

Suplementación lipídica para la producción de carne bovina en confinamientos

Lipid supplementation for the production of bovine meat in feedlots

Daniela Alvarado Vesga^{1*} ; Yury Tatiana Granja Salcedo² .

¹Universidad de Santander, Facultad de Ciencias Naturales, Físicas, Exactas y Agropecuarias. Bucaramanga, Colombia.

²Universidad Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Facultad de Ciencias Agrarias y Veterinarias, Jaboticabal, Brasil.

*Correspondencia: humbertorichi@hotmail.com

Recepción: 18 junio 2020 | Aprobación: mayo 2021 | Publicación: 5 agosto 2021

RESUMEN

Los rumiantes consumen cantidades reducidas de lípidos en las dietas limitando así los desempeños productivos, por lo cual incrementar las concentraciones de estos en la dieta permite diversos beneficios como mayor disponibilidad de energía, mejor nivel productivo, aprovechamiento de área y calidad nutricional de productos como carne y leche. En la ganadería de carne los requerimientos energéticos son mayores y los lípidos por ser una fuente extremadamente rica en energía ayudan a un mejor desempeño de peso y a la absorción de vitaminas liposolubles, sin embargo, pueden desencadenar alteraciones en la población y la fermentación ruminal. Esta revisión tuvo como objetivo discutir los efectos de la suplementación lipídica sobre el metabolismo ruminal y los microorganismos que habitan ese ecosistema en la producción de carne bajo confinamiento. Investigaciones sugieren que la adición de lípidos permite mejorar la productividad y calidad de la carne, lo cual es importante para la seguridad alimentaria. Además, la evaluación del metabolismo ruminal con dietas lipídicas y sus asociaciones posibilita explorar mejorías en la composición de las mismas, para mejores beneficios productivos y contribuir así con las demandas de proteína.

Palabras clave: Ácidos grasos; bacterias; biohidrogenación; fermentación; protozoarios.

ABSTRACT

Ruminants intake reduced amounts of lipids in diets, thus limiting productive performances, so increasing their concentrations in the diet allows various benefits such as greater energy availability, better productive level, use of area and nutritional quality of products such as meat and milk. In cattle livestock, the energy requirements are higher and the lipids are extremely rich source of energy, help to better weight performance and the absorption of fat-soluble vitamins, however, it can trigger alterations in the population and ruminal fermentation. The aim of this review was to discuss the effects of lipid supplementation on ruminal metabolism and the microorganisms that inhabit that ecosystem in feedlot meat production. Research suggests that adding lipids improves meat productivity and quality, which is important for food security. Furthermore, the evaluation of ruminal metabolism with lipid diets and their associations makes it possible to explore improvements in their composition, for better productive benefits and thus contribute to protein demands.

Keywords: Bacteria; biohydrogenation; fatty acids; fermentation; protozoa.

Como citar (Vancouver).

Alvarado-Vesga D, Granja-Salcedo YT. Suplementación lipídica para la producción de carne bovina en confinamientos. Rev Colombiana Cienc Anim. Recia. 2021; 13(2):e770 <https://doi.org/10.24188/recia.v13.n2.2021.770>

INTRODUCCIÓN

El crecimiento constante de la población mundial exige una mayor producción de alimentos para garantizar la seguridad alimentaria, mediante el desarrollo de sistemas productivos eficientes y sostenibles. De acuerdo con las proyecciones realizadas por la FAO la población mundial será de 9.735.003,99 para el 2050 (1), por lo cual la producción de alimento deberá acompañar este aumento, con el fin de suplir la demanda y garantizar la seguridad alimentar en el mundo. Siendo la producción de carne bovina una de las principales fuentes de alimento de alta calidad nutricional.

La inclusión de lípidos en las dietas para bovinos contribuye al suministro de energía que es reflejado en la mejora de los índices productivos y en la aceleración del ciclo de producción de los animales (2), puesto que estos aportan aproximadamente 9.4Kcal/g de energía metabolizable (3). Sin embargo, el uso de lípidos en las dietas para rumiantes puede afectar la degradación de la dieta a nivel ruminal (4), reduciendo la multiplicación y adhesión de los microorganismos por efectos antimicrobianos de los ácidos grasos insaturados (AGIS) (5). El uso de las fuentes lipídicas como opción energética mejora los perfiles de ácidos grasos (AG) en la carne y los índices productivos, permitiendo así ampliar su uso en las ganaderías (6). Por lo tanto, esta revisión de literatura tiene como objetivo presentar el contexto actual de la suplementación lipídica en bovinos de carne y su asociación con los microorganismos ruminales.

Terminación de bovinos en confinamiento

Normalmente las categorías de animales para confinamiento son machos castrados, machos enteros, novillas y vacas de descarte, con un tiempo de confinamiento de 70-100, 90-120, 60-90 y 50-70 días, respectivamente (7). En Suramérica, el periodo en promedio de los animales en confinamiento es de 68.87 y 94.20 días, para novillos precoces y muy precoces respectivamente, suplementados con ensilajes de maíz, naranja, avena, concentrado con salvado de soya, girasol, residuos de trigo, granos de maíz y sorgo; ganando 1,004 g/día y 1,351 g/día, alcanzando 441 y 388 kg para muy precoces y precoces respectivamente, siendo sacrificados entre los 27 y 30 meses (8).

Dentro de las ventajas del confinamiento se resalta el aumento de la eficiencia productiva del rebaño, puesto que hay reducción del tiempo de sacrificio, un mejor aprovechamiento del animal, el uso del forraje excedente será mejor utilizado debido a que los pastos liberados serán destinados a otras categorías de animales, mejorar la calidad de la carne, aumentar la productividad e intensificar el retorno de capital (7). Además, los animales finalizados en el sistema de confinamiento presentan un mayor rendimiento en canal (9) 10 castrated males, and 10 females of Canchim breed finished in feedlot were evaluated. Animals were fed: 1 – corn silage and concentrate containing soybean meal, corn and citrus pulp (CS. Por otra parte, una de las desventajas del sistema de confinamiento más controversiales es el alto costo de producción de un animal en ese sistema.

Las fuentes de forraje generalmente son producidas en la propiedad y un factor de suma importancia es la selección de la fuente a utilizar, las principales opciones que son los ensilajes y henos: el ensilaje de maíz, la cual tiene un alto costo pero una buena calidad nutricional o el ensilaje de sorgo, que es similar al maíz pero con menor calidad nutricional (7). El heno es uno de los alimentos más versátiles para proporcionar forraje en las dietas de confinamiento, su valor nutricional está determinado por muchos factores, incluidas las especies, la etapa de madurez, la fertilidad del suelo y el crecimiento.

Otra alternativa considerable en las dietas de confinamiento es la semilla de algodón, puesto que por su alto contenido de proteína, fibra y energía (10), proporciona una buena ganancia de peso, sin embargo no mayor al maíz y la soya. El suministro de energía a través del maíz es costoso para la producción bovina, por lo que reemplazar o reducir el maíz por otras fuentes energéticas como los lípidos, es una forma más económica y eficiente para la suplementación energética.

Las dietas para la terminación de bovinos de carne en confinamiento generalmente tienen un alto contenido energético, aportado por los granos que son una de las mayores fuentes de energía. Sin embargo, existe una gran variedad de fuentes energéticas, el aceite de soya (AS), linaza, palma y pescado, entre otras, que son utilizadas en la nutrición de rumiantes. Entre ellas se destaca el AS por ser rico en AGIS, principalmente ácido linoleico (C18:2 *Cis*-9, *Cis*-12), el cual tiene propiedades anticancerígenas en los humanos (11) y contribuyendo con el fortalecimiento del sistema inmune. Este tipo de dietas permiten una ganancia de peso más rápida, mejor conversión alimentaria y rendimiento en canal al sacrificio (12); por lo que la suplementación de ácidos grasos polinsaturados (AGPI) es considerada como una alternativa para mejorar los parámetros de desempeño durante el crecimiento de bovinos en confinamiento.

Población microbiana ruminal

Los millones de microorganismos que habitan el retículo-rumen incluyen bacterias, *Archaeas*, virus, hongos y protozoos. Estas comunidades microbianas pueden producir una amplia gama de enzimas con funciones esenciales en la descomposición de carbohidratos estructurales (CE) y carbohidratos no estructurales (CNE) de la planta, compuestos nitrogenados como proteínas vegetales, aminoácidos, urea y además lípidos (13). Las bacterias ruminales son el principal componente de la biomasa microbiana del rumen, con una abundancia de 10^{10} - 10^{11} células / ml, la diversidad de bacterias en el rumen se estima en 7000 especies de las cuales aproximadamente el 30% todavía no han sido identificadas (14). Se estima que la diversidad de especies bacterianas y *Archaeas* en el rumen es de aproximadamente 7,000 y 1,500 especies, respectivamente; con una diversidad encontrada de 5.271 unidades taxonómicas, que representaban 19 filos existentes, siendo *Firmicutes* 56%, *Bacteroides* 31% y *Proteobacterias* 4%, además más del 90% de las secuencias de *Firmicutes* se relacionan con géneros de la clase *Clostridia*, como *Clostridia*, *Lachnospiraceae*, *Ruminococcaceae* y *Veillonellaceae* (15,16).

La diversidad bacteriana ruminal es muy alta debido a varios factores como las características del ambiente ruminal y la alimentación, puesto que es compleja, la cual contiene carbohidratos, proteínas, lípidos, minerales y numerosos otros compuestos orgánicos (16,17). Los rumiantes tienen dos vías de adaptación del rumen, donde los organismos pueden adaptarse estrechamente para ser altamente especializados, compitiendo por los alimentos y ocupando un nicho limitado, o adaptarse ampliamente y ser capaces de utilizar muchos nutrientes y otro factor considerado es la selección en la diversidad de la población ruminal, lo cual puede expresarse como una selección para el máximo trabajo bioquímico (14,18). Durante la fermentación ruminal, los componentes energéticos, principalmente carbohidratos se convierten en energía para las células microbianas y en desechos como dióxido de carbono, metano y ácidos grasos volátiles (AGV); principalmente acético, propiónico y butírico (19).

Las principales bacterias celulolíticas o fibrolíticas son fermentadoras de CE como *R. flavefaciens*, *R. albus* y *F. succinogenes*, las cuales hidrolizan celulosa por medio de los complejos enzimáticos, además este tipo de bacterias se adhieren firmemente a las partículas fibrosas y por medio del celulosoma (20). Los principales productos de las especies celulolíticas son acetato, butirato, succinato, formiato y CO_2 . Otro tipo de bacteria importante es la *B. fibrisolvens*, la cual degrada celulosa y hemicelulosa (21). Las bacterias amilolíticas y pectinolíticas son las encargadas de fermentar CNE como el almidón y la pectina. Sin embargo, estos microorganismos son afectados por la inclusión de lípidos en la dieta, reduciendo su población, al inhibir su multiplicación por los efectos tóxicos (22). Un estudio de suplementación lipídica con aceite de soya en bovinos reporta que *R. flavefaciens*, *R. albus* y *F. succinogenes* fueron reducidas (23). El almidón es fermentado por especies del género *Bacterioides*, dentro de las cuales se encuentran *Bacterioides amylophilus* la cual degrada almidón, pero no logra utilizar glucosa. *Streptococcus bovis*, *Selenomonas ruminantium*, y *Prevotella spp*, fermentan almidón y azúcares solubles, produciendo acetato, propionato, butirato y formiato (15,24).

Los microorganismos lipolíticos tienen la capacidad de hidrolizar los lípidos en el rumen, una de ellas es la *A. lipolytica* realizando la lipólisis de triglicéridos y utilizando ribosa, fructosa, glicerol y lactato como fuente de carbono y energía (22,25). Durante la lipólisis de triglicéridos *A. lipolytica* utiliza enzimas para obtener el glicerol y libera los AG. Después de la lipólisis, ocurre la biohidrogenación (BH) de los AG, resultando en la transformación de los mismos a la forma de isómeros o totalmente saturados, por ejemplo a partir del ácido linoleico puede ser producido ácido linoleico conjugado (CLA) (25,26). Estudios con suplementación lipídica en asociación con GC evidencian que *A. lipolytica* es estimulada por mayor presencia del sustrato debido a la naturaleza lipídica de fermentación (23). Las bacterias lipolíticas como *B. fibrisolvens* y *A. lipolytica* son las principales encargadas de la BH.

Uno de los primeros estudios realizados con dietas lipídicas mostraron que microorganismos como *Prevotella ruminicola* y algunas cepas de *B. fibrisolvens* se ven afectados negativamente por los ácidos palmítico (C16: 0) y esteárico (27). La bacteria *B. fibrisolvens* hidroliza los fosfolípidos y tiene un papel importante en la BH, a pesar de ser una bacteria lipolítica, su crecimiento es afectado por los AGPI, como ácido linoleico (LA; cis-9, cis-12-18: 2) y el ácido α -linolénico (LNA; cis-9, cis-12, cis-15-18: 3) puesto reducen el crecimiento de *B. fibrisolvens*. La BH ocurre para permitir que *B. fibrisolvens* sobreviva a los efectos bacteriostáticos de AGPI, y que la toxicidad de estos probablemente esté mediada por un efecto metabólico en lugar de la interrupción de la integridad de la membrana (21).

Fermentación ruminal

Durante la evolución de los rumiantes se desarrollaron características anatómicas y simbióticas que les permitieron utilizar eficientemente los CE como fuente de energía y los compuestos nitrogenados no proteicos como fuente de proteína (28). La dieta de los rumiantes es compleja, contiene carbohidratos, proteínas, grasas, minerales y otros numerosos compuestos orgánicos. Los carbohidratos comprenden entre el 70 y 80 % de la ración los cuales son fundamentales en

las demandas de energía, la síntesis microbiana y salud del animal (29,30). La fermentación es el resultado de la actividad física y microbiológica en la cual los componentes de la dieta se convierten en AGV, proteína microbiana, vitaminas, metano, dióxido de carbono, amonio, nitrato (13). Este proceso es mediado por las bacterias del rumen las cuales están adaptadas para vivir en un pH entre 5.5 y 7.0, en ausencia de oxígeno, con una temperatura de 39-40°C y una osmolaridad entre 260 y 340 mOsm (31).

Las dietas lipídicas interfieren en la adherencia y colonización bacteriana (5) que es el primer paso para la degradación de los componentes de la dieta en la fermentación ruminal, la cual es dada mediante la forma de biofilmes, definidos como poblaciones de bacterias adheridas entre sí, para anclarse a la fibra; en este proceso hay aproximación de las enzimas a los sustratos y es considerado como un factor importante de competencia por el alimento entre las especies bacterianas (32). La adherencia por las bacterias se divide en 4 fases, la primera fase inicia pocos minutos después de la ingestión de alimento en el cual implica contacto aleatorio con las bacterias que están libres en fluido ruminal con la partícula recién ingerida (33). En la segunda fase ocurre la adhesión no específica, implicando la participación de moléculas de naturaleza proteica y lipídica, presentes en la superficie externa de la célula bacteriana, denominado glicocalix. La tercera fase, definida como el proceso por el cual la interacción específica es inducida entre moléculas presentes en la superficie externa bacteriana denominadas adhesinas, las cuales reconocen receptores en la superficie expuesta de la partícula, donde además participan proteínas de la envoltura celular (34,35). Por último, en la cuarta fase ocurre la proliferación celular y formación de colonias bacterianas (biofilmes) sobre las áreas expuestas potencialmente digestibles. Este proceso de adherencia se ve afectado por varios factores relacionados a las bacterias, la dieta y el ambiente ruminal (33). Las alteraciones por los lípidos en el rumen afectan la degradación de la dieta y por ende los parámetros de fermentación ruminal (36,37).

Adicionalmente, se conoce que los CE y CNE dependen de la función de las plantas; los CE son encontrados en la pared celular y le dan el soporte necesario para el crecimiento, además la pared celular es compuesta de pectina, celulosa, hemicelulosa y lignina (7). Mientras que los CNE están presentes en el contenido celular vegetal, químicamente conocidos como monosacáridos y oligosacáridos; como la fructosa, sacarosa y lactosa. La fermentación de CE produce glucosa la cual será convertida en piruvato, para luego ser acetil CoA y finalizar con los AGV; butirato, acetato, propionato y lactato, para suplir las necesidades energéticas que demandan los rumiantes (36). De igual forma, los CNE son metabolizados por protozoos, hongos y principalmente por las bacterias amilolíticas y pectinolíticas encargadas de la degradación del almidón en el rumen; entre las más relevantes están, *Streptococcus bovis*, *Ruminobacter amilophilus*, *P. ruminicola*, *B. fibrisolvens*, *Succinomonas amylolytica* y *S. ruminantium* (30). Los principales productos formados de los CNE son AGV, además, gas carbónico, metano, amonio y células microbianas. Estudios reportan que varios de estos microorganismos son influenciados por las fuentes lipídicas, generando alteraciones en los parámetros de fermentación ruminal, como la reducción de propionato y acetato; asociado a la reducción de los microorganismos (24).

La proteína bruta presente en los alimentos y el forraje son compuestas por una fracción degradable en el rumen (PDR) y una fracción no degradable (PNDR). La degradación es mediada por la acción de enzimas (proteasas, peptidasas y desaminasas) secretadas por los microorganismos ruminales y se conoce que la actividad de las proteasas bacterianas está asociada a la superficie de la pared celular (38). Algunas de las principales bacterias proteolíticas son *B. amylophilus*, *Prevotella ruminicola*, *B. ruminicola*, *Butyrivibrio spp.*, y *S. ruminantium* (39). La fracción de PDR produce péptidos, aminoácidos y amonio; mientras que la PNDR es absorbida en el intestino delgado.

La degradación de las proteínas en el rumen termina con la liberación de péptidos y aminoácidos para posteriormente ser captados por las células bacterianas o protozoarias (40). Los péptidos que ingresan en las células bacterianas son hidrolizados en el citoplasma, liberando aminoácidos los cuales serán metabolizados para que ingresen en la célula bacteriana y puedan ser incorporados en proteínas o desaminados, o también metabolizados en AGV (41). Otro de los productos de la fermentación de origen proteico son los ácidos grasos de cadena ramificada, como isobutírico, isovalerato y 2-metilbutírico, los cuales son formados a partir de la fermentación de los aminoácidos como valina, leucina e isoleucina, respectivamente, los cuales son requeridos por los microorganismos ruminales (42).

A partir de la fermentación de proteínas, uno de los desechos favorables para los microorganismos es el amonio pues es utilizado para el crecimiento bacteriano (43). Adicionalmente, se conoce que la mayor eficiencia bacteriana ocurre cuando la concentración de nitrógeno amoniacal ($\text{NH}_3\text{-N}$) se sitúa entre 5 y 8 mg/100 ml de líquido ruminal, mientras que el valor normal es de 5 - 25 mg/100 ml de líquido ruminal (44). Por otra parte, el $\text{NH}_3\text{-N}$ es absorbido por la pared ruminal e ingresa al torrente sanguíneo, siendo transportado por el sistema portal-hepático al hígado, el cual lo transforma en urea para ser excretado por medio de los riñones, sin embargo cierta parte de esa urea regresa al rumen, de tres maneras distintas: (a) a través de componentes de la dieta; (b) a través de la saliva; o (c) por el paso de la molécula presente en

el torrente sanguíneo al rumen a través de la pared ruminal; este mecanismo se conoce comúnmente como proceso de reciclaje de urea en rumiantes (45) el cual garantiza el ingreso de N al rumen, si las dietas no poseen la suficiente concentración del mismo.

La síntesis de proteína microbiana (Pmic) es una fuente importante de proteína en la nutrición de los rumiantes, puesto que normalmente es la principal fuente de proteína metabolizable en el intestino (46). La proteína microbiana puede representar alrededor de 55 a 65% de la proteína metabolizable en bovinos de engorde en confinamiento con dietas ricas en energía, por lo cual la manipulación de las dietas que generen una reducción de la síntesis de proteína microbiana, normalmente comprometen el desempeño del animal (47).

Nutricionalmente, los lípidos en las dietas se agrupan como los de reserva presentes en las semillas, como triglicéridos y los del forraje; como los fosfolípidos y galactolípidos (25). La mayor parte de los AG de las plantas forrajeras son insaturados y uno de los principales es el ácido linolénico y linoleico. Los lípidos permiten aumentar la capacidad de absorción de vitaminas liposolubles y la eficiencia de energía en los animales. Se conoce que los ácidos grasos saturados (AGS) no contienen doble enlace, poseen solo un enlace sencillo y son hallados principalmente en la grasa animal, mientras que los AGIS tienen más de un enlace y son hallados en las plantas (48). A nivel ruminal, los triglicéridos y galactolípidos son hidrolizados por enzimas como las esterasas y lipasas las cuales en la ruta de los triglicéridos son hidrolizados por *A. lipolytica* los cuales serán convertidos en glicerol y AGV, de los galactolípidos resulta galactosa y glicerol, para finalizar como AGV (41). Asimismo, los fosfolípidos son hidrolizados por fosfolipasas, para obtener AGV que terminan como AGS, por la bacteria *B. fibrisolvens* (Figura 1).

Sin embargo, se conoce que en la BH también hay participación de hongos, en un estudio analizaron la tasa de BH del ácido linoleico por hongos ruminales mixtos en un experimento *in vitro* y observaron que los hongos ruminales pueden biohidrogenar LA, pero que su BH es más baja que la de las bacterias del rumen y se conoció también que el producto final de la BH fúngica es el ácido vaccénico (49). Además, se reporta que la población de protozoos disminuyen debido a los AG y por ende el grado de BH de forma directa ya que influye en las poblaciones bacterianas (50). Los resultados reportados de interés con respecto a la BH por parte de los protozoos, evidencian que el ácido palmítico se produjo en un 74% más en los protozoos que los AG bacterianos, mientras que las bacterias produjeron un contenido de ácido esteárico 2.25 veces mayor en comparación con los protozoos (51).

Asimismo, el ácido linoleico es biohidrogenado por las bacterias lipolíticas, donde una isomerasa convierte el ácido graso linoleico (cis-9, cis-12 dieno metileno-interrumpido) en ácido cis-9, trans-11 dieno conjugado, conocido como CLA y que el nombre común es ácido ruminal, para luego ser hidrogenado a trans-11 18:1 (ácido vaccénico) el cual es liberado en el rumen y allí los microorganismos hidrogenan la ligación trans-11, formando el producto final de la BH que es el ácido esteárico (25).

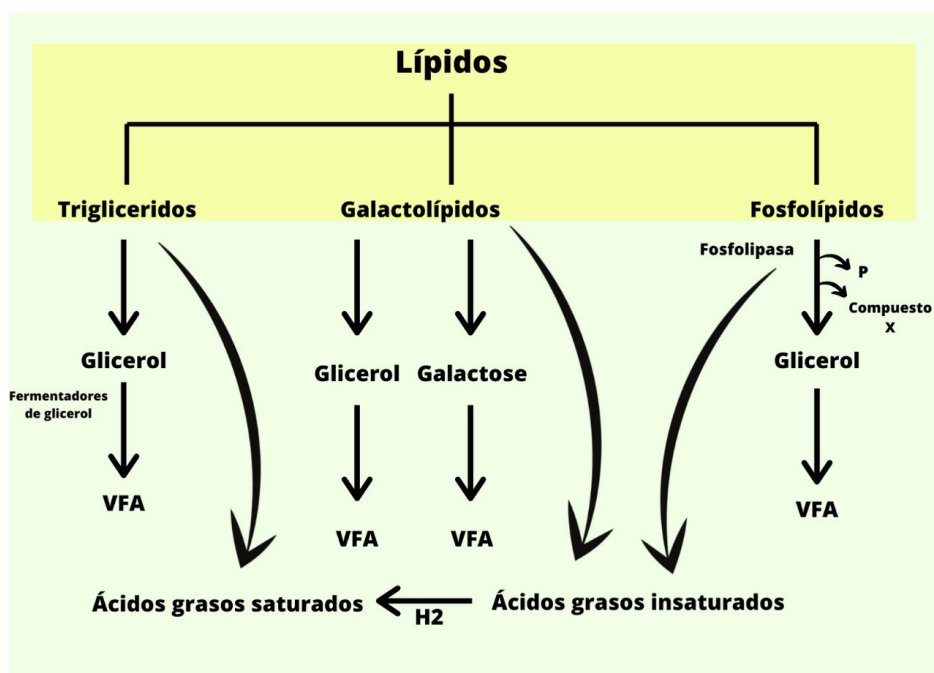


Figura 1. Esquema del proceso fermentativo de los lípidos y los productos del metabolismo. Adaptado de Nagajara, 2016.

Dietas lipídicas para bovinos de carne

Los rumiantes durante su evolución siempre han estado vinculados con el consumo de lípidos a través de forraje los cuales naturalmente poseen valores bajos de lípidos de aproximadamente un 3% de la MS (7). En la suplementación energética se pueden usar varios tipos de lípidos con diferentes composiciones de AG, como aceites vegetales, semillas oleaginosas y sales de calcio de AG. Actualmente el uso de AS como opción de suplementación lipídica, es muy usado, gracias a su rico contenido en AGIS; como el ácido linoleico. Estudios reportan que, en la suplementación lipídica las dietas con más de 70 g/kg de lípidos en la MS, pueden tener un efecto antimicrobiano, puesto que el exceso de lípidos principalmente los AGIS, pueden reducir la adhesión y multiplicación de la población bacteriana celulolítica, las cuales son responsables de la fermentación de la fibra (2,5).

Otra de las opciones de suplementación de lípidos es el aceite de pescado, el cual demuestra un aumento en la salida de AG n-3, ácido trans -10 octadecenoico y asimismo los resultados sugieren que la adición de aceite de pescado altera la formación ruminal, con respecto a los AGV y la BH, esto indicó que, según la fuente de aceite suplementada en la dieta, varían los efectos (52). Las afectaciones generadas por los lípidos en la microbiota del rumen han demostrado reducciones en las bacterias, un estudio realizado en bovinos Nelore en confinamiento reporta que una dieta de AS al 6% reduce la población de *R. flavefaciens*, *R. albus* y *F. succinogenes* (23). Adicionalmente, en este mismo estudio concluyen que el efecto de la asociación de GC al 6% con AS al 10% en la dieta, limita la BH de AGI y aumenta el flujo duodenal de estos ácidos sin influir en las bacterias celulolíticas del rumen, por lo tanto, esta asociación puede ser una estrategia nutricional para aumentar la deposición de AGI saludables en la carne.

Entre la gran cantidad de posibles fuentes lipídicas para ser utilizadas también se encuentra el aceite de palma; en un estudio en cabras se evaluó los efectos del aceite de palma al 5% con la torta de palmiste al 80% y la torta de decantación al 90%; la cual tenía un extracto etéreo (EE) de 10.9 g/kg/MS y la fuente lipídica contenida era aceite de palma, con respecto a la fermentación ruminal y digestibilidad, encontrando que la digestibilidad de la MS se redujo, para la dieta de torta de decantación, mientras que la digestibilidad de fibra detergente ácido (FDA) fue mayor (37). Además, la dieta con aceite de palma al 5% influyó a una reducción del consumo y las concentraciones de nitrógeno amoniacal evidenciaron una disminución en comparación con las otras dietas y finalmente, la población de protozoos fue erradicada del rumen.

El uso de grasas protegidas ofrecen una protección ruminal, por lo tanto, pueden tener ventajas en comparación con la grasa no protegida puesto que aumenta el flujo de AGIS y reducir el riesgo de trastornos digestivos (53). La evaluación de la suplementación de 3 tipos de grasa protegida al 5% en rumiantes ovinos de raza Dorper sobre el consumo, la digestibilidad, la población y el metabolismo ruminal, reporta que el CMS no es influenciado, la digestibilidad de igual forma no es afectada, sin embargo difiere entre los 3 tipos de grasa (54).

La glicerina cruda (GC) asociada a lípidos, es otra alternativa usada en las dietas de confinamiento para bovinos de carne, la cual es rica en energía y actualmente se ha convertido en una asociación atractiva para reemplazar los granos en las dietas energéticas de los rumiantes. En el rumen el glicerol es convertido a propionato y este actúa como precursor de la síntesis de glucosa en el hígado, proporcionando así energía para el metabolismo celular, por lo tanto, el suministro de GC podría aumentar la lipogénesis y con esto, el aumento de peso en los animales (55). La asociación de la GC con los lípidos, es una de las estrategias utilizadas para aumentar el flujo duodenal de los AGI y AGPI permitiendo así ejercer una mejora en el perfil de los AG de la carne y la leche, además reduciendo el efecto bacteriostático de los lípidos (56). En un estudio realizado en novillas Nelore a pastoreo en verano con GC al 7, 14, 21 y 28 % se observó afectaciones en el consumo de forraje, consumo de fibra detergente neutro (FDN) y digestibilidad de MS, a partir de 21% de GC (57) 70, 140, 210, and 280 g kg⁻¹ dry matter (DM). En otro estudio donde evaluaron la asociación con el AS sobre la tasa de BH, el flujo duodenal, la digestibilidad intestinal de los AG y las principales bacterias que participan en el BH, observaron una interacción entre la GC y el AS en la tasa de BH ruminal de AGPI, AGIS y el ácido linoléico, siendo la tasa de BH más baja con la dieta en asociación de GC y AS (GCAS) en comparación con solo AS (23). También se observó que esta interacción afectaba la tasa de BH de ácidos grasos monosaturados (AGMS), la cual es más baja con la dieta asociada que con las dietas de GC y AS, separadas. La dieta de AS redujo la población de *R. flavefaciens*, *R. albus* y *F. succinogenes*. Sin embargo, la proporción relativa de *A. lipolytica* aumentó en las dietas que contenían GC.

Consideraciones finales

Actualmente los desafíos de la seguridad alimentaria cada día son mayores, debido al crecimiento de la población, en la cual se estima que 795 mil millones de personas padecen hambre. En este contexto, la proteína animal es una solución e importante alimento para la población. Por lo cual la producción de carne en confinamiento asociada a una suplementación lipídica permite una mayor productividad por área, reducción de edad de sacrificio, control en la alimentación y rápido

retorno de capital. Además, las diferentes afectaciones por la inclusión de altas concentraciones de lípidos en la dieta sobre la fermentación ruminal son variables por lo cual se hace necesario continuar investigando las posibles suplementaciones debido a que aún es limitada la información en bovinos de carne bajo confinamiento con alto contenido de lípidos.

Conflicto de intereses

Declaramos no tener conflictos de interés con respecto al trabajo presentado en este informe.

Agradecimientos

A la FAPESP (Fundação de Amparo à pesquisa do Estado de São Paulo) por el soporte a la investigación posdoctoral de Granja-Salcedo, Y.T. (2017/02034-0).

REFERENCIAS

1. Faostat, población. FAO. 2020. <http://www.fao.org/faostat/es/#compare>
2. Carvalho I, Fiorentini G, Castagnino P de S, Jesus R de, Messana J, Granja-Salcedo Y, et al. Supplementation with lipid sources alters the ruminal fermentation and duodenal flow of fatty acids in grazing Nellore steers. *Anim Feed Sci Technol*. 2017; 227:142-153. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.02.017>
3. Granja-Salcedo Y. Glicerina bruta e lipídeos na dieta: manipulando o metabolismo ruminal de bovinos de corte. *Inves Med Vet*. 2016; 6. <https://doi.org/10.26843/investigacao.v15i7.1476>
4. Wanapat M, Mapato C, Pilajun R, Toburan W. Effects of vegetable oil supplementation on feed intake, rumen fermentation, growth performance, and carcass characteristic of growing swamp buffaloes. *Livest Sci*. 2011; 135(1):32-37. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.06.006>
5. Maia M, Chaudhary L, Bestwick C, Richardson A, McKain N, Larson T, et al. Toxicity of unsaturated fatty acids to the biohydrogenating ruminal bacterium, *Butyrivibrio fibrisolvens*. *BMC Microbiol*. 2010; 10:52. <https://doi.org/10.1186/1471-2180-10-52>
6. Fiorentini G, Santana M, Sampaio A, Reis R, Ribeiro A, Berchielli T. Intake and performance of confined crossbred heifers fed different lipid sources. *Rev Bras Zootec*. 2012; 41(6):1490-1498. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982012000600025>
7. Medeiros R, Gomes R, Bungenstab D. *Nutrição de bovinos de corte fundamentos e aplicações*. 1ed. Brasília: Embrapa; 2015. <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1010951/nutricao-de-bovinos-de-corte-fundamentos-e-aplicacoes>
8. Gottschall C, Canellas L, Marques P, Bittencourt H. Relationships between age, weight, average weight gain and days on feed of beef steers slaughtered at 15 or 27 months of age. *Ciênc Agrár*. 2009; 30(3):717-726. <http://dx.doi.org/10.5433/16790359.2009v30n3p717>
9. Fernandes A, Sampaio A, Henrique W, Oliveira E, Tullio R, Perecin D. Características da carcaça e da carne de bovinos sob diferentes dietas, em confinamento. *Arq Bras Med Veterinária*. 2008; 60(1):139-147. <https://doi.org/10.1590/S0102-09352008000100020>
10. Chuntrakort P, Otsuka M, Hayashi K, Takenaka A, Udchachon S, Sommart K. The effect of dietary coconut kernels, whole cottonseeds and sunflower seeds on the intake, digestibility and enteric methane emissions of Zebu beef cattle fed rice straw based diets. *Livest Sci*. 2014; 161:80-89. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2014.01.003>

11. Vahmani P, Ponnampalam EN, Kraft J, Mapiye C, Bermingham EN, Watkins PJ, et al. Bioactivity and health effects of ruminant meat lipids. Invited Review. *Meat Sci.* 2020; 165:108114. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108114>
12. Andrade E, Polizel A, Roça R, Faria M, Resende F, Siqueira G, et al. Beef quality of young Angus × Nellore cattle supplemented with rumen-protected lipids during rearing and fattening periods. 2014; 98(4):591-598. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.05.028>
13. McCann J, Elolimy A, Loor J. Rumen Microbiome, Probiotics, and Fermentation Additives. *Vet Clin North Am Food Anim Pract.* 2017; 33(3):539-553. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2017.06.009>
14. Fernando S, Purvis H, Najar F, Sukharnikov L, Krehbiel C, Nagaraja T, et al. Rumen Microbial Population Dynamics during Adaptation to a High-Grain Diet. *Appl Environ Microbiol.* 2010; 76(22):7482-7490. <https://doi.org/10.1128/AEM.00388-10>
15. Zeineldin M, Barakat R, Elolimy A, Salem AZM, Elghandour MMY, Monroy JC. Synergetic action between the rumen microbiota and bovine health. *Microb Pathog.* 2018; 124:106-115. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2018.08.038>
16. Chaucheyras-Durand F, Ossa F. The rumen microbiome: Composition, abundance, diversity, and new investigative tools. *Prof Anim Sci.* 2014; 30(1):1-12. [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)30076-0](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)30076-0)
17. Chaucheyras-Durand F, Masségla S, Fonty G, Forano E. Influence of the Composition of the Cellulolytic Flora on the Development of Hydrogenotrophic Microorganisms, Hydrogen Utilization, and Methane Production in the Rumen of Gnotobiotically Reared Lambs. *Appl Environ Microbiol.* 2010; 76(24):7931-7937. <https://doi.org/10.1128/AEM.01784-10>
18. Patel V, Patel AK, Parmar NR, Patel AB, Reddy B, Joshi CG. Characterization of the rumen microbiome of Indian Kankrej cattle (*Bos indicus*) adapted to different forage diet. *Appl Microbiol Biotechnol.* 2014; 98(23):9749-9761. <https://doi.org/10.1007/s00253-014-6153-1>
19. Krehbiel CR. Applied nutrition of ruminants: Fermentation and digestive physiology. *Prof Anim Sci.* 2014; 30(2):129-139. [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)30100-5](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)30100-5)
20. Ribeiro G, Gruninger R, Badhan A, McAllister T. Mining the rumen for fibrolytic feed enzymes. *Anim Front.* 2016; 6(2):20-26. <https://doi.org/10.2527/af.2016-0019>
21. Emerson E, Weimer P. Fermentation of model hemicelluloses by *Prevotella* strains and *Butyrivibrio fibrisolvens* in pure culture and in ruminal enrichment cultures. *Appl Microbiol Biotechnol.* 2017; 101(10):4269-4278. <https://doi.org/10.1007/s00253-017-8150-7>
22. Maia M, Chaudhary L, Figueres L, Wallace RJ. Metabolism of polyunsaturated fatty acids and their toxicity to the microflora of the rumen. *Antonie Van Leeuwenhoek.* 2007; 91(4):303-314. <https://doi.org/10.1007/s10482-006-9118-2>
23. Granja-Salcedo Y, Dias A, Gomez-Insuasti A, Messana J, Berchielli T. Diet containing glycerine and soybean oil can reduce ruminal biohydrogenation in Nellore steers. *Anim Feed Sci Technol.* 2017; 225:195-204. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.01.021>
24. Jami E, Mizrahi I. Similarity of the ruminal bacteria across individual lactating cows. *Anaerobe.* 2012; 18(3):338-343. <https://doi.org/10.1016/j.anaerobe.2012.04.003>
25. Buccioni A, Decandia M, Minieri S, Molle G, Cabiddu A. Lipid metabolism in the rumen: New insights on lipolysis and biohydrogenation with an emphasis on the role of endogenous plant factors. *Anim Feed Sci Technol.* 2012; 174(1-2):1-25. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2012.02.009>
26. Lourenço M, Ramos-Morales E, Wallace RJ. The role of microbes in rumen lipolysis and biohydrogenation and their manipulation. *Animal.* 2010; 4(7):1008-1023. <https://doi.org/10.1017/S175173111000042X>

27. Maczulak AE. Effects of Long-Chain Fatty Acids on Growth of Rumen Bacteriat. *Appl Env Microbiol.* 1981; 42(5):856-862. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC244119/>
28. Wadhwa M, Bakshi MPS, Makkar HPS. Modifying gut microbiomes in large ruminants: Opportunities in non-intensive husbandry systems. *Anim Front.* 2016; 6(2):27-36. <https://doi.org/10.2527/af.2016-0020>
29. Harmon DL, Swanson KC. Review: Nutritional regulation of intestinal starch and protein assimilation in ruminants. *Animal.* 2020; 14(S1):s17-s28. <https://doi.org/10.1017/S1751731119003136>
30. Diaz HL, Karnati SKR, Lyons MA, Dehority BA, Firkins JL. Chemotaxis toward carbohydrates and peptides by mixed ruminal protozoa when fed, fasted, or incubated with polyunsaturated fatty acids. *J Dairy Sci.* 2014; 97(4):2231-2243. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7428>
31. Rey M, Enjalbert F, Combes S, Cauquil L, Bouchez O, Monteils V. Establishment of ruminal bacterial community in dairy calves from birth to weaning is sequential. *J Appl Microbiol.* 2014; 116(2):245-257. <https://doi.org/10.1111/jam.12405>
32. Beauchemin KA. Invited review: Current perspectives on eating and rumination activity in dairy cows. *J Dairy Sci.* 2018; 101(6):4762-4784. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13706>
33. Wang GR, Duan YL. Studies on Lignocellulose Degradation by Rumen Microorganism. *Adv Mater Res.* 2013; 853:253-259. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.853.253>
34. Farenzena R, Kozloski GV, Mezzomo MP, Fluck AC. Forage degradability, rumen bacterial adherence and fibrolytic enzyme activity in vitro: effect of pH or glucose concentration. *J Agric Sci.* 2014; 152(2):325-332. <https://doi.org/10.1017/S0021859613000427>
35. Raut MP, Karunakaran E, Mukherjee J, Biggs CA, Wright PC. Influence of Substrates on the Surface Characteristics and Membrane Proteome of *Fibrobacter succinogenes* S85. Desvaux M, editor. *PLOS ONE.* 2015; 10(10):e0141197. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0141197>
36. Patra AK, Yu Z. Effects of Essential Oils on Methane Production and Fermentation by, and Abundance and Diversity of, Rumen Microbial Populations. *Appl Environ Microbiol.* 2012; 78(12):4271-4280. <https://doi.org/10.1128/AEM.00309-12>
37. Abubakr A, Alimon A, Yaakub H, Abdullah N, Ivan M. Digestibility, rumen protozoa, and ruminal fermentation in goats receiving dietary palm oil by-products. *J Saudi Soc Agric Sci.* 2013; 12(2):147-154. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2012.11.002>
38. Peng Q, Khan NA, Wang Z, Yu P. Relationship of feeds protein structural makeup in common Prairie feeds with protein solubility, in situ ruminal degradation and intestinal digestibility. *Anim Feed Sci Technol.* 2014; 194:58-70. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.05.004>
39. Wang ZB, Xin HS, Bao J, Duan CY, Chen Y, Qu YL. Effects of hainanmycin or monensin supplementation on ruminal protein metabolism and populations of proteolytic bacteria in Holstein heifers. *Anim Feed Sci Technol.* 2015; 201:99-103. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.01.001>
40. Belanche A, de la Fuente G, Moorby JM, Newbold CJ. Bacterial protein degradation by different rumen protozoal groups1. *J Anim Sci.* 2012; 90(12):4495-4504. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5118>
41. De Beni Arrigoni M, Ludovico C, Factori MA. Lipid Metabolism in the Rumen. En: Nagaraja T. *Rumenology.* Springer International Publishing; 2016.
42. Liu K, Li Y, Luo G, Xin H, Zhang Y, Li G. The relationships of dairy ruminal odd- and branched- chain fatty acids to the duodenal bacterial nitrogen flow and volatile fatty acids. *Livest Sci.* 2020; 233:103971. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.103971>

43. Lu Z, Stumpff F, Deiner C, Rosendahl J, Braun H, Abdoun K, et al. Modulation of sheep ruminal urea transport by ammonia and pH. *Am J Physiol-Regul Integr Comp Physiol*. 2014; 307(5):R558-R570. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00107.2014>
44. Souza NKP, Detmann E, Valadares Filho SC, Costa VAC, Pina DS, Gomes DI, et al. Accuracy of the estimates of ammonia concentration in rumen fluid using different analytical methods. *Arq Bras Med Vet Zootec*. 2013; 65(6):1752-1758. <https://doi.org/10.1590/S0102-09352013000600024>
45. Silva LFP, Dixon RM, Costa DFA. Nitrogen recycling and feed efficiency of cattle fed protein-restricted diets. *Anim Prod Sci*. 2019; 59(11):2093-2107. <https://doi.org/10.1071/AN19234>
46. Li C, Beauchemin KA, Yang W. Feeding diets varying in forage proportion and particle length to lactating dairy cows: I. Effects on ruminal pH and fermentation, microbial protein synthesis, digestibility, and milk production. *J Dairy Sci*. 2020; 103(5):4340-4354. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17606>
47. Prates LL, Valadares RFD, Filho SCV, Detmann E, Ouellet DR, Batista ED, et al. Investigating the effects of sex of growing Nellore cattle and crude protein intake on the utilization of recycled N for microbial protein synthesis in the rumen by using intravenous 15 N 15 N-urea infusion. *Anim Feed Sci Technol*. 2017; 231:119-130. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.06.014>
48. Arcuri P, Ferraz F, Costa J. Microbiologia do rumen. En: Berchielli T, Pires A, Oliveira S. Nutrição de ruminantes. 2.a ed. Jaboticabal: Funep; 2011.
49. Nam IS, Garnsworthy PC. Biohydrogenation of linoleic acid by rumen fungi compared with rumen bacteria. *J Appl Microbiol*. 2007; 103(3):551-556. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2007.03317.x>
50. Karnati SKR, Sylvester JT, Ribeiro CVDM, Gilligan LE, Firkins JL. Investigating unsaturated fat, monensin, or bromoethanesulfonate in continuous cultures retaining ruminal protozoa. I. Fermentation, biohydrogenation, and microbial protein synthesis. *J Dairy Sci*. 2009; 92(8):3849-3860. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1436>
51. Or-Rashid MM, Odongo NE, McBride BW. Fatty acid composition of ruminal bacteria and protozoa, with emphasis on conjugated linoleic acid, vaccenic acid, and odd-chain and branched-chain fatty acids1. *J Anim Sci*. 2007; 85(5):1228-1234. <https://doi.org/10.2527/jas.2006-385>
52. Duckett SK, Gillis MH. Effects of oil source and fish oil addition on ruminal biohydrogenation of fatty acids and conjugated linoleic acid formation in beef steers fed finishing diets. *J Anim Sci*. 2010; 88(8):2684-2691. <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2375>
53. Park B-K, Lee S-M, Kim H-C, Chang S-S, Kim T-I, Cho Y-M, et al. Effects of Ruminally Protected Amino Acid-enriched Fatty Acids on Growth Performance and Carcass Characteristics of Fattening Hanwoo Cows. *J Anim Sci Technol*. 2010; 52(6):499-504. <https://doi.org/10.5187/JAST.2010.52.6.499>
54. Behan, Loh, Fakurazi, Kaka, Kaka, Samsudin. Effects of Supplementation of Rumen Protected Fats on Rumen Ecology and Digestibility of Nutrients in Sheep. *Animals*. 2019; 9(7):400. <https://doi.org/10.3390/ani9070400>
55. Syahniar TM, Ridla M, Samsudin AA, Jayanegara A. Glycerol as an Energy Source for Ruminants: A Meta-Analysis of In Vitro Experiments. *Media Peternak*. 2016; 39(3):189-194. <https://doi.org/10.5398/medpet.2016.39.3.189>
56. Granja-Salcedo YT, Duarte Messana J, Carneiro de Souza V, Lino Dias AV, Takeshi Kishi L, Rocha Rebelo L, et al. Effects of partial replacement of maize in the diet with crude glycerin and/or soyabean oil on ruminal fermentation and microbial population in Nellore steers. *Br J Nutr*. 2017; 118(9):651-660. <https://doi.org/10.1017/S0007114517002689>
57. Vito ES, Granja-Salcedo YT, Lage JF, Oliveira AS, Gionbelli MP, Messana JD, et al. Crude glycerin as an alternative to corn as a supplement for beef cattle grazing in pasture during the dry season. *Semina Ciênc Agrár*. 2018; 39(5):2215-2232. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2018v39n5p2215>