management of dairy sheep: glycerol-based formulations as alternative to eCG in milked ewes mated at the end of anoestrus period. *Animals*, 11(4): 922, ISSN: 2076-2615. <https://doi.org/10.3390/ani11040922>.
- Tang, H., Luo, C., Lu, H., Wu, K., Liu, Y., Zhu, Y., Wang, B. & Liang, B. 2024. Readily available, biocompatible sodium citrate catalyst for efficient glycerol carbonate production through transesterification of glycerol and ethylene carbonate. *Chemical Engineering Journal*, 481: 148552, ISSN: 1385-8947. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2024.148552>
- Tavernari, F.C., Vieira de Souza, A.R.S., Feddern, V., dos Santos Lopes, L., de Sousa Teixeira, C.J., Muller, J.A., Surek, D., Paiano, D., Goulart Petrolli, T. & Manente Boiago, M. 2022. Metabolizable energy value of crude glycerin and effects on broiler performance and carcass yield. *Livestock Science*, 263: 105017, ISSN: 1878-0490. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2022.105017>.
- Thompson, J.C. & He, B.B. 2006. Characterization of crude glycerol from biodiesel production from multiple feedstocks. *Applied Engineering in Agriculture*, 22(2): 261-265, ISSN: 1943-7838. <https://doi.org/10.13031/2013.20272>.

- Trabue, S., Scoggin, K., Tjandrakusuma, S., Rasmussen, M.A. & Reilly, P.J. 2007. Ruminal Fermentation of Propylene Glycol and Glycerol. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(17): 7043–7051, ISSN: 1520-5118. <https://doi.org/10.1021/jf071076i>.
- Trentini Volpato, C.P., Heck, M.C., Gigliolli, A.A.S., Yoshioto-Higaki, M., Godoy, M.A.F. de, Magnoni, D.M. Vicentini, V.E.P. 2022. Utilization of glycerol as substrate in the production of biosurfactant. *Research, Society and Development*, 11(6): e474111638391, ISSN: 2525-3409. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i16.38391>.
- Van Cleef, E.H.C.B., Bertocco, J.M., Pastori, A., Ruiz, V. & Dourado, J.B. 2014. Crude glycerin in diets for feedlot Nellore cattle. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 43(2): 86-91, ISSN: 1806-9290. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982014000200006>.
- Van Cleef, E.H.C.B., Sancanari, J.B.D., Silva, Z.F., D’Aurea, A.P., Favaro, V.R., van Cleef, F.O.S., Homem Júnior, A.C. & Ezequiel, J.M.B. 2016. High concentrations of crude glycerin on ruminal parameters, microbial yield, and *in vitro* greenhouse gases production in dairy cows. *Canadian Journal of Animal Science*, 96(4): 461-465, ISSN: 1918-1825. <https://doi.org/10.1139/cjas-2015-0170>.
- Wan Azelee, N.I., Mazila Ramli, A.N., Manas, N.H.A., Salamun, N., Man, R.Ch. & El Enshasy, H. 2019. Glycerol In Food, Cosmetics And Pharmaceutical Industries: Basics And New Applications. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 8(12): 553-558, ISSN: 2277-8616.
- Wang, C., Liu, Q., Huo, W.J., Yang, W.Z., Dong, K.H., Huang, Y.X. & Guo, G. 2009a. Effects of glycerol on rumen fermentation, urinary excretion of purine derivatives and feed digestibility in steers. *Livestock Science*, 121(1): 15-20, ISSN: 1871-1413. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2008.05.010>.
- Wang, C., Liu, Q., Yang, W.Z., Huo, W.J., Dong, K.H., Huang, Y.X., Yang, X.M. & He, D.C. 2009b. Effects of glycerol on lactation performance, energy balance and metabolites in early lactation Holstein dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*, 151(1-2): 12-20, ISSN: 0377-8401. <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2008.10.009>.
- Wang, K., Nan, X.M., Zhao, Y.G., Tong, J.J., Jiang, L.S., & Xiong, B.H. 2021. Effects of propylene glycol on *in vitro* ruminal fermentation, methanogenesis, and microbial community structure. *Journal of Dairy Science*, 104(3): 2924-2934, ISSN: 1525-3198. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18974>.
- Wu, S., Li, X., Geand, Zh. & Luo, Y. 2023. Study on GAP Adhesive-Based Polymer Films, Energetic Polymer Composites and Application. *Polymers*, 15(6): 1538, ISSN: 2073-4360. <https://doi.org/10.3390/polym15061538>.
- Zhang, C., Shao, Q., Liu, M., Wang, X., Loor, J.J., Jiang, Q., Cuan, Sh., Li, X., Wang, J., Li, Y., He, L., Huang, Y., Liu, G. & Lei, L. 2023. Liver fibrosis is a common pathological change in the liver of dairy cows with fatty liver disease. *Journal of Dairy Science*, 106(5): 2878-2891, ISSN: 1525-3198. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22636>.