

**Monografía: Efectos del glicerol sobre el metabolismo, parámetros sanguíneos y
composición de la leche de vacas en lactancia**

Jhon Edinsson Visbal Pinilla

**Universidad Antonio Nariño
Facultad de Medicina Veterinaria
Programa Medicina Veterinaria
Bogotá, D.C.
2020**

**Monografía: Efectos del glicerol sobre el metabolismo, parámetros sanguíneos y
composición de la leche de vacas en lactancia**

Jhon Edinsson Visbal Pinilla

Universidad Antonio Nariño

Director: Fabián Cruz

Facultad de Medicina Veterinaria

Programa Medicina Veterinaria

Bogotá, D.C.

2020

Nota de Aceptación

Presidente de Jurado

Jurado

Jurado

Fecha _____

Dedicatoria

Dedico mi monografía en primer lugar a Dios quien permitió mi evolución como profesional y quien me permitió dar día tras día todos los pasos para llegar hasta este punto.

A mis padres y hermanas que siempre estuvieron de una u otra forma como un apoyo constante todo el tiempo y me brindaron las herramientas fundamentales en el entorno familiar día a día para lograr todo lo propuesto

A mi novia Natalia quien fue un pilar de apoyo fundamental en mi evolución diaria en este camino en construcción de ser un excelente profesional, que con su amor en más de una ocasión cuando me quería rendir estuvo para mí.

A mis maestros en general que aportaron en esta construcción desde sus inicios, con sus diferentes formas de enseñar y quienes lograron cada uno a su manera dejar marcas imborrables en mi perfil profesional, excelentes profesionales y grandes personajes.

A mi abuela Marina y primo Camilo que los extraño como a nada en el mundo y quienes a pesar de ya no estar conmigo siempre van a estar presentes en este sueño, su sueño, el de el "DOCTOR"

Jhon Edinsson Visbal Pinilla

Agradecimientos

Quiero agradecer principalmente a la Universidad Antonio Nariño por abrirme sus puertas y dejarme conocer sus espacios para formarme como profesional. Además, a los maestros que hicieron parte de este recorrido, porque me transmitieron aprendizajes significativos, los cuales me convirtieron en la profesional que soy hoy en día, Y a mi familia que sin su colaboración nada de esto hubiera sido posible.

Jhon Edinsson Visbal Pinilla

Tabla de Contenido

Introducción.....	9
1. Planteamiento del Problema	10
2. Objetivos.....	13
2.1. Objetivo General	13
2.2. Objetivos Específicos	13
3. Justificación	14
4. Marco Teórico.....	15
4.1. Generalidades del Glicerol.....	15
4.2. Glicerol y Nutrición en vacas de leche	17
4.2.1. Efectos del glicerol sobre metabolitos ruminales y la digestibilidad.....	18
4.2.2. Período de Transición en Vacas lecheras.....	21
4.2.3. Efectos en vacas en transición	22
4.2.4. Balance Energético Negativo	23
4.2.5. Patología de la cetosis	24
5. Metodología.....	26
5.1. Tipo de investigación.....	26
5.2. Fuentes de información.....	26
5.3. Procedimiento	26
6. Discusión	29
6.1. Efecto de la administración de glicerol sobre los metabolitos sanguíneos y la cetosis.	29
6.2. Efecto de la administración de glicerol sobre la producción y composición de la leche.	31

6.2.1. Glicerol en la dieta de animales recién nacidos.	35
6.3. Efecto de la administración de glicerol sobre la fermentación ruminal.	36
6.4. Evaluación del glicerol en dietas.	37
6.4.1. Efecto de la administración de glicerol en la ingesta de alimento.	40
6.4.2. Efecto de la administración de glicerol sobre la digestibilidad de nutrientes.	43
Conclusiones.....	46
Recomendaciones	48
Bibliografía.....	49

Índice de Tablas

Tabla 1. Relación de las bibliografías relacionadas con los efectos del glicerol sobre los metabolitos sanguíneos.	30
Tabla 2. Relación de literatura relacionada con los efectos del glicerol sobre la producción y composición de la leche	34
Tabla 3. Relación bibliografías relacionadas con efectos del glicerol en la fermentación ruminal.	37

Introducción

El glicerol es un producto del procesamiento de grasas para la industria química y para la producción de biodiesel. La disponibilidad de glicerol como sustrato para la producción de glucosa también puede surgir como resultado del reciclaje de carbono y puede ser un precursor gluconeogénico importante a medida que rumiantes como la vaca se adapta a la lactancia.

El objetivo de este proyecto fue revisar los conceptos existentes en la literatura relacionados con el efecto del glicerol tanto en el metabolismo como en la producción de leche, la composición de la leche, el peso corporal, el puntaje de la condición corporal y algunos parámetros sanguíneos en las vacas lecheras en el período de lactancia.

También puede verse como en las vacas en transición (antes y luego del parto) se enfrentan con una reducción en el consumo, y movilizan la grasa corporal, lo que aumenta la concentración de ácidos grasos circulantes y los depósitos grasos en el hígado. Lo anterior lleva a que se presenten “trastornos metabólicos durante la transición -como hipocalcemia- puede causar una reducción en el consumo de MS” (Andersen, 2011).

Se realizó una revisión de la literatura relacionadas con el glicerol agregado a las dietas de las vacas durante el período de transición, sus efectos sobre la producción de leche y las concentraciones de glucosa y cuerpos cetónicos en plasma..

1. Planteamiento del Problema

Tanto en el tiempo de transición como en el tiempo de parto, las vacas lecheras se enfrentan a desafíos nutricionales peculiares. En general, 1 semana antes y 3 semanas después del parto, el consumo de alimento disminuye en aproximadamente un 30%, lo que hace que una vaca tenga un balance energético negativo. La glucosa es el nutriente más importante requerido para la síntesis de la leche, en donde el hígado es responsable de convertir el propionato de la fermentación ruminal a glucosa y glucógeno, de sintetizar glucosa a partir de aminoácidos glucogénicos y también de sintetizar glicerol a partir de triglicéridos adiposos.

La glucosa se utiliza para la producción de leche en la glándula mamaria. Con una baja ingesta de alimento y suministro de glucosa, la vaca lechera moviliza grandes cantidades de grasa corporal, causando acumulación de grasa en el hígado, lo que resulta en una disminución de la glucosa en sangre, una mayor producción de cuerpos cetónicos y en última instancia, cetosis. La incapacidad de las vacas lecheras para sortear el problema de la reducción del consumo de alimento hacia el parto y durante las primeras semanas de parto obliga a los nutricionistas animales a explorar métodos para superar la depresión del alimento alrededor del parto, entre otras sustancias, la vía metabólica del glicerol está mucho más cerca de la glucosa en comparación con otros precursores de ella (Fischer, Erfle, Lodge, & Sauer, 1993).

En años recientes, se ha dado una creciente demanda mundial de materias primas (maíz, trigo y oleaginosas) para usar biocombustibles (etanol y biodiésel), lo que resulta en una

mayor demanda y un aumento de los precios de los alimentos para el ganado. El principal subproducto durante la producción de biodiésel es el glicerol, que puede usarse como alimento para el ganado (Kholif, 2019). Según la consultora Grand View Research para 2019, la producción anual de glicerol crudo fue de 4300 millones de litros, mientras que la producción de biodiesel, se espera alcance los 42 mil millones de litros, representando un valor en el mercado de US\$2600 millones (Grand View Research, 2020). La producción de biodiesel representa aproximadamente el 65% de la producción mundial total de glicerol (FAO, 2016).

Los principales usuarios de glicerol purificado son la industria cosmética y farmacéutica, que utilizan alrededor del 3% al 4% de la producción total de glicerol. Esto ha obligado a los productores de glicerol a explorar nuevos mercados para este material, incluida su utilización como alimento para animales, especialmente con los recientes altos precios del maíz y los concentrados (Almeida, 2018).

En Europa, por ejemplo, su legislación aprobó el glicerol como aditivo para piensos sin restricciones en relación con las especies animales o la cantidad que se puede alimentar. Se ha informado que la producción de una tonelada de biodiesel produce alrededor de 100 kg de glicerol crudo (Castello, 2018). La composición del glicerol depende del proceso de fabricación, y pueden estar disponibles diferentes grados.

El glicerol, con su energía alta y rápida disponibilidad, se ha utilizado durante muchos años como un suplemento para aliviar la cetosis en animales lecheros (De Frain, Hippen, Kalscheur, & Jardon, 2004). Contiene aproximadamente 4,32 Mcal / kg de energía bruta y

2,27 Mcal / kg de energía neta para la lactancia (Donkin, 2009). Hay muchos experimentos sobre la utilización de glicerol, como fuente de energía alternativa, en las dietas de los animales lecheros debido a muchas preguntas sin respuesta sobre el manejo, las tasas de administración y el valor de alimentación en comparación con otros alimentos ricos en energía. Los efectos de la administración de glicerol en la dieta de los animales lactantes no son consistentes. Sin embargo, muchos experimentos informaron una disminución en el consumo de alimento en las vacas (Ezequiel, 2015), mientras parámetros como la cantidad materia seca mejorada, la digestibilidad de proteína cruda y la digestibilidad de la fibra, se reportaron con índices tendientes a la disminución en muchos experimentos (Shin, 2012).

Sin embargo, Saleem *et al.* (2018) observaron una mayor digestibilidad de la fibra con la suplementación con glicerol. Se ha observado un aumento de la producción y composición de leche con la administración de glicerol en dietas de animales lactantes; sin embargo, en la mayoría de los casos, el glicerol aumentó el contenido de grasa de la leche afectando el metabolismo.

Su amplio uso en las producciones lecheras relacionado con su aceptabilidad y efectos sobre la producción de leche han permitido generar la siguiente pregunta: ¿Cuáles son los efectos del glicerol sobre los parámetros sanguíneos en vacas lecheras? Esta revisión presentará los resultados de las investigaciones realizadas sobre su utilización en dietas permitiendo un análisis sobre su uso práctico en los animales lecheros.

2. Objetivos

2.1. Objetivo General

- Realizar una evaluación relacionada con el uso del glicerol y sus efectos sobre el metabolismo y algunos parámetros sanguíneos de vacas en lactancia mediante una revisión de literatura.

2.2. Objetivos Específicos

- Evaluar los efectos del uso del glicerol en las dietas sobre parámetros sanguíneos de vacas lecheras.
- Evaluar los efectos del uso del glicerol en las dietas de vacas sobre la composición de la leche.
- Evaluar los efectos del uso del glicerol sobre la fermentación ruminal en vacas lecheras.

3. Justificación

Satisfacer los requerimientos nutricionales de la vaca lechera de alta producción es un desafío, particularmente en el momento del parto, debido a que el consumo de alimento durante la semana antes del parto disminuye un 30% (Donkin, 2009), además típicamente, el consumo de alimento durante las primeras 5 semanas de lactancia, continúa siendo insuficiente para satisfacer las crecientes demandas de energía de la lactancia. Durante este tiempo, la vaca está en un balance energético negativo; y la producción de energía en forma de leche excede la entrada de energía en forma de alimento.

El presente estudio quiere investigar desde la literatura existente, cómo el uso del glicerol puede ser una alternativa efectiva contra la cetosis lactacional en ganado lechero, cuando se administra en la dieta y entra en la vía metabólica a generar glucosa en una ubicación diferente a la de otros precursores glucogénicos. Existen conceptos en donde la administración oral de glicerol fue más efectiva para aliviar la cetosis en comparación con el propilenglicol (Ortega, Hernández, & Gutiérrez, 2010).

La línea base con el estado del arte sobre el tema, permitirá comprender de manera holística el modo de acción que implica la alimentación con glicerol y sus efectos metabólicos y en los parámetros de la sangre. Su evaluación podría facilitar comprender los efectos que este sustrato puede tener sobre la salud y la producción de las vacas lecheras durante el parto.

4. Marco Teórico

4.1. Generalidades del Glicerol

El glicerol es un subproducto de la reacción de transesterificación y se puede clasificar en tres grupos principales: glicerol crudo, glicerol técnico y glicerol purificado. En el mercado actual, el glicerol crudo generado a partir de la producción de biodiesel se vende con una concentración de metanol del 0.3% (máximo) y una concentración de glicerol del 80% al 88% de pureza (mínima) para aplicaciones de menor grado. Tiene muy poco valor económico debido a diversas impurezas, pero puede purificarse aún más para lograr un mayor nivel de mercado (Shwe, 2015).

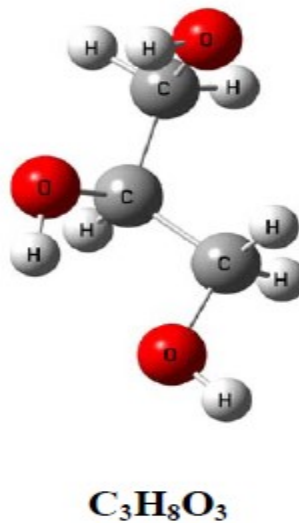
El glicerol de grado técnico se vende con una concentración de metanol de 0.1% (máximo) y una concentración de glicerol de 95% de pureza (mínima) para aplicaciones industriales. El glicerol refinado de grado United States Pharmacopeia (USP) y Food Chemicals Codex (FCC) con 99.7% de pureza (mínimo) se usa en cosméticos, productos farmacéuticos y alimentos (Quispe, 2012).

El glicerol se usa en muchas aplicaciones, desde barras energéticas hasta jarabes para la tos y selladores para revestimientos de barcos (Golami, 2014). Sin embargo, el glicerol crudo de bajo grado disponible directamente de la producción de biodiesel no se puede usar para productos alimenticios, farmacéuticos y cosméticos debido a sus impurezas asociadas. Para los productores de biodiesel a gran escala, el glicerol crudo puede purificarse por métodos convencionales en sus sitios de fabricación o enviarse a grandes refinerías para producir un coproducto de mayor grado que luego puede distribuirse en mercados para otras industrias.

Debido al excedente actual de glicerol crudo en el mercado mundial, la capacidad de las refinerías podría alcanzar sus límites de producción.

El proceso de convertir y refinar el glicerol crudo en una forma pura suele ser prohibitivo para los productores de biodiésel a pequeña y mediana escala. Por lo tanto, el desarrollo de estrategias de utilización efectivas para el glicerol crudo como la alimentación animal es una solución para los productores del biodiesel. La figura 1 muestra la estructura química del glicerol o glicerina, que es un alcohol con tres grupos hidroxilos. Es un producto de la degradación de los lípidos, paso previo para el ciclo de Krebs y también aparece como un producto intermedio de la fermentación alcohólica (Murray, 2010).

Figura 1. Estructura química del Glicerol



Fuente: Tomado de Ferretti (2010)

El glicerol es un factor estructural importante de los triglicéridos y fosfolípidos y sus propiedades glucogénicas están bien establecidas. El glicerol ingresa a la ruta metabólica a

la glucosa en un paso diferente que otros precursores glucogénicos. Por lo tanto, podría usarse como un ingrediente energético en las dietas de animales que reemplazan a los cereales. La inclusión de glicerol en la nutrición animal se ha estudiado en varias especies y los informes indican que las inclusiones moderadas no comprometen el rendimiento de los animales. En nutrición de rumiantes, también se ha confirmado que cuando las vacas usan reservas de grasa corporal como fuente de energía, se liberan glicerol y ácidos grasos en el torrente sanguíneo (Khattab, 2015). El glicerol liberado puede convertirse en glucosa por el hígado o los riñones para proporcionar energía para el metabolismo celular ingresando a las vías del metabolismo de los rumiantes (Murray, 2010).

4.2. Glicerol y Nutrición en vacas de leche

Pittaluga (2012) formuló concentrados con diferentes contenidos de glicerol (0,5%, 5%, 10%, 15%), e ingredientes como harina de trigo y soja, harinas de colza, pulpa de remolacha seca, salvado de trigo, maíz y mezclas de vitaminas y minerales, para evaluar los efectos del glicerol sobre la conservación. Se encontró que estos elementos ayudaron a la conservación e la calidad de leche, aspecto similar al reportado por Werner & Kronquist (2015), quienes usaron valores de las concentraciones de ergosterol, como un indicador químico de la biomasa fúngica. Los resultados indican que el glicerol de diferentes purezas e incluso a concentraciones tan bajas como 5% de la materia seca tuvo un efecto conservante en los concentrados granulados.

Las concentraciones de energía neta para la lactancia (ENL) de glicerol en relación con la pureza del glicerol y el contenido de glicerol en la materia seca ayudan a hacer más digeribles las dietas mixtas para rumiantes (Ayoub, 2012). Los gliceroles se mezclan con

forraje (silos de hierba marchita) y un concentrado alto en almidón. Según Lammers (2012), las dietas mixtas se pueden formular para contener (en base a materia seca) 40% de forraje, 50% de concentrado y 10% de glicerol puro, independientemente de la pureza del producto que contiene glicerol.

Para Barndner (2009) el concentrado alto en almidón o un concentrado bajo en almidón constituían el equilibrio de estas dietas (55 a 40% de la materia seca). Las concentraciones de ENL son mayores cuando se alimenta glicerol con el concentrado de bajo contenido de almidón que cuando se alimenta con el concentrado de alto contenido de almidón. Las concentraciones de energía estimadas para el glicerol derivado de las dietas que contienen el concentrado bajo en almidón y 10, 15 o 20% de glicerol en la materia seca son similares. El valor medio suele ser de 9,7 MJ ENL / kg de glicerol, que está muy cerca del informado por Ogborn (2006) de un ensayo con vacas lecheras.

4.2.1. Efectos del glicerol sobre metabolitos ruminales y la digestibilidad.

Cuando se alimenta con el concentrado bajo en almidón, no se observan efectos positivos del glicerol sobre la digestibilidad de los nutrientes (materia orgánica, almidón, componentes de la pared celular). Cuando proviene de las dietas que contienen el concentrado alto en almidón en comparación con el concentrado bajo en almidón, el glicerol de diferentes purzas y con diferentes niveles de inclusión en la dieta (10, 15 o 20%) tenía concentraciones de ENL marcadamente más bajas (8.0 a 8.5 MJ / kg). Del mismo modo, la digestibilidad de los componentes de la pared celular caen sin reducir la digestibilidad de la materia orgánica.

Por otra parte, las estimaciones in vitro de las concentraciones de ENL basadas en la producción de gas de alimentos incubados con fluido ruminal fueron ligeramente inferiores a las obtenidas in vivo y fueron similares para las dietas con bajo y alto contenido de almidón (Ayoub, 2012).

En una investigación llevada a cabo por Simoes (2011) se usaron cuatro novillos que se alimentaron con dietas mixtas (40:60 forraje: concentrado, base de materia seca). Los gránulos de concentrado eran isonitrógenos y contenían glicerol al 15% de pureza. Aunque la concentración de metanol en el glicerol de baja pureza fue marcada, solo se detectaron cantidades insignificantes de metanol en los concentrados granulados. La ingesta diaria de materia seca promedió 13.4 kg. Con las dietas que contenían glicerol, los animales consumieron 1,1 kg de glicerol y 1,4 kg de almidón por día, mientras que la ingesta diaria de almidón con la dieta libre de glicerol fue de 2,1 kg. La digestibilidad total del tracto de la materia orgánica, la pared celular (fibra detergente neutra) y el almidón fue similar para todos los tratamientos dietéticos (valor medio, 72,1, 65,1 y 98,3%, respectivamente).

Souza (2014) halló que a pesar del alto porcentaje de concentrado en la dieta e independientemente del tratamiento dietético, los valores de pH posprandiales en el líquido ruminal siempre fueron superiores a 6,2. La disminución posprandial del pH fue más pronunciada cuando las dietas contenían glicerol, lo que indica que la degradación ruminal del glicerol fue más rápida que la del almidón de trigo. La alimentación de glicerol resultó en un ligero cambio hacia una relación reducida de ácido acético a ácido propiónico, que fue significativa (dietas de control versus dietas que contienen glicerol, $P < 0.05$) para la

mayoría de los puntos de tiempo individuales que se midieron a intervalos de 24 horas por ciclo. Aunque las concentraciones de ácido butírico en el fluido ruminal de la dieta de control fueron casi constantes durante todo el día, los valores aumentaron notablemente postprandialmente y alcanzaron un pico significativo (control versus dietas que contienen glicerol, $P < 0.05$) a las 3 horas después de la alimentación para todas las dietas que contienen glicerol.

El aumento en las concentraciones de ácido butírico puede ser benéfico por varias razones (Stierwalt, 2016). El ácido butírico se metaboliza en cuerpos cetónicos (Beta hidroxibutirato y Acetoacetato) mediante el epitelio ruminal y omasal, que se ha propuesto como un mecanismo para proporcionar al epitelio ruminal la mayoría de sus requerimientos energéticos. Debido a que el ácido butírico puede inhibir la división celular, la conversión a β -hidroxibutirato puede ayudar como medio de desintoxicación. Además, los cuerpos cetónicos proporcionan tejidos extrahepáticos con una fuente de energía adicional y el β -hidroxibutirato puede desempeñar un papel importante en la regulación metabólica y el control de la ingesta de alimento en los rumiantes.

El ácido láctico solo se detecta hasta 4 horas después de la alimentación, aunque con un valor máximo de 47 mmol / L para la dieta que contiene el glicerol de baja pureza. Sin embargo, solo las concentraciones a 1 hora después de la alimentación fueron diferentes ($P < 0.05$) entre el control y las dietas que contienen glicerol (Lammers, 2012). La concentración de materia seca bacteriana en el fluido ruminal se estimó a partir de la densidad óptica del fluido ruminal a una longitud de onda de 600 nm (Baier, Decker, & McClements, 2004). Hubo una ligera disminución de la concentración de materia seca

bacteriana en las dietas con glicerol, pero debido a la gran variación dentro de la dieta, las diferencias observadas no fueron estadísticamente significativas.

La ingesta diaria de agua fue ligeramente mayor cuando el ganado consumió dietas que contenían glicerol de pureza baja y media, igualmente el relleno de rumen también fue ligeramente mayor con las dietas que contenían glicerol. La proporción de líquidos disponible de contenido ruminal total fue 22, 25, 29 y 31% para las dietas que no contienen glicerol o glicerol de baja, media y alta pureza, por lo tanto el glicerol tiene un impacto en la renovación del agua ruminal. Las estimaciones de la fermentación ruminal de nutrientes se basaron en el vaciado manual, cuyos componentes de fibra no se vieron afectados cuando se sustituyó el almidón por glicerol en la porción concentrada de las dietas.

4.2.2. Período de Transición en Vacas lecheras

El período de transición es extremadamente importante para determinar la salud futura criatura por nacer, la producción de leche y el éxito reproductivo de la vaca lechera. Este período es de tres semanas antes del parto a tres semanas después del parto a medida que la vaca pasa del período seco al rebaño de ordeño. Es fácil dejar a un lado las vacas secas y considerarlas sin importancia en su fase de reposo hasta que se conviertan en los productivas durante la lactancia; sin embargo, mantener raciones y prácticas de manejo adecuadas antes del parto es fundamental para el desempeño de la vaca en los primeros 60 días de lactancia. La próxima lactancia de una vaca comienza al secarse y no al parir. Las vacas en cada fase tienen requisitos diferentes y seguir estas pautas simples puede mejorar enormemente la rentabilidad.

Aunque las vacas secas no se incluyen en la fase de transición, es importante preparar el escenario adecuado para estas vacas antes de que hagan esa transición de regreso al rebaño de ordeño. La clave es mantener una dieta equilibrada con energía adecuada, pero no excesiva. Aquí hay algunas recomendaciones para manejar con éxito sus vacas secas lejanas.

4.2.3. Efectos en vacas en transición

El período de transición en las vacas lecheras se define como las últimas tres semanas antes del parto a tres semanas después del parto. Se caracteriza por enormes ajustes metabólicos y endocrinos que las vacas deben experimentar desde la gestación tardía hasta la lactancia temprana. Quizás el cambio fisiológico más importante que ocurre durante este período es la disminución en la ingesta de materia seca alrededor del parto y el aumento repentino de nutrientes que las vacas necesitan para la producción de leche. Como resultado de estos cambios notables, la mayoría de las enfermedades infecciosas y los trastornos metabólicos ocurren durante este tiempo.

La fiebre de la leche, la cetosis, las membranas fetales retenidas (RFM), la metritis y el desplazamiento del abomaso (DA) afectan principalmente a las vacas en las primeras dos semanas de lactancia. El estrés físico y metabólico del embarazo, el parto y la lactancia contribuyen a la disminución de la resistencia del huésped durante el período peripartito. Durante dos semanas antes y después del parto, las poblaciones de células T exhiben una disminución significativa, lo que contribuye a la inmunosupresión en las vacas lecheras en el parto. Esta inmunosupresión durante el período periparturiente conduce a una mayor susceptibilidad a la mastitis y otras enfermedades infecciosas (Mallard, 2008). Otras

enfermedades que no son clínicamente aparentes durante las primeras dos semanas de lactancia (laminitis, quistes ováricos, endometritis) se remontan a los insultos que ocurrieron durante la lactancia temprana.

La ingesta de materia seca (DMI) es una función de los factores animales y dietéticos que afectan el hambre y la saciedad (Allen, 2000). La ingesta de materia seca comienza a disminuir algunas semanas antes del parto con el nivel más bajo al momento del parto (Ingvarsen & Andersen, 2000). Se ha informado que los valores promedio para el período de transición previo a la actualización oscilan entre 1.7 y 2.0% del peso corporal (BW). Sin embargo, este no es un valor constante y puede verse influenciado por la ración que se alimenta (concentración de nutrientes), la etapa del período de transición, el puntaje de condición corporal (BCS) y la paridad (Hayirli, 2002).

4.2.4. Balance Energético Negativo

Minimizar la duración y el nivel de balance energético negativo (BEN) es un aspecto nutricional importante del manejo de vacas lecheras durante el período de transición. Como se ha dicho antes, el período de transición abarca desde tres semanas antes del parto hasta tres semanas después del parto. El BEN no solo afecta la producción de leche, sino que también puede tener una influencia significativa en el rendimiento reproductivo.

El balance energético negativo ocurre cuando la energía que consume en un día no puede satisfacer el requerimiento diario de energía de una vaca. Por lo general, la ingesta de materia seca (DMI) de una vaca disminuirá aproximadamente una semana antes del parto, comenzando el período de BEN durante el período de transición. Después de los terneros,

la magnitud de BEN aumenta porque su DMI se queda atrás de la energía requerida para el rápido aumento en el rendimiento de la leche.

Las vacas con BEN excesivo tienden a tener poca fertilidad. El BEN se puede monitorear observando los puntajes de condición corporal (BCS) después del parto. La pérdida excesiva de BCS durante los primeros 30 días en la leche está asociada con la ovulación retrasada. El puntaje de la condición corporal debe estar en 3.25 - 3.5 en seco y mantenerse durante todo el período seco. Las consecuencias de un balance energético negativo

Las vacas lecheras en balance energético negativo tienen un mayor riesgo de desarrollar cetosis clínica o subclínica. La cetosis en vacas lecheras tendrá un impacto negativo en la ingesta de materia seca, la salud, la fertilidad y la producción de la vaca lactante. La evidencia reciente sugiere que la cetosis subclínica en el ganado es mucho más común que la cetosis clínica.

4.2.5. Patología de la cetosis

El período de transición entre el embarazo tardío y la lactancia temprana (también llamado período periparto) ciertamente es la etapa más interesante del ciclo de lactancia. Clásicamente, la duración del período de transición se ha definido como las últimas 3 semanas antes del parto hasta las 3 semanas posteriores al parto. Las enfermedades infecciosas y los trastornos metabólicos más importantes ocurren durante este tiempo.

La cetosis, las membranas fetales retenidas, la fiebre de la leche, los méritos y los abomasos desplazados afectan principalmente a las vacas durante el período periparto. La

susceptibilidad a las enfermedades infecciosas en este período se produce debido a la supresión inmune durante el período peripartito.

La cetosis (acetonemia) es un aumento de los cuerpos cetónicos (acetona, acetoacetato y β -hidroxibutirato, posteriormente conocidos como cetonas) en la sangre hasta que eventualmente comenzará a derramarse en la orina y/o la leche. En las vacas lecheras, la cetosis es un trastorno de la lactancia generalmente asociado con una producción intensa de leche y un balance energético negativo. La cetosis ocurre en la etapa más productiva de la lactancia y, por lo tanto, puede ser extremadamente costosa, según lo informado por diferentes investigadores.

La tasa de prevalencia de la cetosis está estrechamente relacionada con la dieta y el manejo de la granja y se han reportado diferentes cantidades de tasa de prevalencia, algunos investigadores informaron (Sauber, 2012) que está entre 11.1-12.1 % La muerte por cetosis de lactancia no es común. Se identifica que la prevalencia de cetosis es más alta en razas exóticas puras/cruzadas que en nativas puras. Se encuentra que la prevalencia está significativamente asociada con las razas de ganado. Existe una alta prevalencia de cetosis en animales de alto potencial genético, ya que estos animales no pueden soportar las presiones derivadas de las altas demandas nutricionales generadas por la producción de leche, lo que finalmente resulta en el desarrollo de hipoglucemia que puede ser un desafío para el exitoso negocio de la producción lechera, que finalmente arruina la vida de los productores lecheros

5. Metodología

5.1. Tipo de investigación

Se realizará una revisión de literatura científica para hacer una descripción narrativa de los avances que se tienen relacionados con el uso del glicerol en la alimentación de vacas lecheras.

5.2. Fuentes de información

La metodología propuesta supuso hacer una revisión bibliográfica, condensar un volumen considerable de información procedente de fuentes científicas como Google Académico, Sciece Direct, SciELO, Redalyc, libros y diferentes trabajos de investigación de universidades.

5.3. Procedimiento

La búsqueda se realizó con descriptores como: glicerol, efectos, metabolitos, producción láctea, rumiantes, vacas y, el uso de operadores booleanos como AND y OR. Lo anterior en un periodo comprendido entre los años 2000 y 2020. Incluyendo textos en inglés los cuales se consideraron en forma mayoritaria debido a que la mayoría de referencias correspondía a dicho idioma. En la siguiente tabla se muestra el uso de los términos utilizados

Términos	Resultados
glycerol + ruminants + metabolism	20500
glycerol + cows + metabolism	33600
glycerol + cows + diets	23300
glycerol + cattle + metabolism	29500

glicerol + vacas + metabolismo	6440
glicerol + vacas + sangre	3250

Se utilizó el criterio de pertinencia en Google académico, revisándose las 3 primeras páginas en cada búsqueda lo que arroja 150 posibilidades de las que se revisaron las que tuvieran todos los términos. Luego se hizo una lectura de los abstract de donde se empezó una fase de descarte con criterios de pertinencia y actualidad en los que se buscaba, es decir que el artículo tratar acerca de al menos uno de los objetivos específicos del trabajo, lo cual finalmente arrojó la cifra de 50 artículos escogidos. Es de notar que se tuvo en cuenta a la especie bufalina, de lo cual existe una gran cantidad de trabajo, debido a la importancia económica de ésta especie cada vez más creciente.

Se buscó información relacionada con las variables: cetosis, producción de leche, composición de leche, metabolismo ruminal.

Para efectos de la realización del documento y del análisis y clasificación de la información se preseleccionaron las 50 fuentes en la literatura que aportaron información relacionada con las variables a evaluar. Posteriormente se seleccionaron las 32 que se consideraron como determinantes para el cumplimiento de los objetivos de la investigación.

Se tuvieron en cuenta como criterios de inclusión:

- Documentos científicos
- Publicados a partir del año 2000
- Efectos en vacas lecheras

Como criterios de exclusión se tuvieron:

- Documentos no científicos
- Publicados antes del año 2000
- Efectos en otras especies

La información se analizará creando cuadros comparativos relacionados con autor, fecha, actividad realizada y resultado obtenido.

6. Discusión

6.1. Efecto de la administración de glicerol sobre los metabolitos sanguíneos y la cetosis.

El tratamiento y la prevención de la acumulación de cuerpos cetónicos (síndrome de cetosis) y el aumento de los niveles de glucosa en sangre son algunos de los objetivos principales de la administración de glicerol en la dieta de los animales lecheros. Osman et al. (2008) suministraron a vacas lactantes glicerol a 500 ml / día durante 14 días después del parto y observaron niveles elevados de glucosa en sangre en los días 7 y 13 y disminución de la concentración de ácidos grasos no esterizados. Está bien documentado que la administración de glicerol promueve la glucosa en suero en los hígados de los animales. Más del 90% de la producción total de glucosa emana de la gluconeogénesis hepática, que se correlaciona fuertemente con la ingesta de energía digestible, la absorción de propionato y la síntesis de glucosa en el hígado de rumiantes en crecimiento (Kozlozki, 2016). La mayor parte del glicerol de la dieta se absorbe directamente en el epitelio ruminal o el intestino delgado y se transporta al hígado, donde la enzima glicerol quinasa lo convierte en glicerol-3-fosfato utilizado para impulsar la gluconeogénesis (Rojek, y otros, 2008).

Goff y Horst (2001) administraron a vacas lecheras de transición con 1, 2 o 3 L de glicerol que contenían 80% de glicerol e informaron una mayor glucosa en plasma en 16%, 20% y 25%, respectivamente. Por otro lado, DeFrain et al. (2004) informaron concentraciones preparto no afectadas de glucosa, insulina, ácidos grasos y AHB; sin embargo, la administración de glicerol a 0, 430 u 860 g / día desde 14 días antes del parto hasta 21 días

después del parto tendió a aumentar las concentraciones de glucosa en plasma después del parto. Está bien documentado que las concentraciones plasmáticas de ácidos grasos y AHB reflejan el estado de energía en las vacas lecheras durante la lactancia temprana e indican el riesgo de enfermedades metabólicas como el abomaso desplazado y la cetosis clínica. Sin embargo, DeFrain et al. (2004) informaron que la suplementación de vacas lactantes con 860 g de glicerol crudo (80.2%) diariamente disminuyó la concentración de glucosa en sangre entre los días 14 y 21 después del parto. Por el contrario, Wang et al. (2009) observaron que la alimentación de glicerol a 100, 200 y 300 g / día a vacas lactantes aumentó la glucosa en sangre. La tabla presenta algunos de los estudios encontrados, relacionados con el tema.

Tabla 1. Relación de las bibliografías relacionadas con los efectos del glicerol sobre los metabolitos sanguíneos.

Autor (es)	Año	Metabolito Sanguíneo	Consecuencias
Osman et al.	2008	Glucosa	Aumento
Kozloski	2016	Glucosa	Mayor síntesis y aumento
Rojek et al.	2008	Quinasa	Aumento glucogénesis
Gogg y Horst	2001	Glucosa	Aumento entre 16/25%
DeFrain	2004	Glucosa, insulina, AHB	Disminución en concentraciones respectivas
Wang et al	2009	Glucosa	Aumento

Se ha encontrado en la literatura que la suplementación con glicerol en la lactancia temprana mejora la glucosa en sangre y disminuye las concentraciones de AGNE y ABH, lo que provoca un estado metabólico mejorado. Se ha informado que el uso de glicerol para prevenir la cetosis, tiene en el glicerol un alto potencial en su tratamiento, Donkin (2009)

recomendó tasas de alimentación de glicerol que van del 5% al 8% de la dieta materia seca para vacas en transición, pero Schröder (2010) usó 10% de glicerol para reemplazar 50 % de almidón en la dieta del ganado lechero y no observó efectos negativos sobre la ingesta de nutrientes y la digestibilidad o la síntesis microbiana ruminal.

6.2. Efecto de la administración de glicerol sobre la producción y composición de la leche.

Se espera que el aumento de la densidad de energía en la dieta del animal lactante mejore el rendimiento de la lactancia del animal (Lomander, 2012) debido a su efecto sobre los niveles de insulina y glucosa en sangre. Saleem (2018) evaluaron el efecto de la alimentación de glicerol a 150 y 300 ml / día a los búfalos lactantes y observaron una mejor producción de leche y un 3,5% de leche corregida en grasa para los búfalos que recibieron el mayor nivel de glicerol, mientras que la composición de la leche no se vio afectada por el nivel de glicerol.

Omazic et al. (2013) observaron que la suplementación con glicerol (> 99%) a las vacas lecheras durante 4 semanas tendía a aumentar la producción de leche (kg de leche corregida por energía / día); sin embargo, la administración de glicerol crudo (88.1%) no mostró respuesta a la alimentación de glicerol. Kass (2013) observaron una mayor producción de leche en vacas empapadas por vía oral con glicerol crudo (82.6%). Además, Lomander (2012) observó un aumento en la producción de leche en vacas alimentadas con 450 g de glicerol/día durante los primeros 90 días de lactancia.

El aumento de la ingesta de energía con la alimentación de glicerol puede ser responsable de la producción mejorada de leche (Porcu, 2018), quienes también observaron que la administración de glucogénicos no afectó el porcentaje de grasa de la leche, disminuyó la producción de leche, el contenido de lactosa y urea, y aumentó los porcentajes de proteína y caseína de la leche.

Contrariamente a la producción mejorada de leche con la administración de glicerol en algunos estudios, Paiva et al. (2016) observaron una disminución de la producción de leche en vacas lecheras alimentadas con glicerol crudo al 21% durante largos períodos. Atribuyeron el bajo rendimiento de la leche a la menor disponibilidad de agua para la dilución de los componentes de la leche sólida. Esto provoca una baja accesibilidad al agua, lo que disminuye la disponibilidad de agua en la glándula mamaria, con la consiguiente disminución de la producción de leche (Porcu, 2018).

Otros estudios informaron dosis variadas sin cambios (Shin 2012), en la producción diaria de leche en vacas y cabras alimentadas con dietas suplementadas con glicerol. Khalili y col. (2009) alimentaron con glicerol al 3.6% para vacas de media lactancia e informaron una producción de leche o composición de leche sin cambios. Además, Donkin et al. (2007) reemplazaron el grano de maíz con glicerol puro al 0, 5%, 10% y 15% de la dieta total de MS y no observaron ningún efecto sobre el rendimiento de la leche o el contenido de grasa o proteína de la leche, pero notaron una disminución del contenido de urea-N (nitrógeno ureico) en la leche. Además, Thoh (2017) observaron una producción diaria sin cambios de leche de vacas alimentadas con glicerol crudo al 5% y 10% de la dieta DM.

La inconsistencia en los resultados puede deberse a la pureza del glicerol, la duración de la suplementación, la etapa de lactancia y la dieta (Porcu., 2018). Paiva y col. (2016) informaron 3 razones principales para la inconsistencia entre los resultados: la calidad del glicerol crudo debido a las impurezas, la velocidad con la que el glicerol se fermenta en el rumen y la absorción de glicerol, que se metaboliza en el hígado, en el epitelio del rumen.

Como se señaló anteriormente, el glicerol aumenta las concentraciones de insulina en la sangre, lo que tiene un efecto positivo en la síntesis de proteínas de la leche. Esto muestra que los aminoácidos de fuentes distintas de la dieta pueden ser capturados por la glándula mamaria (Mackle, 2004). Además, Donkin et al. (2009) sugirieron que el glicerol mejora la eficiencia de utilización de N, lo que podría aumentar el contenido y el rendimiento de proteínas de la leche. Este fenómeno funciona bien cuando las vacas se enfrentan a una deficiencia energética, independientemente del aumento de la glucemia (Bodarski, 2005).

En muchos experimentos, la administración de glicerol fue paralela a una depresión en la concentración y el rendimiento de la grasa de la leche (Bajramaj, 2017); sin embargo, también se ha informado una concentración de grasa de leche sin cambios (Carvalho, 2003). Otros informaron un aumento en el contenido de grasa de la leche con la alimentación de glicerol al 5% de la dieta DM, mientras que el nivel de glicerol al 10% de la dieta DM disminuyó el contenido de grasa de la leche (Thoh et al., 2017). Tales resultados revelaron el efecto del nivel de alimentación de glicerol sobre la inconsistencia entre los experimentos.

Como se mencionó anteriormente, la alimentación de glicerol provoca una mayor producción de propionato ruminal a expensas del acetato, que puede ser la razón principal de la depresión de la grasa de la leche (Maxin et al., 2011; Bajramaj et al., 2017). Además, se ha observado que una mayor ingesta de energía, con la alimentación de glicerol, disminuye el rendimiento y la concentración de grasa de la leche (Sutton, 1989). Esto puede ser a través de la formación de ácido linoleico conjugado en el rumen. El ácido linoleico conjugado disminuye la expresión mamaria de genes asociados con la lipogénesis (Allen, 2000). La tabla 3 muestra los efectos sobre la producción y composición de leche.

Tabla 2. Relación de literatura relacionada con los efectos del glicerol sobre la producción y composición de la leche

Autor (es)	Año	Niveles de inclusión	Consecuencias sobre producción de leche
Lomander.	2012	80%	Aumentos de hasta 300 ml/día
Saleem	2018	85%	Aumento producción leche en 3.5%
Omazic	2013	99%	Aumento producción
Kass	2013	83%	Aumento producción
Porcu	2018	81%	Aumento de proteína y caseína en la leche
Paiva et al.	2016	21%	Disminución en la producción
Shin	2012	3,6%	Sin cambios
Thot	2017	5% a 10%	Disminuyó la grasa
Mackle	2004	27%	Mejora proteínas de la leche
Bajramaj	2017	17%	Disminuyó la grasa
Harvatine y Allen	2006	28%	Disminuyó la grasa
Maxin et al.	2011	9% a 15%	Disminuyó la grasa
Sutton	1989	10% a 14%	Disminuyó la grasa

En su experimento, Thoh et al. (2017) observaron una disminución del pH de la leche con la alimentación de glicerol. Además, la leche de cabras alimentadas con una dieta que contenía 5% de glicerol tenía valores más bajos en el contenido de grasa en la leche.

6.2.1. Glicerol en la dieta de animales recién nacidos.

Durante la etapa temprana de los recién nacidos, la deshidratación y la deficiencia de energía, como resultado de la diarrea, son causas importantes de mortalidad (Barrington, 2002). La información disponible en la literatura sobre el efecto de la alimentación de glicerol a los recién nacidos es muy escasa. La alimentación oral de glicerol en soluciones de rehidratación puede desempeñar un papel importante en el tratamiento de recién nacidos que sufren trastornos metabólicos al afectar la glucosa en sangre.

En un experimento llevado a cabo por Omazic (2013) se compararon la solución de rehidratación oral que contiene glicerol con la solución de rehidratación oral que contiene glucosa e informaron que los terneros que recibieron solución de rehidratación oral con glicerol habían aumentado los niveles de glucosa en plasma en comparación con los terneros que recibieron solución de rehidratación oral que contenía glucosa. Dado que el nivel de glucosa en plasma es un buen indicador del estado de energía de un animal, el resultado implica que el glicerol mejora el suministro de energía en la solución de rehidratación oral en relación con la glucosa. Además, el número de enterobacterias y lactobacilos no se vio afectado por la inclusión de glicerol en la solución de rehidratación oral; sin embargo, el *Lactobacillus reuteri* que utiliza glicerol se detectó en heces de terneros.

6.3. Efecto de la administración de glicerol sobre la fermentación ruminal.

Parte de esta sección se ha discutido en una sección anterior en la presente revisión. Los efectos del metabolismo ruminal y post ruminal de la alimentación de glicerol a vacas lactantes aún están bajo investigación. El pH ruminal y las proporciones individuales de ácidos grasos volátiles son los parámetros principales que se ven altamente afectados por la inclusión de glicerol en la dieta de rumiantes. Ariko et al. (2015) reportaron pH ruminal no afectado con administración de glicerol a animales lactantes. En otros experimentos.

Con respecto al efecto de la administración de glicerol en las dietas de animales lactantes sobre ácidos grasos volátiles totales, Van Cleef (2014) evaluó la inclusión de glicerol crudo en las dietas de ovejas y observaron una disminución de los ácidos grasos volátiles con la inclusión creciente de glicerol en las dietas. Paiva et al. (2016) informaron que la alimentación de glicerol a vacas lactantes a 70, 140 o 210 g / kg de dieta DM alteró las proporciones ruminales de ácidos grasos volátiles, con una disminución en acetato y un aumento en propionato, butirato, valerato, isovalerato e isobutirato. El aumento de la concentración de propionato se atribuye a la fermentación ruminal del 30% al 69% del glicerol consumido a propionato (Rémond et al., 2013).

Ariko y col. (2015) observaron un aumento lineal en la concentración de amoníaco-N ruminal con la administración de glicerol, lo que se opone a las observaciones de Van Cleef y col. (2018), quienes evaluaron niveles crecientes de glicerol en las dietas de ovejas e informaron una disminución del amoníaco ruminal-N con la inclusión creciente de glicerol en las dietas. Las diferentes respuestas pueden estar relacionadas con la composición de la dieta, la ingesta de materia seca, la calidad de la proteína de la dieta y el nivel de inclusión

de glicerol. Por ejemplo, la disminución del contenido en la dieta y la ingesta de PC con la alimentación de glicerol implica una menor disponibilidad de proteínas para la degradación ruminal a amoníaco-N. Donkin et al. (2009) y Shin et al. (2012) observaron síntesis de proteína microbiana intacta cuando se alimentó con glicerol hasta 150 g / kg de la dieta, lo que implica un suministro de N ruminal no afectado. La tabla 1 muestra algunos de los resultados más importantes en esta área.

Tabla 3. Relación bibliografías relacionadas con efectos del glicerol en la fermentación ruminal.

Autor (es)	Año	Niveles de inclusión de Glicerol en la dieta	Efectos Observados
Ariko et al.	2015	75g/kg	pH ruminal no afectado.
Van Cleef	2014	90g/kg	Disminución ácidos grasos y amoníaco N-ruminal
Paiva et al	2016	70,140,2010 g/kg	Alteración ácidos grasos ruminales. Aumentó propionato
Rémond et al.	2013	100 g/kg	Aumento concentración propionato
Donkin	2009	130g/kg	Suministro N ruminal no afectado
Shin et al.	2012	150g/kg	Suministro N ruminal no afectado

N: Nitrógeno

6.4. Evaluación del glicerol en dietas.

El efecto del glicerol sobre la fermentación ruminal depende principalmente de la dosis y la tasa de desaparición de glicerol en el rumen. En realidad, la tasa de desaparición de glicerol en el rumen es muy rápida debido a la rápida adaptación de los microbios ruminales (Porcu, 2018). Otros autores informaron que el 82% de la infusión dos veces al día de 250 g de

glicerol desapareció en el rumen después de 2 h de alimentación y aumentó el glicerol en plasma en la vaca. Rémond (2013) sugirió que la mayor parte del glicerol puede ser absorbido directamente en el rumen; sin embargo, es difícil determinar la cantidad relativa de absorción como glicerol frente a fermentación.

Kristensen y Raun (2007) determinaron que aunque las tasas máximas de desaparición ruminal de glicerol varían de 1.2 a 2.4 g/h, absorción neta de glicerol en el rumen es limitada incluso con la administración de grandes dosis. Los investigadores informaron que solo alrededor del 10% del glicerol administrado (925 g/d por vaca) se recuperó como glicerol en la vena y el hígado lo absorbió para la síntesis de glucosa.

La técnica *in vitro* evalúa nuevos alimentos e ingredientes antes de alimentarlos a los animales. Sin embargo, las dosis de glicerol utilizadas en experimentos *in vitro* difieren de las utilizadas en los animales vivos. Avila y col. (2011) observaron que el reemplazo de grano de cebada con una proporción cada vez mayor de glicerol aumentó linealmente el propionato *in vitro* y redujo las concentraciones de acetato. Abo (2011) no encontró ningún cambio en la degradabilidad *in vitro* de la DM con la administración de glicerol al 10% o 20%. Sin embargo, Van Cleef (2014) informó aumentos lineales de digestibilidad *in vitro* de MS y una disminución de la degradabilidad *in vitro* de NDF (neutral detergent insoluble fiber, fibras solubles detergentes neutrales) con suplementos de glicerol. Hallazgos similares fueron observados por Wafaa y Mervat (2011), quienes atribuyeron la mejora de la digestibilidad de la materia seca y la disminución de la degradabilidad *in vitro* del fibra detergente natural a la reducción en el número de microorganismos involucrados en la

digestión de la fibra. La dosis y el método de aplicación pueden ser responsables de las discrepancias entre los resultados.

Lee y otros (2017), encontraron que El aumento de la concentración de glicerol en la dieta disminuyó linealmente la producción total de gas y dióxido de carbono debido a la disminución de la fermentación ruminal y la producción de ácidos grasos volátiles, evaluaron el efecto del glicerol combinado con ensilaje de maíz o alfalfa sobre la fermentación ruminal in vitro e informaron una producción de gas disminuida y un inicio retrasado de la producción de gas. Además, el glicerol produce la proporción más alta de propionato y la proporción más baja de butirato. Con respecto al efecto del glicerol en la producción in vitro de metano (CH₄), Van Cleef (2014) observó una tendencia a una reducción lineal de la producción de CH₄ con la administración de glicerol debido a los efectos negativos del glicerol sobre el crecimiento y la actividad de las bacterias fermentadoras de fibra (Chanjula, 2018).

Por otra parte Lee et al. (2017), informaron que el glicerol tiene la capacidad de reducir la producción in vitro de CH₄, lo que sugiere un impacto positivo del glicerol en la eficiencia del uso de energía en la dieta. En otro experimento, Avila y col. (2011) no observaron ninguna reducción en la producción de CH₄ cuando se administró glicerol después de 48 h de incubación. Como se señaló anteriormente, la dosis, la pureza y el método de aplicación del glicerol y la naturaleza de los sustratos incubados, entre otros factores, son responsables de la inconsistencia de los resultados de los experimentos en la producción in vitro de CH₄.

6.4.1. Efecto de la administración de glicerol en la ingesta de alimento.

La ingesta de alimento afecta en gran medida el rendimiento de la lactancia de los animales lecheros. El efecto del glicerol en la ingesta de alimento depende de la dosis. El aumento de la dosis de glicerol fue paralelo al descenso de la ingesta de alimento en la mayoría de los experimentos que evaluaron la administración de glicerol en dietas de rumiantes (Delgado, 2018). La dosis efectiva que aumenta o disminuye la ingesta de alimento no está definida en la literatura porque muchos factores que incluyen la pureza del glicerol, las dietas basales, la etapa de producción del animal lechero, etc. afectan la dosis.

La palatabilidad del alimento es el factor principal que afecta el consumo de alimento, y se espera que la inclusión de glicerol en la dieta pueda mejorar la palatabilidad del alimento debido a su sabor dulce. Sin embargo, la alta concentración de energía en glicerol y su efecto sobre la fermentación ruminal y la alteración de las proporciones ruminales de ácidos grasos volátiles pueden afectar negativamente el consumo de alimento (Andrade, 2011). En un experimento con vacas en transición, DeFrain et al. (2004) usaron glicerol en la dieta de las vacas a 0, 430 y 860 g / día desde 14 días antes del parto hasta 21 días después del parto, informando una ingesta de alimento reducida para las vacas preparto y una ingesta de alimento no afectada para las vacas posparto.

En otro experimento, Paiva et al. (2016) informaron una disminución de la ingesta de alimento en vacas lactantes alimentadas con 210 g de glicerol crudo en la dieta / kg de alimento con MS. Además, Ezequiel et al. (2015) observaron que la alimentación de glicerol a las vacas lecheras de hasta 300 g / kg de dieta DM redujo la ingesta de DM en un 15% en comparación con las alimentadas con dieta sin glicerol. Donkin y col. (2009) y

Delgado (2018) notaron una reducción en el consumo de alimento en vacas lactantes a las que se les administró glicerol en más del 10% y 30% de la dieta DM, respectivamente. En cabras lactantes, Andrade (2011) informó que la alimentación de glicerol en grandes cantidades (más del 10,9% de glicerol crudo) limita la ingesta de alimento a través de la producción de altas cantidades de propionato y acetato a través de la fermentación de glicerol en el rumen. En búfalos, Saleem et al. (2018) evaluaron niveles crecientes de glicerol en la dieta de los búfalos en estado de lactancia temprana, e informaron una disminución de la ingesta de alimento con la alimentación de glicerol a niveles bajos (150 ml / d por búfalo) y altos (300 ml / d por búfalo), y la disminución en la ingesta de alimento fue mayor en el nivel de alimentación de glicerol alto que en el bajo nivel de alimentación

La ingesta reducida de alimento cuando se alimentó con glicerol a los animales lecheros se atribuye a la producción de alta energía y la saciedad, como resultado de la producción mejorada de ácidos grasos volátiles ruminales y su mayor flujo al hígado (Trabue, 2007). Esta es una de las principales limitaciones del uso de altas dosis de glicerol crudo en la dieta de los animales lactantes. Tres razones principales podrían explicar los efectos indeseables del glicerol crudo en el metabolismo y el rendimiento de los animales: la concentración de impurezas como el metanol (Thompson & He, 2006), la velocidad de la fermentación ruminal del glicerol (Wang, 2009), y la absorción de glicerol por el epitelio ruminal (Paiva et al., 2016).

Además, el alto contenido de energía del glicerol influye en las reacciones de oxidación y aumenta el ciclo de Krebs en el hígado, lo que resulta en una saciedad estimulada y una ingesta reducida de materia seca (Trabue, 2007). La reducción en el consumo de alimento

puede explicarse por la teoría de la oxidación hepática. De acuerdo con Piantoni & Allen (2015), debido a la oxidación del combustible hepático, aumentan las concentraciones de adenosina trifosfato (ATP) en los hepatocitos, enviando señales inhibitorias a través del nervio vago a los núcleos tractus solitarios que inhiben los centros de saciedad hipotalámico.

Por otro lado, algunos experimentos informaron una ingesta de alimento no afectada con la administración de glicerol en animales rumiantes. Los efectos no negativos sobre la ingesta de alimento indican que la palatabilidad no se vio comprometida por el glicerol. Khalili . (2009) y Wang (2009) evaluaron la alimentación de glicerol a vacas de lactancia media y temprana e informaron la ingesta de materia seca no afectada.

Como se señaló anteriormente, el sabor dulce del glicerol puede mejorar la ingesta de alimento en animales. Ogborn (2006) y Shin (2012) observaron una mayor ingesta de alimento, cuando las dietas para vacas lecheras se complementaron con glicerol. Ariko et al. (2015) observaron que la inclusión de glicerol a 52, 104 y 156 g / kg de MS en las dietas de vacas lactantes aumentó linealmente la ingesta de alimento. El aumento de la ingesta de alimento con glicerol sugiere una mayor eficiencia en la utilización de energía por parte de la microbiota ruminal (Andrade, 2011). Además, las características físicas del glicerol, como la viscosidad, podrían mantener el agregado de partículas de alimentación y reducir el llenado ruminal. Recientemente, Bajramaj (2017) observó que la ingesta de MS tendía a aumentar cuando se alimentaba con glicerol a vacas lactantes en comparación con cuando se alimentaba con maíz. Además, Gaillard et al. (2018), alimentaron a vacas lactantes con una dieta suplementada con glicerol al 6%, 12% y 18% de DM en la dieta e informaron un

aumento de la ingesta de casi 1 kg con el 12% de glicerol y una disminución de la ingesta de aproximadamente 1 kg cuando el 12% de glicerol fue en comparación con el 18% de glicerol.

Los experimentos revelan que la pureza del glicerol, es un factor que afecta la respuesta a la administración, algo que no puede ser ignorado.

6.4.2. Efecto de la administración de glicerol sobre la digestibilidad de nutrientes.

En su revisión, Sudekum (2008) informó que la administración de glicerol a rumiantes no tuvo ningún efecto sobre la digestibilidad aparente de la materia orgánica y almidón. Wang (2009) observaron un aumento de la digestibilidad de la fibra de detergente ácido, materia seca con suplementos de glicerol a 100, 200 y 300 g / d por vaca, lo que implica una mayor actividad microbiana ruminal (Andrade, 2011).

Además, Paiva et al. (2016) observaron una mayor digestibilidad de materia seca y extracto de éter con alimentación de glicerol a vacas lactantes a 70, 140 o 210 g / kg de glicerol crudo de la dieta DM. Südekum (2008) informó que el glicerol promueve el ambiente del rumen de manera similar al maíz y puede mejorar en gran medida la digestibilidad de los nutrientes. En los búfalos, la alimentación de glicerol a 150 y 300 ml / día a los búfalos lactantes no afectó la digestibilidad de OM y los carbohidratos no estructurales, pero la digestibilidad de DM, CP y fibra aumentó, aunque no hubo diferencias entre los 2 niveles para digestibilidad de todos los nutrientes (Saleem, 2018).

Otros trabajos observaron efectos positivos con la alimentación de glicerol en la digestión de nutrientes, y plantearon la hipótesis de que el glicerol suministraba suficiente energía a los microbios del rumen para usar las fuentes de N en la biosintetización de las proteínas microbianas. Estimando que el glicerol a niveles de hasta 18% de MS en la dieta puede promover la utilización de carbohidratos solubles (Andrade et al., 2018). *Selenomonas ruminantium*, *Megasphaera elsdenii* y *Streptococcus bovis* pueden utilizar el glicerol para reducir la formación de dinucleótido de nicotinamida-adenina (NADH) y promover la generación de propionato, acetato y butirato para proporcionar otros microorganismos ruminales con ATP necesarios para fermentar los alimentos y mejorar la eficiencia energética en el rumen (Lee et al, 2017).

Por otro lado, Shin et al. (2012) observaron que el reemplazo de concentrado con glicerol crudo al 10% de la ingesta redujo la digestión de NDF en la dieta en vacas lecheras en un 30%. Del mismo modo, Donkin et al. (2009) observaron una digestibilidad reducida de la fibra, cuando el maíz fue reemplazado por glicerol al 5%, 10% o 15% de la ingesta de MS en vacas lecheras. Los efectos negativos de la administración de glicerol sobre la microflora ruminal y la actividad celulolítica son responsables de tales efectos. La administración cruda de glicerol redujo la concentración de ADN y la actividad enzimática de la bacteria *Butyrivibrio fibrisolvens* (Abo, 2011). Abu Gazaleh y col. (2011) observaron una reducción en la actividad celulolítica en *Ruminococcus flavefaciens* y *F. succinogenes* con la administración de glicerol crudo in vitro. Dichos problemas pueden ser responsables de la reducción de la digestibilidad de los nutrientes, especialmente las fibras. Las discrepancias entre los resultados pueden estar relacionadas con el nivel de glicerol administrado, la dieta

alimentada a los animales y también la condición de los experimentos (experimentos in vitro versus in vivo).

Conclusiones

- Respecto a la evaluación de los efectos del uso del glicerol en las dietas sobre parámetros sanguíneos de vacas lecheras, se encontró que los resultados son positivos en cuanto a que el glicerol por su efecto glucogénico disminuye la proporción de metabolitos cetogénicos en la sangre. Puede ser suministrado oralmente y también en algunas situaciones infundido ruminalmente sin que afecte la producción de glucosa hepática. El suministro de este producto tiene efecto hiperglucémico. También se evidenció que con la suplementación de glicerol existe una tendencia a un aumento de las proteínas totales en suero y la globulina, sin que se afecte las concentraciones plasmáticas de proteína total y albúmina.
- El glicerol en las dietas de vacas tiene efectos sobre la composición de la leche, disminuyendo el contenido de grasa. Esto se relaciona con una mayor producción de glucosa, molécula fundamental en la producción de lactosa, disacárido presente en la leche. Este último factor estaría relacionado con la mayor producción de leche reportada por diferentes autores.
- La inclusión del glicerol en dietas de vacas genera efectos sobre la fermentación ruminal en vacas lecheras. Se encontraron reportes de cambios en las proporciones de los ácidos grasos volátiles, principalmente aumentos en el propionato. Este ácido graso es glucogénico, por lo que el suministro del glicerol, es aprovechado a nivel hepático o a nivel ruminal generando incrementos en la producción de glucosa. En ese sentido, el suministro de glicerina a las vacas en producción contribuye con el

incremento de la producción lechera, y en vacas secas a la ganancia de peso mediante los depósitos de grasa.

Recomendaciones

La alimentación con dietas suplementadas con glicerol a las vacas lecheras en transición no debe exhibir el efecto glucogénico que le atribuyen algunas investigaciones que administran glicerol a través de un drenaje esofágico, en donde los indicadores clave que se sabe que son críticos para un programa exitoso de vacas en transición, deben tenerse en cuenta.

El único efecto que deben tener las dietas suplementadas con glicerol debe ser en el DMI, se recomienda mantener que el rendimiento de la lactancia posparto no se vea afectado por la alimentación de glicerol.

Aunque solo se informa como una tendencia debido al número limitado de muestras, se recomienda que el uso de glicerol no altere o altere ligeramente la fermentación ruminal hacia un aumento del butirato, lo que provocaría un aumento en el plasma BHBA. Los datos implican que el glicerol debe administrarse como un baño en vacas lecheras hipoglucémicas y no alimentarse como un componente de las dietas de transición para vacas lecheras.

La producción y la composición de la leche no debe alterarse en respuesta a la alimentación de glicerol con la excepción de la disminución del nitrógeno de urea en la leche en respuesta al glicerol. Las vacas alimentadas con la mayor cantidad de glicerol ganan más peso durante el período de alimentación de 8 semanas. Sin embargo, debe mantenerse la precaución la variación en la composición del glicerol crudo, incluida la concentración de contaminantes que son de riesgo particular para la salud animal.

Bibliografía

- Abo, E. (2011). *The effect of replacing corn with glycerol on ruminal bacteria in continuous culture fermenters*. Obtenido de Journal of animal physiology and animal nutrition, 95(3), 313-319.:
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1439-0396.2010.01056.x>
- Allen, M. (2000). *Effects of diet on short-term regulation of feed intake by lactating dairy cattle*. Obtenido de Journal of dairy science, 83(7), 1598-1624.:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030200750302>
- Almeida, M. (2018). Rumen and liver measurements of lambs fed with high inclusions of crude glycerin in adaptation and finishing period of feedlot. *Small Ruminant Research, 1 (16)*, 1-5.
- Andersen, H. (2011). *Vacas secas y en Transición*. Obtenido de Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú, 12(2):
http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1609-91172001000200008
- Andrade, C. (2011). *Estudo da utilização do glicerol oriundo da cadeia do biodiesel por Bacillus subtilis para a produção de biossurfactantes, enzimas e aromas*. Obtenido de Universidad de Campinas:
http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/256666/1/Andrade_CristianoJose_de_M.pdf
- Ariko, T., Kass, M., Henno, M., Fievez , V., Kärt, O., & Ots, M. (2015). *The effect of replacing barley with glycerol in the diet of dairy cows on rumen parameters and milk fatty acid profile*. Obtenido de Animal Feed Science and Technology, 209, 69-

78: http://www.academia.edu/download/42760263/Long-term_oral_drenching_of_crude_glycer20160217-2298-19o31tz.pdf

- Avila, J., Chavez, A., Hernandez, M., Calva, M., McGlin, S., Bauchemin, K., & McAllister, T. (2011). *Effects of replacing barley grain in feedlot diets with increasing levels of glycerol on in vitro fermentation and methane production*. Obtenido de Animal feed science and technology, 166, 265-268.: https://nmbu.bragg.unit.no/nmbu-xmlui/bitstream/handle/11250/2457498/CRISin-post_897421_Avila%2Bet%2Bal.%2B%2BAnimal%2BFeed%2BScience%2Band%2Btechnology.pdf?sequence=2
- Ayoub, M. (2012). *Critical review on the current scenario and significance of crude glycerol resulting from biodiesel industry towards more sustainable renewable energy industry*. Obtenido de Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16(5), 2671-2686: Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16(5), 2671-2686
- Baier, S., Decker, E., & McClements, J. (2004). *Impact of glycerol on thermostability and heat-induced gelation of bovine serum albumin*. Obtenido de Food Hydrocolloids, 18(1), 91-100: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268005X03000468>
- Bajramaj, D. (2017). *Addition of glycerol to lactating cow diets stimulates dry matter intake and milk protein yield to a greater extent than addition of corn grain*. Obtenido de J Dairy Sci 2017;100(8): 39e50.
- Barrington, G. (2002). *Biosecurity for neonatal gastrointestinal diseases*. . Obtenido de Vet Clin North Am Food Anim Pract 2002;18:7e34.
- Bodarski, R. (2005). *The changes of metabolic status and lactation performance in dairy cows under feeding TMR with glycerin [glycerol] supplement at periparturient*

- period*. Obtenido de <https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.agro-article-554fe261-720e-48f4-88b9-1adfd7ef1447>
- Brandner, A. (2009). *Production of biomass-derived chemicals and energy: chemocatalytic conversions of glycerol*. Obtenido de *opics in Catalysis*, 52(3), 278-287.: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11244-008-9164-2>
- Carvalho, M. (2003). *Effect of frequent breast-feeding on early milk production and infant weight gain*. Obtenido de *Pediatrics*, 72(3), 307-311.: <https://pediatrics.aappublications.org/content/72/3/307.short>
- Castello, E. (2018). Effects of partial or total replacement of corn cracked grain with high concentrations of crude glycerin on rumen metabolism of crossbred sheep. *Small Ruminant Research*, 1 (15), 45-51.
- Chanjula, p. (2018). *Chanjula, P. (2018). Use of crude glycerin as an energy source for goat diets*. Obtenido de A review. *Journal of Dairy & Veterinary Sciences*, 2, 1-5.: <https://pdfs.semanticscholar.org/711b/73c52123288cfc7e929e02ebc011385f8cab.pdf>
- De Frain, J., Hippen, A., Kalscheur, K., & Jardon, P. (2004). Feeding glycerol to transition dairy cows: effects on blood metabolites and lactation performance. *J Dairy Sci*, 87 (12) , 4195-4206.
- Delgado, Á. (2018). *Efecto de la sustitución de maíz por glicerol crudo sobre el consumo de materia seca, en vacas Holando en pastoreo*. Obtenido de *Pastos y Forrajes*, 41(2), 131-137.: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942018000200007
- Donkin, S. (2009). Feeding value of glycerol as a replacement for corn grain in rations fed to lactating dairy cows. *J Dairy Sci*, 92 (10), 5111-5119.

- Ezequiel, J. (2015). Effects of high concentrations of dietary crude glycerin on dairy cow productivity and milk quality. *J Dairy Sci*, 98 (11), 8009-8017.
- FAO. (2016). *Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) OECD-FAO agricultural outlook 2016–2025*. . Paris: ONU.
- Ferretti, C. (2010). *Valoración catalítica de glicerol: síntesis de monoglicéridos*. Obtenido de Universidad Nacional del Litoral: <https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar/bitstream/handle/11185/236/Tesis.pdf>
- Fischer, L., Erfle, J., Lodge, G., & Sauer, F. (1993). *Effects of propylene glycol or glycerol supplementation of the diet of dairy cows on feed intake, milk yield and composition, and incidence of ketosis*. Obtenido de *Can J Anim Sci* ;53:289e96.
- Gaillard, C., Sorensen, M., Vestergaard, M., Weisbjerg, M., Larsen, M., Martinussen, H., & Sehested, J. (2018). *Effect of substituting barley with glycerol as energy feed on feed intake, milk production and milk quality in dairy cows in mid or late lactation*. Obtenido de *Livestock Science*, 209, 25-31.: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1871141318300131>
- Goff, J., & Horst, L. (2001). *Oral glycerol as an aid in the treatment of ketosis/fatty liver complex*. Obtenido de *J. Dairy Sci*, 84.: <https://www.ars.usda.gov/research/publications/publication/?seqNo115=124812>
- Golami, M. (2014). *Effect of Air Pollution on Some Cytogenetic Characteristics, Structure, Viability and Proteins of Zinnia elegans Pollen Grains*. Obtenido de *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 7: 118-122.: <https://scialert.net/fulltext/?doi=pjbs.2004.118.122>
- Grand View Research. (2020). *Glycerol Market Size, Share & Trends Analysis Report By Source (Biodiesel, Fatty Acids, Fatty Alcohols, Soap), By Type (Crude, Refined) By*

End Use (Food & Beverage, Pharmaceutical), By Region, And Segment Forecasts, 2020 - 2027. Obtenido de <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/glycerol-market>

Hayirli, A. (2002). *Animal and dietary factors affecting feed intake during the prefresh transition period in Holsteins.* Obtenido de Journal of dairy science, 85(12), 3430-3443.: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030202744317>

Hernández, R. (2014). *Metodología de la Investigación.* Obtenido de <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>

Ingvartsen, K., & Andersen, J. (2000). *Integration of metabolism and intake regulation: a review focusing on periparturient animals.* Obtenido de Journal of dairy science, 83(7), 1573-1597.: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030200750296>

Kass, M. (2013). *Long-term oral drenching of crude glycerol to primiparous dairy cows in early lactation.* Obtenido de Animal feed science and technology, 184(1-4), 58-66.: http://www.academia.edu/download/42760263/Long-term_oral_drenching_of_crude_glycer20160217-2298-19o31tz.pdf

Khalili, F. (2009). *The effect of different concentrations of glycerol and DMSO on viability of Markhoz goat spermatozoa during different freezing temperatures steps.* Obtenido de Pakistan Journal of Biological Sciences, 12(3), 239: https://www.researchgate.net/profile/Behrooz_Khalili_PhD_Animal_Nutrition/publication/26649821_The_Effect_of_Different_Concentrations_of_Glycerol_and_DMSO_on_Viability_of_Markhoz_Goat_Spermatozoa_During_Different_Freezing_Temperatures_Steps/links/58b1d439

Khattab, M. (2015). *Glycerol as Feedstuff for Ruminant*. Obtenido de Science International.

3. 90-94. 10.17311.:

https://www.researchgate.net/publication/281616434_Glycerol_as_Feedstuff_for_Ruminant/citation/download

Kholif, A. (2019). Glycerol use in dairy diets: A systemic review. *Animal Nutrition, Volume 5, Issue 3*, 206-219.

Kozlozki, G. (2016). *Nutritional impact of crude glycerine infusion into the rumen of wethers fed a tropical or a temperate forage grass*. Obtenido de The Journal of

Agricultural Science, 154(7), 1306-1316.:

https://www.researchgate.net/profile/Lisandre_De_Oliveira/publication/305215793_Nutritional_impact_of_crude_glycerine_infusion_into_the_rumen_of_wethers_fed_a_tropical_or_a_temperate_forage_grass/links/5818c52f08ae50812f5dcfa1/Nutritional-impact-of-crude-

Kristensen, N., & Raun, B. (2007). *Ruminal fermentation, portal absorption and hepatic metabolism of glycerol infused into the rumen of lactating dairy cows*. Obtenido de PUBLICATION-EUROPEAN ASSOCIATION FOR ANIMAL PRODUCTION, 124, 355.

Lammers, P. (2012). *Digestible and metabolizable energy of crude glycerol for growing pigs*. Obtenido de Journal of Animal Science, 86(3), 602-608.:

<https://pubag.nal.usda.gov/download/15690/PDF>

Lee, I., Kang, H., Piao, M., Kim, I., Gu, M., & Yun, C. (2017). *Effects of ambient temperature and dietary glycerol addition on growth performance, blood parameters and immune cell populations of Korean cattle steers*. Obtenido de

Asian-Australasian journal of animal sciences, 30(4), 505.:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5394836/>

Lomander, H. (2012). *Effect of supplemental feeding with glycerol or propylene glycol in early lactation on the fertility of Swedish dairy cows*. Obtenido de *Reproduction in domestic animals*, 47(6), 988-994.:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002203021200207X>

Mackle, T. (2004). *Effects of insulin and postruminal supply of protein on use of amino acids by the mammary gland for milk protein synthesis*. . Obtenido de *J Dairy Sci* 2004;83(1):93e105.

Mallard, N. (2008). *Differential gene expression of high and low immune responder Canadian Holstein dairy cows*. Obtenido de *In Animal Genomics for Animal Health* (Vol. 132, pp. 315-320): <https://www.karger.com/Article/Abstract/317277>

Maxin, G., Glasser, F., Hurtaud, C., Peyraud, J., & Rulquin, H. (2011). *Combined effects of trans-10,cis-12 conjugated linoleic acid, propionate, and acetate on milk fat yield and composition in dairy cows*. Obtenido de *J. Dairy Sci.* 94 :2051–2059:
[https://pdf.sciencedirectassets.com/279785/1-s2.0-S0022030211X00048/1-s2.0-S0022030211001755/main.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEN7%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2FwEaCXVzLWVhc3QtMSJGMEQCIDmu4YOKWFP27Hvb5PI6uBC9DjI1sDPGyFKWix9LkHDAiA%2BJPy4j0%2Bn](https://pdf.sciencedirectassets.com/279785/1-s2.0-S0022030211X00048/1-s2.0-S0022030211001755/main.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEN7%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2FwEaCXVzLWVhc3QtMSJGMEQCIDmu4YOKWFP27Hvb5PI6uBC9DjI1sDPGyFKWix9LkHDAiA%2BJPy4j0%2Bn)

Murray, R. (2010). *Harper, Bioquímica ilustrada*. México: Mc Graw - Hill.

Ogborn, K. (2006). *Effects of method of delivery of glycerol on performance and metabolism of dairy cows during the transition period*. Obtenido de

<https://ecommons.cornell.edu/bitstream/handle/1813/3381/OgbornThesisFinaldraft.pdf;sequence=1>

Omazic, A. (2013). *Glycerol supplementation in dairy cows and calves*. Obtenido de Vol. 2013, No. 83): https://pub.epsilon.slu.se/10898/1/werneromazic_a_131115.pdf

Ortega, A., Hernández, J., & Gutiérrez, C. (2010). *La administración oral de glicerol después de la inseminación incrementa el porcentaje de concepción en vacas Holstein*. Obtenido de Revista mexicana de ciencias pecuarias, vol.1 no.1: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11242010000100006

Osman, M., Allen, P., Mehayar, A., Bobe, G., Coetzee, J., Koehler, K., & Beitz, D. (2008). *Acute metabolic responses of postpartal dairy cows to subcutaneous glucagon injections, oral glycerol, or both*. Obtenido de Journal of dairy science, 91(9), 3311-3322.: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030208710464>

Paiva, P., Del Valle, T., Jesus, F., Bettero, V., Almenida, G., Bueno, I., & Renno, F. (2016). *Effects of crude glycerin on milk composition, nutrient digestibility and ruminal fermentation of dairy cows fed corn silage-based diets*. Obtenido de Animal Feed Science and Technology, 212, 136-142.: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377840115301061>

Piantoni, P., & Allen, M. (2015). *Evaluation of propylene glycol and glycerol infusions as treatments for ketosis in dairy cows*. Obtenido de Journal of dairy science, 98(8), 5429-5439.: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030215004154>

Pittaluga, A. (2012). *Efecto de niveles incrementales de glicerol crudo en la dieta sobre parámetros productivos en vacas Holando*. Obtenido de <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/1713/1/3823pit.pdf>

- Porcu, C. (2018). *Effects of short-term administration of a glucogenic mixture at mating on feed intake, metabolism, milk yield and reproductive performance of lactating dairy ewes*. Obtenido de *Animal feed science and technology*, 243, 10-21.:
https://www.researchgate.net/profile/Sara_Succu/publication/326085246_Effects_of_short-term_administration_of_a_glucogenic_mixture_at_mating_on_feed_intake_metabolism_milk_yield_and_reproductive_performance_of_lactating_dairy_ewes/links/5b3f2866a6fdcc8506
- Quispe, C. (2012). *Comparación de costos de producción conjunta de electricidad y calor usando gas natural y glicerol*. Obtenido de *Revista de investigación de física*, 15(01).:
<https://pdfs.semanticscholar.org/cd52/7de893d3a13065189b34fb1da70eee14c420.pdf>
- Rémond, B. (2013). *In vitro and in vivo fermentation of glycerol by rumen microbes*. Obtenido de *Animal Feed Science and Technology*, 41(2), 121-132.:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0377840193901184>
- Rojek, V., Fonty, G., Andre, C., Nielsen, S., Fenton, R., & Gouet, P. (2008). *A current view of the mammalian aqua glyceroporins*. Obtenido de *Annu Rev Physiol* 2008;70:301e27.
- Saleem, A. (2018). *Effect of glycerol supplementation during early lactation on milk yield, milk composition, nutrient digestibility and blood metabolites of dairy buffaloes*. Obtenido de *R. animal*, 12(4), 757-763.:
http://mc.minia.edu.eg/research/admin/Publications/28108152403951_div_class__ti

tle__Effect_of_glycerol_supplementation_during_early_lactation_on_milk_yield__
milk_composition__nutrient_digestibility_and_blo.pdf

Saleem, A., Zanoumy, A., & Singer, A. (2018). Effect of glycerol supplementation during early lactation on milk yield, milk composition, nutrient digestibility and blood metabolites of dairy buffaloes. *Animal*, 12 (4), 757-763.

Schröder, A. (2010). *Glycerol as a by-product of biodiesel production in diets for ruminants*. Obtenido de New Horizons for an Old Crop Proceedings of the 10th International Rapeseed Congress. Canberra, Australia: The Regional Institute Ltd.

Shin, J. (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. *J Dairy Sci*, 95 (7), 4006-4016.

Shwe, W. (2015). *Techno-Economic Assessment of Different Pathways for Utilizing Glycerol Derived From Waste Cooking Oil-Based Biodiesel*. Obtenido de ASME 2015 9th International Conference on Energy Sustainability collocated with the ASME 2015 Power Conference, the ASME 2015 13th International Conference on Fuel Cell Science, Engineering and Technology, and the ASME 2015 Nuclear Forum: <https://asmedigitalcollection.asme.org/ES/proceedings-abstract/ES2015/56840/V001T02A005/228259>

Simoes, M. (2011). *PdAu/C catalysts prepared by plasma sputtering for the electro-oxidation of glycerol*. Obtenido de Applied Catalysis B: Environmental, 107(3-4), 372-379.: https://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/61/84/79/PDF/Mougenot_et_al_PdAu-glycerolrev1-2ApplCatB.pdf

- Souza, A. (2014). *Glycerol inclusion levels in corn and sunflower silages*. Obtenido de *Ciência e Agrotecnologia*, 38(5), 497-505.:
http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-70542014000500009&script=sci_arttext
- Stierwalt, M. (2016). *Effects of supplement type and forage type on ruminal metabolism and diet digestibility of cattle*. Obtenido de <https://www.ideals.illinois.edu/bitstream/handle/2142/95278/STIERWALT-THESIS-2016.pdf?sequence=1>
- Sudekum, K. (2008). *Quality characteristics of pelleted compound feeds under varying storage conditions as influenced by purity and concentration of glycerol from biodiesel production*. Obtenido de *Journal of Animal and Feed Sciences*, 17(1), 120.:
<https://pdfs.semanticscholar.org/3047/0e5fc5154751077209201553bd7c800fe665.pdf>
- Sutton, J. (1989). *Altering milk composition by feeding*. Obtenido de *J Dairy Sci*, 72 (10), pp. 2801-2814: [https://pdf.sciencedirectassets.com/279785/1-s2.0-S0022030289X72617/1-s2.0-S0022030289794261/main.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEN3%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2FwEaCXVzLWVhc3QtMSJHMEUCIDTQI6f5lnX%2Bom4jsLcSMK0sGTGq2KJzA378JtI9vpnyAiEA35TrOv1e4U](https://pdf.sciencedirectassets.com/279785/1-s2.0-S0022030289X72617/1-s2.0-S0022030289794261/main.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEN3%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2FwEaCXVzLWVhc3QtMSJHMEUCIDTQI6f5lnX%2Bom4jsLcSMK0sGTGq2KJzA378JtI9vpnyAiEA35TrOv1e4U)
- Thompson, J., & He, B. (2006). *Characterization of crude glycerol from biodiesel production from multiple feedstocks*. Obtenido de *Applied engineering in agriculture*, 22(2), 261-265.:

http://biodieselfeeds.cfans.umn.edu/sites/biodieselfeeds.cfans.umn.edu/files/2006-thompson-characterization_of_crude_glycerol_from_biodiesel_production.pdf

Thot, D. (2017). *Effect of supplementary glycerin on milk composition and heat stability in dairy goats*. . Obtenido de Asian-Australas J Anim Sci 2017;30(12):1711e7.

Trabue, S. (2007). *Ruminal fermentation of propylene glycol and glycerol*. Obtenido de Journal of Agricultural and Food Chemistry, 55(17), 7043-7051.:
https://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1014&context=cbe_pubs

Van Cleef, E. (2014). *Crude glycerin in diets for feedlot Nellore cattle*. Obtenido de Revista Brasileira de Zootecnia, 43(2), 86-91.:
http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1516-35982014000200006&script=sci_arttext

Wafaa, M., & Mervat, S. (2011). *EFFECT OF CRUDE GLYCEROL AS A SUBSTITUTE FOR CORN WITH OR WITHOUT FIBROLYTIC ENZYMES ON PRODUCTIVE PERFORMANCE OF LACTATING BALADI GOATS*. Obtenido de Egyptian J. Nutrition and Feeds, 18(3), 315-325.:
<https://content.sciendo.com/downloadpdf/journals/nbec/12/1/article-p39.xml>

Wang, C., Liu, Q., Yang, W., Huo, W., Dong, K., Huang, Y., & He, D. (2009). *Effects of glycerol on lactation performance, energy balance and metabolites in early lactation Holstein dairy cows*. Obtenido de Animal Feed Science and Technology, 151(1-2), 12-20.:
https://pubag.nal.usda.gov/?page=90388&search_field=all_fields&utf8=%E2%9C%93

Werner, O., & Kronquist, C. (2015). *The fate of glycerol entering the rumen of dairy cows and sheep*. Obtenido de Journal of animal physiology and animal nutrition, 99(2), 258-264.: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/jpn.12245>