

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS MÉDICO VETERINARIAS



Control del balance energético negativo, niveles de glucosa y cuerpos cetónicos en cabras complementadas con un precursor gluconeogénico

Por:

Evelin De la Paz Lozano

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Torreón, Coahuila, México
Febrero 2026

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS MÉDICO VETERINARIAS

**Control del balance energético negativo, niveles de glucosa y cuerpos
cetónicos en cabras complementadas con un precursor gluconeogénico**

Por:

Evelin De la Paz Lozano

TESIS

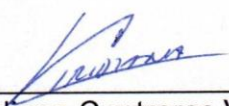
Que se somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial
para obtener el título de:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

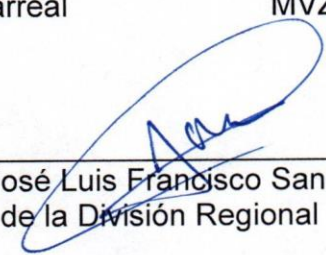
Aprobada por:


Dr. Oscar Ángel García
Presidente


Dr. Fernando Arellano Rodríguez
Vocal


Dra. Viridiana Contreras Villarreal
Vocal


MVZ. María Guadalupe Mota Fuentes
Vocal Suplente Externo


MC. José Luis Francisco Sandoval Elías
Coordinador de la División Regional de Ciencia Animal

Torreón, Coahuila, México
Febrero 2026



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS MÉDICO VETERINARIAS

**Control del balance energético negativo, niveles de glucosa y cuerpos
cetónicos en cabras complementadas con un precursor gluconeogénico**

Por:

Evelin De la Paz Lozano

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

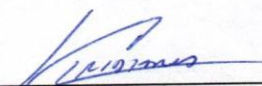
Aprobada por el Comité de Asesoría:



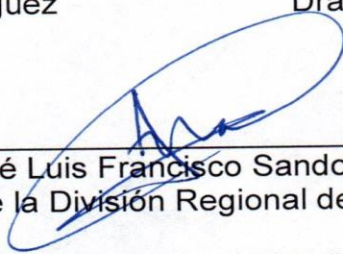
Dr. Oscar Angel García
Asesor Principal

F. D. N. 2

Dr. Fernando Arellano Rodríguez
Coasesor



Dra. Viridiana Contreras Villarreal
Coasesor



Mc. José Luis Francisco Sandoval Elías
Coordinador de la División Regional de Ciencia Animal

Torreón, Coahuila, México
Febrero 2026



AGRADECIMIENTOS

A la UAAAN UL: por brindarme los recursos y las herramientas necesarias para mi desarrollo profesional.

A mi asesor de Tesis, el Dr. Oscar Ángel García: por su paciencia, su guía experta, darme la oportunidad de trabajar en este proyecto y brindarme todas las facilidades para poder concluir con éxito esta investigación.

A mis compañeros de licenciatura: por ayudarme a culminar esta etapa.

A mis padres, Elidia Lozano Carrillo y Rufino De la Paz Chino: por ser el pilar fundamental de mi vida. Su esfuerzo y sacrificio me permitieron llegar a esta meta que hoy comparto con ellos. Gracias por el cariño, consejos y valores que me han otorgado, por el trabajo que realizan día con día para salir adelante y por apoyarme incondicionalmente en cada una de mis decisiones.

A mis hermanos, Fredi, Ma. Elena, Magdaleno y Lizbeth: por su cariño y apoyo en los momentos que lo necesitaba, por estar presentes en cada etapa de este camino, por escuchar mis dudas y por celebrar mis pequeños logros como si fueran propios. Su ejemplo de perseverancia ha sido mi mayor motivación para no rendirme nunca.

A DIOS: por la salud y fuerza que me ha dado a lo largo de mi vida, por acompañarme en cada proyecto que he decidido emprender y ayudarme a lograrlo.

A todos aquellos que: de una u otra forma, aportaron un grano de arena, un consejo o una palabra de aliento para culminar esta etapa profesional. ¡**Gracias!**

DEDICATORIA

A mis padres: Elidia Lozano Carrillo y Rufino De la Paz Chino por ser el pilar fundamental de mi vida, por sus sacrificios, por su fe inquebrantable en mis capacidades y por enseñarme que el camino al éxito se construye con perseverancia y amor.

A mis hermanos: Fredi, Ma. Elena, Magdaleno y Lizbeth por ser mis compañeros de vida y amigos incondicionales, por su apoyo, por las risas que aligeraron la carga y por estar siempre presentes en cada paso de este camino.

A mis abuelos: que, aunque ya no están físicamente, su legado y ejemplo de vida siguen guiando mis pasos. Por los valores que sembraron en mí, este título es también fruto de su historia. En especial a mi abuela Marcelina Rodríguez Victoriano por haber sido mi ejemplo de fortaleza y sabiduría, y por recordarme siempre la importancia de mantener la humildad y el corazón en todo lo que hago.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIA	ii
ÍNDICE DE CONTENIDO	iii
ÍNDICE DE CUADRO	v
RESUMEN	vi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 HIPÓTESIS	3
1.2 OBJETIVO	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Análisis situacional de la caprinocultura	4
2.2 Enfoque general de la nutrición.....	5
2.3 Efecto de la suplementación sobre los metabolitos sanguíneos	6
2.3.1 Glucosa.....	7
2.3.2 Cuerpos cetónicos	7
2.3.3 Balance energético negativo	8
2.3.4 Glucogénesis	10
2.3.5 Gluconeogénesis	10
2.4 Uso de precursor de energía.	11
2.4.1 Propilenglicol	12
2.4.2 Propionato de calcio	13
2.4.3 Propionato de sodio	15
III. MATERIALES Y MÉTODOS	17
3.1 Localización del área de estudio y manejo de los animales	17
3.2 Tratamiento de los animales	18
3.3 Variables evaluadas.....	18
3.3.1 Peso vivo y condición corporal.....	18
3.3.2 Niveles de glucosa y cuerpos cetónicos.....	18
3.4. Análisis estadístico	19

IV. RESULTADOS	20
V. DISCUSIÓN.....	21
VI. CONCLUSIÓN.....	24
VII. LITERATURA CITADA	25

ÍNDICE DE CUADRO

Cuadro 1 Medias ($\pm$ EEM.) de los parámetros de peso vivo, condición corporal, glucosa y cuerpos cetónicos en cabras complementadas con un precursor gluconeogénico Lipofeed AQ (Tratado) y cabras sin complementar (Control) en la etapa de transición.	20
---	----

RESUMEN

El objetivo fue evaluar el efecto de un precursor gluconeogénico sobre los niveles de glucosa y cuerpos cetónicos para disminuir el balance energético negativo de cabras bajo condiciones de pastoreo durante el último tercio de su gestación. Se utilizaron 13 cabras multíparas multirraciales, homogéneas en cuanto a peso vivo (PV; 57.0 ± 3.0 kg) y condición corporal (CC; 2.9 ± 0.1 , unidades). Las cabras se asignaron al azar y fueron divididas en 2 grupos, un primer grupo (Tratado; n=8) recibió 2 mL por cada 10 kg de PV por animal (propionato de sodio al 11.2 % y 1-2 propanodiol al 4%) de un adyuvante metabólico (127.3 y 101.8 (MCal/Kg de EM y EN), mientras que el segundo grupo (Control; n=6) no recibió ninguna suplementación. El PV (54.7 ± 2.0 kg) y la CC (2.6 ± 0.1) no mostraron diferencias estadísticas para ambos tratamientos ($P > 0.05$). De la misma manera, las concentraciones de glucosa sanguínea (53.0 ± 2.1) y cuerpos cetónicos (0.42 ± 0.1) no mostraron diferencia estadística entre tratamientos ($P > 0.05$). Los resultados demuestran que la suplementación con un precursor gluconeogénico antes y después del parto, no afectó el peso vivo, condición corporal, así como los niveles de glucosa y cuerpos cetónicos de cabras bajo condiciones de pastoreo. En conclusión, el uso de un precursor gluconeogénico no afectó los niveles de glucosa y cuerpos cetónicos en cabras bajo condiciones de pastoreo.

Palabras clave: Propionato de sodio, Glucosa, Cetonas, Cabras

I. INTRODUCCIÓN

En la Comarca Lagunera, el manejo nutricional se distingue por una transición gradual de esquemas extensivos hacia modelos intensivos y semiintensivos, impulsada por la necesidad de mitigar las limitaciones de las zonas áridas y garantizar que las razas caprinas expresen su potencial productivo (Escareño *et al.*, 2012). En la práctica local, este sistema se sustenta primordialmente en el pastoreo de vegetación nativa y el aprovechamiento de residuos agrícolas, complementándose con una suplementación estratégica de base de concentrados y forrajes de corte como la alfalfa durante los periodos de baja disponibilidad de agostadero (Salinas-González *et al.*, 2016).

Además del uso de forrajes y concentrados tradicionales, se ha explorado el uso de aditivos glucogénicos para mejorar el desempeño productivo en pequeños rumiantes, demostrando que la suplementación con precursores energéticos como el propilenglicol optimiza los metabolitos sanguíneos y los parámetros ruminales (López-Vargas *et al.*, 2022). Esta estrategia resulta de particular interés para la caprinocultura en zonas áridas, donde la deficiencia energética es una de las limitaciones para la producción, sugiriendo que la suplementación líquida podría ser una alternativa viable para mitigar el balance energético negativo en cabras (Escareño *et al.*, 2012; López-Vargas *et al.*, 2022).

El balance energético negativo (BEN) es un trastorno metabólico que ocurre cuando los requerimientos energéticos de un animal superan la energía disponible a través de la dieta, especialmente durante periodos críticos como la gestación avanzada y la lactancia temprana (Doré *et al.*, 2015), en rumiantes, incluida la cabra, el BEN provoca movilización de reservas de grasa corporal, lo que altera significativamente el metabolismo de carbohidratos y lípidos, favoreciendo la producción de cuerpos cetónicos como fuente de energía alternativa.

En cabras lecheras, el BEN está estrechamente relacionado con la toxemia de gestación, un trastorno metabólico que se presenta en las últimas semanas de gestación debido a la insuficiente ingesta de energía y al elevado consumo de glucosa por parte del feto (Echeverría *et al.*, 2024). Esta condición se caracteriza por la

elevación de ácidos grasos no esterificados (NEFA) y de β -hidroxibutirato (BHBA) en sangre, indicando que el organismo utiliza reservas lipídicas para cubrir el déficit energético (Doré *et al.*, 2015; Uztimür y Ünal, 2024).

La comprensión de la interacción entre glucosa y cuerpos cetónicos es crucial para implementar estrategias de manejo nutricional y sanitario que prevengan la aparición de BEN y toxemia de gestación, protejan la salud de los animales y optimicen la productividad en sistemas caprinos (Doré *et al.*, 2015; Uztimür & Ünal, 2024; Lima *et al.*, 2016), por lo tanto, el estudio de los parámetros metabólicos sanguíneos en cabras durante la gestación avanzada y lactancia temprana se convierte en una herramienta esencial para mejorar el bienestar animal y la eficiencia productiva.

En las últimas décadas el uso de los aditivos como precursores de energía ha sido el propilenglicol (PG), el propionato de calcio (PCa), así como, la adición de propionato de sodio (PNa) (Lee *et al.* 2012; Mendoza *et al.* 2016), lo anterior, debido a su potencial gluconeogénico que permiten contrarrestar los efectos del balance energético negativo (BEN) y disminuir los riesgos de enfermedades metabólicas como la cetosis e hígado graso (Mikula *et al.*, 2020).

El PG es utilizado en vacas con lata producción lechera al inicio de la lactancia para disminuir los niveles de B-hidroxibutirato y ácidos grasos libres en sangre, y aumentar el ácido propiónico, la glucosa y la insulina (Ferraro *et al.*, 2015; Mikula *et al.*, 2020). El ácido propiónico es el principal producto de la degradación microbiana que se origina a partir de la fermentación de los cereales en el rumen (Ferraro *et al.*, 2009; Ferraro *et al.*, 2015).

1.1 HIPÓTESIS

La complementación con un precursor gluconeogénico aumentará los niveles de glucosa y disminuirá los niveles de cuerpos cetónicos, y el balance energético negativo en cabras bajo condiciones de pastoreo.

1.2 OBJETIVO

Evaluar si el uso de un precursor gluconeogénico aumenta los niveles de glucosa sanguínea y disminuye los niveles de cuerpos cetónicos, así como, disminuir el balance energético negativo de cabras bajo condiciones de pastoreo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Análisis situacional de la caprinocultura

Los productos alimenticios obtenidos de la especie caprina han resultado ser de alta calidad y muestran una gran capacidad de adaptación a diferentes hábitats en consecuencia la caprinocultura está distribuida a nivel mundial, en Europa su objetivo principal es la obtención de leche bajo un sistema de producción altamente especializado y tecnificado y resulta ser rentable, mientras que en países menos desarrollados resultan ser esenciales para la subsistencia debido a que el ganado caprino puede producir leche y carne con alimentos nutricionalmente deficientes bajo un sistema de producción tradicional (Salgado *et al.*, 2023).

El continente con mayor población caprina fue Asia con el 59.38% de la población caprina a nivel mundial y tuvo un aumento del 30,23% en el periodo comprendido del 2000 al 2013, después le sigue África con una población caprina del 35% y experimento un aumento del 48.61%, Oceanía tuvo una población de 0.39% y mostró el mayor crecimiento porcentual en el número de cabras con un 65.76%, Europa con una población de 1.65% y experimento una disminución relativa del -12.95%, la E.U.(28) contribuyo con un 1.23% y sufrió la mayor disminución relativa de la población caprina y América tuvo una población caprina de 3.58% y un aumento del 3,13% (Skapetas y Bampidis, 2016).

Los 5 países principales con mayor población de cabras son China, India, Pakistán, Bangladesh y Nigeria, en la producción de leche los mejores productores son India, Bangladesh, Pakistán y Sudán, en la producción de carne a nivel continental el líder es Asia que tiene la mayor contribución a la producción total de carne, con un 70.7%, a nivel de países China es el líder mundial produciendo 1 902 505 toneladas en el 2012 con 50,77% de la producción en el continente de Asia y el 35.89% del total de la carne de cabra del mundo, el peso promedio de la canal de cabra a nivel mundial es de 12,0 kg con grandes variaciones entre continentes, donde Oceanía produce las canales de mayor peso, la producción caprina está en fuerte crecimiento a nivel mundial, siendo un pilar económico y alimentario esencial especialmente en los países en desarrollo de Asia y África (Skapetas y Bampidis, 2016).

En México y otros países de Latinoamérica la caprinocultura es una actividad de subsistencia familiar en los territorios rurales no solo es fundamental por este motivo, sino que también es importante porque aporta muchos beneficios en diversos sectores económicos, social y ambiental, en México está ganadería multiproductiva que utiliza cabras criadas para producir leche, carne, piel ,pelo, y estiércol, constituye el principal fuente de ingresos en la zonas áridas y semidesérticas del país (Mayoral *et al.*, 2024). Según el SIAP (2024), en México la producción nacional de leche de cabra es de 168,600.980 mil litros de leche con un valor por litro de 8.26 pesos, mientras que la producción de carne en canal es de 40,706.340 toneladas con un valor de 77.70 pesos por kilogramo.

La producción caprina en la Comarca Lagunera constituye que es la única fuente de ingresos para los productores marginados que reflejan fielmente las condiciones sociales y productivas en las que operan ya que su actividad productiva se encuentran abandonadas por el gobierno, requiriendo su intervención para proveer apoyo en instalaciones y logren su independencia económica a largo plazo, como también es vital que la investigación y las instituciones educativas continúen asesorando a estos productores, ya que su progreso beneficia no solo al productor sino también a la economía del sector ganadero en general (Alvarado *et al.*, 2021).

2.2 Enfoque general de la nutrición

Las cabras son animales sumamente valiosos por su capacidad y habilidad para convertir forrajes y otros materiales en productos de alta calidad como leche, carne y piel superando los producidos por otras especies, su manejo varía ampliamente, desde sistemas extensivos hasta operaciones intensivas (Elizondo-Salazar, 2021).

La nutrición de pequeños rumiantes se basa en proteínas, carbohidratos, vitamina, lípidos y minerales estos son cinco nutrientes esenciales para su requerimiento diario, pero sus requerimientos varían según el estado del animal como las necesidades básicas para la reproducción y producción, como también las condiciones externas como las ambientales, los alimentos ingeridos por los pequeños rumiantes son sometidos a procesos de fermentación llevado a cabo por los microorganismos que

viven en su sistema digestivo, gracias a esta fermentación los rumiantes logran un uso eficiente de nutrientes presentes en su dieta, incluso de aquellos ingredientes que a simple vista parecen tener un bajo valor nutritivo (Pacheco y Jerónimo, 2023).

La cabra es un animal que alimenta a su microbiota y esta microbiota a su vez alimenta a la cabra lo que significa que la población de microorganismo se ajustan constantemente al tipo de alimento que consumen, esto asegura que se mantengan estables las condiciones físico-químicas del rumen como el pH y el potencial de oxidoreducción necesarias para la fermentación anaeróbica, en este ambiente se alojan diversas especies de microbios, con las siguientes concentraciones aproximadamente por mililitro (ml) de líquido ruminal, bacterias (10¹⁰-10¹¹/ml), arqueobacterias (10⁷-10⁹/ml), protozoarios (10⁴-10⁶/ml), hongos (10³-10⁶/ml) y bacteriófagos que son los virus de bacterias (10⁹-10¹⁰/ml) lo que favorece la conversión de los alimentos en ácidos grasos de cadena corta (AGCC), que son la principal fuente de energía del rumiante (Portela, 2018).

2.3 Efecto de la suplementación sobre los metabolitos sanguíneos

La suplementación energética administrada a cabras en la etapa de preñes especialmente en el último tercio de la gestación no logró modificar los valores séricos de glucosa, esto sugiere que si bien la suplementación no tuvo un efecto marcado es por la gran demanda de energía metabólica durante la gestación por lo tanto la cabra se ve obligada a movilizar sus propias reservas corporales para garantizar el desarrollo fetal, el peso adecuado al nacimiento y la síntesis de calostro, esta necesidad de movilización podría ser la causa de la disminución o el mantenimiento de concentraciones bajas de glucosa en suero durante este periodo (García *et al.*, 2021).

En las cabras en pastoreo las variaciones estacionales influyen de manera importante en los valores sanguíneos, en el invierno se presentan las mayores deficiencias nutricionales, especialmente en animales en producción y crecimiento, por ello es necesario ajustar el manejo y ofrecer suplementos en las épocas donde el forraje es

escaso o de baja calidad, con el fin de mantener la salud y el buen desempeño del hato (García-Sánchez *et al.*, 2023).

2.3.1 Glucosa

La glucosa es el combustible metabólico crítico para órganos con dependencia obligatoria como el cerebro y los eritrocitos, además de ser el precursor fundamental de la lactosa en la glándula mamaria, su equilibrio en sangre está regulado por mecanismos de control donde la insulina promueve la captación de glucosa por los tejidos, el glucagón potencia la degradación del glicógeno como precursor de la gluconeogénesis y la somatotropina prioriza su flujo hacia la glándula mamaria (Bedoya Mejia *et al.*, 2012).

La glucosa es fundamental para las cabras, pero su aporte de la dieta es limitado por esto la gluconeogénesis hepática a partir de precursores como el propionato, lactato, glicerol, y aminoácidos es crucial (Zhu *et al.*, 2025).

La suplementación con insulina en la dieta de cabras lactantes promueve la producción de propionato en el rumen, lo que incrementa la disponibilidad de precursores glucogénicos esenciales para la síntesis de glucosa, además estimula la expresión de genes como *PEPCK*, *G6Pasa* y *FBP1*, mejorando la capacidad del hígado para generar glucosa, lo que hace que estos efectos aumenten la disponibilidad energética de las cabras durante la lactancia, lo que podría favorecer su rendimiento productivo y su estado nutricional (Zhu *et al.*, 2025).

2.3.2 Cuerpos cetónicos

La hipercetonemia es un aumento anormal de los cuerpos cetónicos, especialmente β -hidroxibutirato (BHBA) en la sangre de cabras gestantes, esta condición ocurre cuando la demanda energética de los fetos y la preparación para la lactancia superan la ingesta de alimentos generando una demanda energética deficiente, como resultado

el hígado convierte los ácidos grasos liberados de la grasa corporal en cuerpos cetónicos los cuales sirven como fuente alternativa de energía (Doré *et al.*, 2015; Vasava *et al.*, 2016).

Durante el periodo del parto, las cabras con hipercetonemia subclínica (niveles elevados de β -hidroxibutirato o BHBA) experimentan un mayor estrés oxidativo que las cabras sanas, debido a la intensa movilización de grasa y a la acumulación de cuerpos cetónicos, este aumento de BHBA se asocia con daño oxidativo y con cambios en los sistemas antioxidantes lo que indican que estas cabras necesitan un esfuerzo metabólico extra para mantener el equilibrio, por ello monitorear los niveles de BHBA juntos con marcadores oxidativos durante el periodo parto puede ser útil para identificar cabras en riesgo y prevenir problemas metabólicos que puedan afectar su salud y producción (Huang *et al.*, 2021).

Durante el periodo de transición que va desde las 3 semanas antes y hasta las 3 semanas después del parto, las cabras pueden experimentar un balance energético negativo (BEN), debido a que la energía requerida para la gestación y el inicio de la lactancia supera la ingesta alimentaria, lo que provoca la movilización de grasas corporal, elevando los niveles de ácidos grasos no esterificados (NEFA) en sangre y aumentando la producción de β -hidroxibutirato (BHBA), el BHBA es un cuerpo cetónico que sirve como un marcador de hipercetonemia subclínica, la combinación de, NEFA y BHBA refleja el estrés metabólico del animal y permite identificar cabras que estén en riesgo antes de que aparezcan los signos clínicos de BEN (Vasava *et al.*, 2016; Zamuner *et al.*, 2020).

2.3.3 Balance energético negativo

Durante la transición del periodo perinatal, las vacas lecheras enfrentan profundas alteraciones metabólicas, endocrinas y fisiológicas, la incapacidad para adaptarse a estas alteraciones conlleva frecuentemente al desarrollo de un balance energético negativo (BEN), así como también fiebre de leche provocada por hipocalcemia, desencadenando enfermedades metabólicas, como la cetosis y el hígado graso,

patologías que no solo comprometen la salud del animal, sino que también disminuyen significativamente su potencial productivo, no obstante, investigaciones recientes señalan que el propionato de calcio ha demostrado ser una estrategia eficaz para la mitigación de estos problemas (Zhang *et al.*, 2020).

Se ha comprobado que minimizar los trastornos de salud al inicio de la lactancia favorece una producción más elevada y curvas de lactancia más estables, por este motivo, la intervención temprana para reducir el BEN y asegurar niveles adecuados de calcio es clave para mejorar los resultados productivos a largo plazo (Zhang *et al.*, 2025).

La gestión nutricional en pequeños rumiantes es determinante durante la transición entre el fin de la gestación y el inicio de la lactancia, debido al incremento en las demandas metabólicas por el crecimiento fetal y la secreción láctea, una dieta deficiente en esta etapa conduce a un balance energético negativo donde el gasto calórico supera la ingesta, por lo tanto, la evaluación de metabolitos sanguíneos es una herramienta diagnóstica esencial para identificar estos desequilibrios y ajustar los requerimientos nutricionales del hato caprino (Ricalday-Venegas *et al.*, 2022).

En el estudio de Zobel *et al.* (2015), las cabras clasificadas como saludables presentaron periodos secos más cortos que aquellas que desarrollaron cetosis antes o después del parto, esto sugiere que una mayor duración del periodo seco puede asociarse con un mayor desequilibrio energético y riesgo de ketonemia, asimismo señalan que reducir o incluso omitir el periodo seco se ha vinculado a un mejor equilibrio energético en vacas lecheras, y su estudio aporta evidencia de una tendencia similar en cabras, donde una gestión más corta del periodo seco puede favorecer una menor incidencia de BEN

Para la evaluación del estatus metabólico, el uso de indicadores sanguíneos es fundamental, específicamente se basa en que el balance energético negativo se manifiesta a través de la elevación de AGNE y BHB, además de modificaciones en las concentraciones de glucosa, colesterol, urea y enzimas hepáticas como la aspartato-aminotransferasa y glutamato-deshidrogenasa, los cuales reflejan la intensidad de la

movilización de reservas corporales durante la transición a la lactancia (Cayo-Rojas & Mamani-Linares, 2024).

2.3.4 Glucogénesis

La glucogénesis es el proceso metabólico mediante el cual la glucosa se transforma en glucógeno, una forma de almacenamiento de energía en los animales, este es proceso de construcción, ya que acumula moléculas simples de glucosa para formar moléculas más complejas de glucógeno, este proceso ocurre principalmente en el hígado y en menor medida en los músculos, lo que permite almacenar glucosa cuando hay un exceso en la sangre, como la dieta de los rumiantes se caracteriza por una alta fermentación ruminal, la glucosa absorbida directamente del intestino es limitada, por ello, la síntesis de glucógeno depende mayormente por la gluconeogénesis hepática utilizando precursores como propionato, aminoácidos y lactato (Cortez Suárez *et al.*, 2024).

2.3.5 Gluconeogénesis

La gluconeogénesis se describe como la síntesis de glucosa a partir de precursores que no son carbohidratos, entre los que destacan el lactato, el glicerol y diversos aminoácidos, para los rumiantes esta vía es fisiológicamente indispensable, dado que la absorción intestinal de glucosa representa menos del 10.0% de sus necesidades; de este modo, la gluconeogénesis debe cubrir el 90.0% restante del requerimiento total de glucosa para funciones de mantenimiento y producción (Aschenbach *et al.*, 2010; López Vargas, 2017). Los dos órganos donde se lleva a cabo esta conversión son el hígado y los riñones, ya que contienen las enzimas necesarias para este proceso, casi toda la fuente de energía absorbible en los rumiantes proviene de los ácidos grasos volátiles (AGV), como el acetato, butirato y, crucialmente el propionato, que es el principal precursor gluconeogénico, el propionato y los aminoácidos son considerados los principales precursores de glucosa (Noro y Wittewer, 2012).

Un precursor gluconeogénico se define como un compuesto bioquímico que puede ser utilizado por la vía de la gluconeogénesis de manera que permite la síntesis de glucosa, los compuestos reconocidos como precursores gluconeogénicos incluyen glicerol, lactato/piruvato, ciertos aminoácidos gluconeogénicos y ácidos grasos de cadena impar (Tetrack & Odle, 2020).

2.4 Uso de precursor de energía.

Un precursor de energía es una sustancia esencial que sirve como materia prima para que el hígado fabrique glucosa, un proceso del cual el animal depende casi en su totalidad (90%), el uso de aditivos como el propanodiol actúa directamente sobre las rutas metabólicas, facilitando que el organismo genere esta energía de forma rápida y eficiente, su función principal es optimizar el aprovechamiento de la dieta para cubrir las altas exigencias del animal, permitiéndole producir más leche y mantenerse sano sin tener que agotar sus propias reservas corporales (Trujillo-García *et al.*, 2024).

En lo que respecta a la implementación de aditivos metabólicos y micronutrientes como el propilenglicol, propionato, colina y metionina protegida, su valor principal radica en la optimización del estatus energético del rumiante, su administración es determinante para reducir las concentraciones de NEFA y BHBA, esta regulación es crucial para mitigar el balance energético negativo, previniendo así los trastornos metabólicos característicos del periodo posparto, en consecuencia, estos aditivos se consideran como herramientas esenciales para salvaguardar la estabilidad metabólica y la eficiencia reproductiva en los sistemas de producción (Grijalva y López, 2026).

Se dispone comercialmente de un sustrato glucogénico elaborado a base de 1,2-propanodiol y propionato de calcio, sin embargo, la información científica al respecto es incipiente, lo que hace vigente el estudio de este aditivo en el sector pecuario (Murillo-Ortiz *et al.*, 2018).

2.4.1 Propilenglicol

El propilenglicol es una sustancia líquida sintética que absorbe agua. El propilenglicol también se utiliza para fabricar compuestos de poliéster y como base para soluciones descongelantes. Las industrias química, alimentaria y farmacéutica utilizan el propilenglicol como anticongelante cuando las fugas pueden provocar el contacto con los alimentos. La Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA, por sus siglas en inglés) ha clasificado el propilenglicol como un aditivo "generalmente reconocido como seguro" para su uso en alimentos.

El propilenglicol (1,2- propanodiol) es un precursor gluconeogénico caracterizado por ser un líquido viscoso y dulce utilizado tradicionalmente para el tratamiento de trastornos metabólicos como la cetosis (Butler *et al.*, 2006; López Vargas, 2017).

Debido a su alta densidad energética (4.7 Mcal EN/L), el propilenglicol constituye una fuente inmediata de energía para bovinos en etapa de transición, su degradación a nivel ruminal es sumamente eficiente, pues las evidencias señalan que el 50% se metaboliza en un lapso de 1 a 2 horas y del 80% al 90% después de 3 horas de ser suministrada (Lien *et al.*, 2010). El propilenglicol, tras su administración, en el rumen se convierte en propionato y otra se absorbe para producir glucosa, aumentando la concentración de glucosa sanguínea e insulina en el hígado, y reduciendo la movilización de lípidos (Butler *et al.*, 2006; Zhang *et al.*, 2020).

La suplementación con propilenglicol en cabras lecheras expuestas a estrés por calor no produjo incrementos significativos en la producción ni en el contenido proteico de la leche, no obstante, dicha suplementación mejoró el metabolismo energético, reflejado en el aumento de las concentraciones sanguíneas de glucosa e insulina y en la disminución de los niveles grasos no esterificados y β -hidroxibutirato, esto sugiere una menor movilización de reservas corporales, asimismo, el propilenglicol contribuyó a atenuar la pérdida de peso corporal, sin embargo, se observó una reducción en el porcentaje de grasa láctea, por lo que se propone la evaluación de dosis menores que permitan mantener los beneficios metabólicos sin comprometer la calidad de la leche (Hamzaoui *et al.*, 2020).

De acuerdo con Santos *et al.* (2017), la suplementación con propilenglicol en pequeños rumiantes durante la gestación funciona como una fuente de energía estratégica que mejora el balance energético de la hembra, su uso reduce la movilización de reservas corporales y favorece un mejor peso al nacimiento de las crías, lo que sugiere que es una herramienta eficaz para optimizar la productividad en sistemas de producción caprina y ovina.

2.4.2 Propionato de calcio

Conocido por su fórmula $(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COO})_2\text{Ca}$, el propionato de calcio es una sal de origen orgánico que surge cuando el hidróxido de calcio interactúa con el ácido propiónico, se puede encontrar como un polvo o en estructuras cristalinas, es importante mencionar que aunque genera una solución de naturaleza alcalina, su capacidad para frenar el crecimiento bacteriano (acción bacteriostática) es efectiva cuando se encuentra en medios ácidos, para crear este compuesto de alta calidad se utilizan como materia prima diversas fuentes de calcio como el carbonato de calcio (CaCO_3), el óxido de calcio (CaO), el hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) o incluso sustratos naturales como conchas de ostras o de huevo, estos materiales se hacen reaccionar con el ácido propiónico, posteriormente, el resultado pasa por un proceso de concentración, secado y deshidratación para obtener el producto final (Zhang *et al.*, 2020).

Desde una perspectiva nutricional, el propionato de calcio se somete a un proceso de hidrólisis que libera ácido propiónico e iones de calcio (Ca_2^+), ambos componentes son vitales en la dieta de los rumiantes, el ácido propiónico actúa como un precursor energético clave, mientras que el calcio es fundamental en la consolidación del sistema óseo, la modulación de impulsos nerviosos y la regulación de la contracción muscular, asimismo, es un contribuyente indispensable para la síntesis de leche y el mantenimiento de la homeostasis sanguínea (Zhang *et al.*, 2020).

La importancia del propionato de calcio radica en su rol como suministrador de calcio y como sustrato metabólico esencial para la gluconeogénesis, diversos estudios han validado su eficacia al inicio de la etapa de la lactancia, demostrando que su administración no solo incrementa el rendimiento productivo, sino que actúa como un agente profiláctico contra la hipocalcemia y mitigar las complicaciones asociadas al BEN, optimizando así la salud del ganado bovino, este compuesto ejerce una influencia en la movilización lipídica del tejido adiposo y puede modificar la composición lipídica de la leche, este reforzamiento nutricional se traduce en un enriquecimiento de su composición mineral de la leche (Zhang *et al.*, 2025).

Para contrarrestar el BEN, el ganado bovino inicia un proceso de movilización de reservas lipídicas del tejido adiposo, liberando ácidos grasos no esterificados (AGNE), sin embargo, ante la deficiencia de oxaloacetato, el acetil-CoA derivado de estos ácidos grasos se ve impedido de ingresar al ciclo de los ácidos tricarboxílicos, como consecuencia, este sustrato se transforma en cuerpos cetónicos, un proceso crítico para el equilibrio metabólico del animal (Ceciliani *et al.*, 2018; Zhang *et al.*, 2022).

La optimización del aporte energético en la dieta potencia la producción de glucosa a nivel hepática, el propionato generado a partir de la fermentación microbiana de carbohidratos complejos en el rumen destaca como el principal precursor de glucosa en estas especies, asimismo, el ácido propiónico liberado de la hidrólisis del propionato de calcio en condiciones de pH ácido en el rumen, es captado y absorbido por el epitelio ruminal y se transporta vía vena porta hacia el hígado, donde se lleva a cabo la síntesis de glucosa necesaria para el animal aportando hasta el 60% de la glucosa liberada (Zhang *et al.*, 2020).

Por consiguiente, su uso como aditivo mejora el desempeño productivo en corderos de engorde y eleva la calidad cárnica en bovinos, consolidándose como un suplemento altamente beneficioso para las vacas lecheras (Zhang *et al.*, 2020).

El periodo de periparto representa una etapa crítica en la producción lechera, caracterizada por una alta demanda energética destinada al desarrollo fetal y la síntesis de calostro, frecuentemente esta demanda supera la ingesta voluntaria de la

vaca, desencadenando un BEN, ante esta deficiencia, el animal moviliza reservas grasas de forma excesiva, lo que incrementa la incidencia de patologías metabólicas (Zhang *et al.*, 2020).

Las intervenciones orientadas al suministro energético son fundamentales para mitigar los efectos del BEN, diversas investigaciones confirman que la disponibilidad de glucosa disminuye la liberación de ácidos grasos desde el tejido adiposo, es importante destacar que cuando una vaca no logra cubrir sus necesidades de glucosa durante la lactancia, se genera una depresión en el sistema inmunitario, lo que incrementa la susceptibilidad a enfermedades que comprometen tanto la salud del animal como la rentabilidad de la explotación lechera (Zhang *et al.*, 2020). En efecto, en pequeños rumiantes, se conoce que el uso de propionato de calcio como fuente de energía mitiga el BEN, al actuar como un precursor glucogénico que incrementa la disponibilidad de glucosa (Flores-Santiago *et al.*, 2021). Además, la inclusión de propionato de calcio en la dieta de corderos en fase de terminación mejora la disponibilidad de glucosa, lo que permite el crecimiento y la eficiencia productiva de los animales, demostrando que el propionato de calcio actúa como un suplemento glucogénico eficaz (Martínez-Aispuro *et al.*, 2018).

2.4.3 Propionato de sodio

La inclusión de propionato de sodio en el régimen alimenticio de bovinos lecheros favorece tanto el incremento en la producción láctea como la optimización en la ingesta de materia seca (Zhang *et al.*, 2022). Esto se debe a que el propionato constituye el sustrato primordial para la gluconeogénesis hepática durante el periodo de lactancia, aportando entre el 45% y el 60% del suministro total de glucosa sintetizada por el animal (Jiang *et al.*, 2025). Una de las alternativas para sustituir la cantidad de grano en la dieta es el empleo de propionato de sodio, que ayuda a mantener el consumo voluntario de alimento sin mostrar cambios en el rendimiento productivo (Majdoub *et al.*, 2003). En efecto, en un trabajo de investigación realizado por Berthelot *et al.* (2001), quienes al adicionar 5.65% de propionato de sodio en corderos, no reportaron

cambios en el peso final, consumo de materia seca, ganancia diaria de peso y conversión alimenticia. De igual manera Velázquez-Cruz *et al.* (2016), al sustituir 10.0% de grano con la adición de 1.0 % de propionato de sodio en corderos en finalización, no obtuvieron cambios en el consumo de alimento, ganancia de peso, conversión alimenticia y peso final de los animales.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

General

Todos los métodos y manejos de las unidades experimentales utilizadas en este estudio fueron en estricto acuerdo con los lineamientos para el uso ético, cuidado y bienestar de animales en investigación a nivel internacional (FASS, 2010) y nivel nacional (NAM, 2002).

3.1 Localización del área de estudio y manejo de los animales

El experimento se realizó en el ejido Nuevo León (latitud 25° 43' 5" N y longitud 103° 17' 39" O), Mpio. de Francisco I. Madero, Coahuila, durante los meses de septiembre a noviembre de 2024. El área de estudio se encuentra a una altitud 1114 msnm, con una precipitación media anual de 230 mm y con temperatura promedio de 24 °C, máxima de 41 °C en mayo y junio, y mínima de -1 °C en diciembre y enero (CONAGUA, 2023).

Todos los animales fueron pastoreados de 10:00 am a 6:00 pm. caminando aproximadamente 4 a 5 km diarios desde sus corrales de resguardo hasta la zona donde encuentren alimento disponible ya que su alimentación se basa en pastoreo extensivo, principalmente de ramoneo de diferentes especies arbustivas y ocasionalmente en residuos de cultivos de maíz, sorgo. Todos los animales fueron aretados para su identificación. Además, fueron desparasitados (doramectina 200 µg por kg y 1 mg/kg de PV de fipronil) y vitaminados (A D y E). Las hembras tuvieron agua limpia y sales minerales a libre acceso y un periodo de adaptación de 5 días previos al periodo experimental.

Se usaron 13 cabras multíparas multirraciales (cruzas de diferentes razas) y fueron divididas en 2 grupos, homogéneas en cuanto a peso vivo (PV) y condición corporal (CC).

3.2 Tratamiento de los animales

Se seleccionaron 13 cabras multíparas adultas multirraciales (de 2 a 4 años de edad), homogéneas en cuanto a peso vivo (PV; 57.0 ± 3.0 kg) y condición corporal (CC; 2.9 ± 0.1 unidades) según Walken-Brown *et al.* (1993).

Las cabras se asignaron al azar y fueron divididas en 2 grupos: un primer grupo (Tratado; n=7) recibió 2 mL por cada 10 kg de PV (propionato de sodio al 11.2 % y propanodiol al 4%) de un adyuvante metabólico (127.3 y 101.8 (MCal/Kg de EM y EN), mientras que el segundo grupo (Control; n=6) no recibió ninguna complementación. Ambos tratamientos fueron aplicados durante 28 días preparto y 21 días posparto.

3.3 Variables evaluadas

3.3.1 Peso vivo y condición corporal

Se registró el peso vivo (PV), condición corporal (CC) al inicio y posteriormente cada 7 días del periodo experimental. La CC fue medida en una escala del 1 al 5 (donde 1 es muy delgado y 5 es muy gordo; Walken-Brown *et al.* (1993); para la determinación de PV se utilizó una báscula digital (Torrey®, Modelo EQM 400-800) con capacidad de 400 kg.

3.3.2 Niveles de glucosa y cuerpos cetónicos

Para determinar los niveles de glucosa (mg/L) y cuerpos cetónicos (mmol/dL) se realizó una prueba *in situ*, utilizando un glucómetro (Freestyle Optium Neo), colocando una gota de sangre (10 µl) en una tira reactiva que funciona mediante absorción por capilaridad y su posterior lectura rápida (5 segundos). Todos los análisis de metabolitos se realizaron cada 7 día durante 28 días preparto y 21 días posparto.

3.4. Análisis estadístico

Las medias obtenidas de los parámetros de peso vivo, condición corporal, niveles de glucosa y cuerpos cetónicos, fueron analizados mediante un modelo mixto (PROC MIXED). Todos los datos fueron analizados utilizando el paquete estadístico SAS (SAS Institute Inc. Cary. NC. USA, V9.1). Las diferencias fueron consideradas significativas a un valor de $P \leq 0.05$.

IV. RESULTADOS

Los resultados se muestran en el Cuadro 1, No se encontró diferencias para PV (54.7 ± 2.0 kg; $P > 0.05$), ni para la CC (2.6 ± 0.1 ; $P > 0.05$) para ambos tratamientos. De la misma manera las concentraciones de glucosa sanguínea (53.0 ± 2.1) y cuerpos cetónicos (0.42 ± 0.1) no mostraron diferencia entre tratamiento. Además, no existió una interacción entre tratamiento por día para ambos tratamientos.

Cuadro 1 Medias ($\pm$ EEM.) de los parámetros de peso vivo, condición corporal, glucosa y cuerpos cetónicos en cabras complementadas con un precursor gluconeogénico Lipofeed AQ (Tratado) y cabras sin complementar (Control) en la etapa de transición.

Variables	Grupos			Valores de P		
	Tratado	Control	EEM	T	Día	TxDía
Peso vivo (Kg)	55.40	54.04	2.28	0.67	<0.01	0.10
Condición corporal (1-5, unidades)	2.60	2.51	0.10	0.55	<0.01	0.805
Glucosa (mg/dL)	52.61	53.26	2.1	0.829	<0.01	0.14
Cuerpos cetónicos (mmol/L)	0.43	0.41	0.02	0.69	0.003	0.907

V. DISCUSIÓN.

El uso de la biotecnología en la nutrición animal ha generado una serie de aditivos alimenticios, con el fin de mejorar la actividad de la microbiota ruminal, con el único fin de eficientar la utilización de los nutrientes de la dieta (Carrillo-Herrera *et al.*, 2016). En este mismo sentido, existen nuevas alternativas, como la utilización de precursores de glucosa a base de propionatos (Sánchez *et al.*, 2014), que favorecen la producción de energía vía oxidación de glucosa a ácido pirúvico en la ruta de la glucólisis. La glucosa así formada representa una fuente extra de energía, la cual es utilizada por el animal para promover mayores incrementos diarios de peso, así como mejores conversiones alimenticias; y por lo tanto mejores rendimientos en canal (Carrillo-Herrera *et al.*, 2016). Además, el propionato de calcio se considera un es un aditivo alimenticio seguro y eficaz. Se ha demostrado que su uso de propionato de calcio en vacas lecheras al inicio de la lactancia puede mitigar el BEN, promoviendo la gluconeogénesis e inhibiendo la síntesis de cuerpos cetónicos. Lo anterior, debido a la alta demanda de debido al rápido aumento de la demanda de nutrientes para la producción de leche (Zhang *et al.*, 2025).

Nuestros resultados para las variables evaluadas en este estudio se muestran en el Cuadro 1. Los resultados de peso vivo y condición corporal de las cabras suplementadas con un precursor de glucosa no se vieron afectados por el tratamiento. Nuestros resultados son similares a los encontrados por (Acho *et al.*, 2018), reportando que hubo un efecto sobre el peso final y ganancia de peso cuando ofrecieron varios porcentajes (1.0, 2.0 y 3.0%) de propionato de sodio en la dieta de ovinos en finalización. Por otra parte (Lee, 2011), observó que no existió diferencia significativa de tratamientos la para ganancia diaria de peso de ovinos en finalización, cuando adicionaron el 1% de propionato de sodio y con 55 y 65% de granos en la dieta. Así mismo (Velazquez *et al.*, 2016), quienes compararon la sustitución del 20% de los granos de la dieta por el 1% de propionato de calcio, observaron que los parámetros productivos (peso final, consumo de alimento, ganancia diaria de peso, conversión alimentaria y digestibilidad) fueron no significativos. Es probable que los resultados encontrados en nuestro estudio se deban a que las cabras utilizadas bajo las

condiciones de pastoreo no tuvieran altas demandas de energía, y que el consumo de los nutrientes por parte de la dieta cubría esas demandas. Lo que está de acuerdo con Majdoub *et al.* (2003), que demuestra que la adición de propionato de sodio mantiene el consumo voluntario de alimento, sin afectar cambios en el rendimiento productivo. Lo anterior, va de acuerdo con resultados mostrados por Berthelot *et al.* (2001) quienes, al adicionar 5.65% de propionato de sodio en corderos, no reportaron cambios en el peso final.

De igual manera Velázquez-Cruz *et al.* (2016) al sustituir 10% de grano por el 1% de propionato de sodio en corderos en finalización, no obtuvieron cambios en el consumo de alimento, ganancia de peso y peso final de los animales. Es probable, que los resultados encontrados en nuestro estudio se deben a las dosis (11% de propionato de sodio y 4% de propilenglicol) y, además, la duración del tratamiento (42 d). En efecto, se ha demostrado, que tratamiento que van desde los 60 días y con dosis de 10 y 20 g de propilenglicol por animal al día, no afectan los parámetros nutricionales, lo que también coincide con Chiofalo *et al.* (2009), quienes no encontraron diferencias en los parámetros nutricionales en cabras.

En recientes estudios tampoco se han observado cambios significativos en el peso completo total, de ovejas suplementadas ya sea con 10, 20 o 30 g/kg de MS por 42 días con propionato de calcio. De igual manera, Berthelot *et al.* (2001), informaron que la suplementación alimenticia con propionato de sodio (56 g/kg de MS durante 40 días) no afectó el peso completo total en corderos en etapa de finalización.

En cuanto a los resultados encontrados en nuestro estudio con respecto a los niveles de glucosa y cuerpos cetónicos no se encontró diferencia en ambos grupos. Lo que es contrario a los resultados reportados por Salama *et al.* (2014), quienes muestran un aumento en la glucosa sanguínea, pero disminuyó la ingesta de materia seca, los ácidos grasos no esterificados en sangre y el β -hidroxibutirato, lo que resultó en una reducción de la grasa de la leche. En este mismo sentido, tanto el propilenglicol tiene un efecto positivo al aumentar la concentración de glucosa en sangre a los 28 días después del parto.

Cabe mencionar que existe la sugerencia de que la concentración de glucosa en sangre como índice del estado metabólico aún sigue siendo cuestionable (LeBlanc *et al* 2010). En efecto, en el ganado lechero se ha reportado que la infusión en abomaso de una solución de propionato de sodio equivalente a 1.68 mol/día no alteró el consumo de materia seca. Sin embargo, se ha demostrado que los niveles de glucosa plasmática *in vivo* aumentaron a los 30 y 60 min, y permanecieron elevados durante 120 y 180 min tras la administración oral de propilenglicol (Ferraro *et al.*, 2016). En contraste, con nuestros resultados encontrado por Apàez-Barrios *et al.* (2016) en la adición de propionato de sodio a la dieta de corderos en finalización incrementó ($P<0.05$) la eficiencia alimenticia total.

Los resultados encontrados sobre las variables productivas, como el peso vivo y la condición corporal demuestran que la adición de propionato de sodio y propilenglicol pre y post-parto no mejoraron significativamente ($P>0.05$). Es probable, que lo anterior se deba a que las cabras utilizadas en nuestro estudio no se encontraban en BEN, por tanto, sus demandas de energía eran menores. Por lo anterior, los precursores de energía como el propionato y el propilenglicol son una de las fuentes de energía extra más valiosas de la suplementación, ya que son el principal precursor de glucosa en rumiantes y actúan como anticetogénico (Behery *et al.*, 2020). El propionato es importante para la síntesis de glucosa en el hígado, actúa como mediador metabólico del estado nutricional de los rumiantes, y se reduce durante el período de transición debido a la reducción en el consumo de materia seca (DeFrain *et al.*, 2005).

VI. CONCLUSIÓN.

El uso de un precursor gluconeogénico no afectó el peso vivo, condición corporal, así como los niveles de glucosa y cuerpos cetónicos de cabras bajo condiciones de pastoreo. Lo anterior, puede ser debido a que las cabras utilizadas en este estudio no tuvieron un balance energético negativo.

VII. LITERATURA CITADA

- Alvarado Martínez, L. F., Perales García, M. V., Cabral Martell, A., & Alvarado Martínez, T. E. (2021). Diseño e implementación del FODA y el plan estratégico para los caprinocultores sociales de la Comarca Lagunera. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 48, 724-737. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=14167610013>.
- Aschenbach, J. R., Kristensen, N. B., Donkin, S. S., Hammon, H. M., & Penner, G. B. (2010). Gluconeogenesis in dairy cows: the secret of making sweet milk from sour dough. *IUBMB life*, 62(12), 869-877.
- Bedoya Mejía, O., Arenas Sánchez, F. A., Rosero Noguera, R., & Posada Ochoa, S. (2012). Efecto de la suplementación de ensilajes sobre perfiles metabólicos en cabras lactantes.
- Butler, S. T., Pelton, S. H., & Butler, W. R. (2006). Energy balance, metabolic status, and the first postpartum ovarian follicle wave in cows administered propylene glycol. *Journal of dairy science*, 89(8), 2938-2951.
- Carrillo-Herrera, J., Murillo-Ortiz, M., Herrera-Torres, E., Carrete-Carreón, F., Reyes-Estrada, O., & Livas-Calderón, F. (2016). Productive performance and carcass characteristics of steers fed with glucogenic precursor. *Abanico Veterinario*, 6(1), 13-21.
- Cayo-Rojas, F., & Mamani-Linares, L. W. (2024). Indicadores del metabolismo energético en llamas (*Lama glama*) en el período de transición preparto, posparto y lactancia. *Journal of the Selva Andina Animal Science*, 11(2), 65-79.
- Ceciliani, F., Lecchi, C., Urh, C., & Sauerwein, H. (2018). Proteomics and metabolomics characterizing the pathophysiology of adaptive reactions to the metabolic challenges during the transition from late pregnancy to early lactation in dairy cows. *Journal of proteomics*, 178, 92-106.
- Cortez Suárez, L. A., Paltin Pindo, M. K., Jiménez Jiménez, W. J., & Cabrera Casillas, D. O. (2024). La regulación de la glucogénesis: mecanismos y factores influyentes. *RECIMUNDO*, 8(2), 88–94. [https://doi.org/10.26820/recimundo/8.\(2\).abril.2024.88-94](https://doi.org/10.26820/recimundo/8.(2).abril.2024.88-94)

- Doré, V., Dubuc, J., Bélanger, A. M., & Buczinski, S. (2015). Definition of prepartum hyperketonemia in dairy goats. *Journal of Dairy Science*, 98(7), 4535-4543. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-9139>
- Echeverría, T., Núñez, M. F., Vásquez, S., & Casierra, Ángel. (2024). BALANCE ENERGÉTICO NEGATIVO (CETOSIS) EN RUMIANTES CAMÉLIDOS SUDAMERICANOS: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA . *RECIENA*, 4(1), 33-44. <https://doi.org/10.47187/4anyqh68>
- Elizondo-Salazar, J. A. (2021). Calidad nutricional y consumo por cabras de forraje de botón de oro (*tithonia diversifolia*). *Agronomía Costarricense*, 45(2), 135-142. <https://doi.org/10.15517/rac.v45i2.47774>
- Escareño, L., Salinas-González, H., Wurzinger, M., Iñiguez, L., Sölkner, J., & Meza-Herrera, C. (2012). Dairy goat production systems: status quo, perspectives and challenges. *Tropical animal health and production*, 45(1), 17-34.
- Ferraro, S. M., Mendoza, G. D., Miranda, L. A., & Gutiérrez, C. G. (2016). In vitro ruminal fermentation of glycerol, propylene glycol and molasses combined with forages and their effect on glucose and insulin blood plasma concentrations after an oral drench in sheep. *Animal Feed Science and Technology*, 213, 74-80.
- Flores-Santiago, E. D. J., Sosa-Montes, E., la Fuente, J. I. A. D., Germán-Alarcón, C. G., Hernández-Marín, J. A., & Cadena-Villegas, S. (2021). Ovarian activity and prolificity of goats synchronized with progestages and supplemented with calcium propionate.
- García, A. M. T., Castañeda, M. H., Watty, A. E. D., Aburto, A. A., & Escalante, B. J. C. C. (2024). Utilización de propanodiol para incrementar la producción de cabras lecheras. *Spei Domus*, 20(2), 1-8.
- García, J., Álvarez, G., Orozco, H., López, J., González, M., & Rosales, C. (2021). EFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN ENERGÉTICA SOBRE EL PERFIL METABÓLICO DE CABRAS GESTANTES. In *XVII. Congreso Nacional y V Congreso Internacional sobre Recursos Bióticos de Zonas Áridas Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Autónoma de San Luis Potosí-Bolivia*.
- García-Sánchez, H. D., Castellanos-Pérez, E., Gallegos-Robles, M. Á., & García-Hernández, J. L. (2023). Parámetros sanguíneos de caprinos en pastoreo en

- tres etapas fisiológicas a lo largo del año. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 10(1).
- Grijalva, F. M. C., & López, J. R. G. (2026). Suplementos energéticos tradicionales y alternativos en vacas lecheras. *Anatomía Digital*, 9(1), 60-81.
- Hamzaoui, S., Caja, G., Such, X., Albanell, E., & Salama, A. A. K. (2020). Milk Production and Energetic Metabolism of Heat-Stressed Dairy Goats Supplemented with Propylene Glycol. *Animals : an open access journal from MDPI*, 10(12), 2449. <https://doi.org/10.3390/ani10122449>
- Huang, Y., Wen, J., Kong, Y., Zhao, C., Liu, S., Liu, Y., Li, L., Yang, J., Zhu, X., Zhao, B., Cao, B., & Wang, J. (2021). Oxidative status in dairy goats: periparturient variation and changes in subclinical hyperketonemia and hypocalcemia. *BMC Veterinary Research*, 17, 238. <https://doi.org/10.1186/s12917-021-02947-1>
- Jiang, M., Meng, Z., Tan, D., Cheng, Z., Wei, Z., Lin, M., ... & Zhan, K. (2025). Sodium propionate supplementation improves the negative energy balance in postpartum dairy cattle through regulation of glycolipid metabolism. *Journal of Integrative Agriculture*.
- Lien, T. F., Chang, L. B., Horng, Y. M., & Wu, C. P. (2010). Effects of propylene glycol on milk production, serum metabolites and reproductive performance during the transition period of dairy cows. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 23(3), 372-378.
- Lima, M. S., Cota, J. B., Vaz, Y. M., Ajuda, I. G., Pascoal, R. A., Carolino, N., & Hjerpe, C. A. (2016). Glucose intolerance in dairy goats with pregnancy toxemia: Lack of correlation between blood pH and beta hydroxybutyric acid values. *The Canadian veterinary journal = La revue veterinaire canadienne*, 57(6), 635–640.
- López Vargas, A. H. (2017). Efecto del 1, 2-propanodiol sobre parámetros productivos, metabolitos sanguíneos y actividad ruminal en ovinos de carne.
- López-Vargas, A., Quezada-Tristán, T., Häubi-Segura, C., Macedo-Barragán, R., Valdivia-Flores, A., Ortiz-Martínez, R., & Hernández-Millán, C. (2022). SANGUÍNEOS Y PARÁMETROS RUMINALES Y PRODUCTIVOS DE CORDEROS EN CRECIMIENTO-FINALIZACIÓN. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 25, 080.

- Martínez-Aispuro, J. A., Sánchez-Torres, M. T., Mendoza-Martínez, G. D., Cordero Mora, J. L., Figueroa-Velasco, J. L., Ayala-Monter, M. A., & Crosby-Galván, M. M. (2018). Addition of calcium propionate to finishing lamb diets. *eterinaria México A*, 5(4). <https://doi.org/10.22201/fmvz.24486760e.2018.4.470>
- Mayoral García, M. B., Coronado-García, M. A., & Torres García, A. F. (2024). Análisis del perfil de competitividad de la caprinocultura de Baja California Sur, México. *Economía Sociedad y Territorio*, 24(75).
- Mikuła, R.; Pruszyńska-Oszmałek, E.; Ignatowicz-stefaniak, M.; Kołodziejowski, P.A.; Maćkowiak, P.; Nowak, W. The effect of propylene glycol delivery method on blood metabolites in dairy cows. *Acta Vet. Brno* 2020, 89, 19–29. [CrossRef]
- Murillo-Ortiz, M., Carrillo-Herrera, J. D., Pamanes-Carrasco, G., Muro-Reyes, A., & Herrera-Torres, E. Patrones de fermentación ruminal en respuesta a la adición de un precursor glucogénico a la dieta de becerros en engorda. *Agro Productividad*, 11(9), 155-159.
- Noro, M., & Wittwer, F. (2012). Interrelaciones entre ureagénesis y gluconeogénesis hepática en rumiantes alimentados con elevado contenido de nitrógeno. *Veterinaria México*, 43(2), 143-154.
- Pacheco-Hernández, A., y Jerónimo Hernández, D. I. (2023). Alimentación de pequeños rumiantes en pastoreo del trópico. *Brazilian Journal of Development*, 9(12), 31017-31039. <https://doi.org/10.34117/bjdv9n12-030>
- Portela-Díaz, D. F., (2018). Importancia de la interacción de bacteriófagos y bacterias ruminales en el desarrollo productivo del rumiante. *Revista Ciencias Agropecuarias*, 4(2), 41-45. DOI: 10.36436/24223484.243
- Ricalday-Venegas, T. A., Guerrero-Cervantes, M., Pinzón-Díaz, C. E., & Salas-Pacheco, J. M. (2022). Concentración de metabolitos y evaluación de parámetros productivos en cabras lecheras alimentadas con forraje verde hidropónico. *Interciencia*, 47(3), 70-74.
- Salgado, J. I., González Ariza, A., Díaz, E., Peláez Caro, M. P., Galán Luque, I., Delgado Bermejo, J. V., Navas González, F. J., & Camacho Vallejo, M. E. (2023). Situación actual y perspectivas del sector caprino mundial y español. *Archivos de Zootecnia*, 72(278), 143-155.

- Salinas-González, H., Moysen, E. D. V., de Santiago, M. D. L. A., Deras, F. G. V., Jáquez, J. A. M., Monroy, L. I. V., ... & Viramontes, U. F. (2016). Análisis descriptivo de unidades caprinas en el suroeste de la región lagunera, Coahuila, México. *Interciencia*, 41(11), 763-768.
- Santos, R. D., Macedo Junior, G. D. L., Silva, S. D., Sousa, L. F., & Andrade, M. E. B. (2017). The propylene glycol supplementation improves energy metabolism in pregnant sheep.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2024). Anuario Estadístico de la Producción Ganadera 2023. Gobierno de México. <https://www.spanishdict.com/translate/el%20documento>
- Skapetas, B. y Bampidis, V. (2016). Producción caprina en el mundo: situación actual y tendencias. *Investigación ganadera para el desarrollo rural*, 28(11), 200.
- Tetrick, M. A., & Odle, J. (2020). What constitutes a gluconeogenic precursor?. *The Journal of Nutrition*, 150(9), 2239-2241.
- Uztimür, M., & Ünal, C. N. (2024). Evaluation of pregnancy toxemia in goats: Metabolic profile, hormonal findings, and redox balance. *Small Ruminant Research*, 241, 107385. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2024.107385>
- Vasava, P. R., Jani, R. G., Goswami, H. V., Rathwa, S. D., & Tandel, F. B. (2016). Studies on clinical signs and biochemical alteration in pregnancy toxemic goats. *Veterinary world*, 9(8), 869–874. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2016.869-874>
- Zamuner, F., DiGiacomo, K., Cameron, A. W. N., & Leury, B. J. (2020). Short communication: Associations between nonesterified fatty acids, β -hydroxybutyrate, and glucose in periparturient dairy goats. *Journal of Dairy Science*, 103(7), 6672–6678. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17163>
- Zhang, F., Nan, X., Wang, H., Guo, Y., & Xiong, B. (2020). Research on the applications of calcium propionate in dairy cows: a review. *Animals*, 10(8), 1336.
- Zhang, F., Nan, X., Wang, H., Zhao, Y., Guo, Y., & Xiong, B. (2020). Effects of Propylene Glycol on Negative Energy Balance of Postpartum Dairy Cows. *Animals : an open access journal from MDPI*, 10(9), 1526. <https://doi.org/10.3390/ani10091526>

- Zhang, F., Tang, X., & Xiong, B. (2025). Optimal Calcium Propionate Supplementation in Early-Lactation Dairy Cows Improves Milk Yield and Alters Milk Composition. *Animals*, 15(20), 2995. <https://doi.org/10.3390/ani15202995>
- Zhang, F., Zhao, Y., Wang, Y., Wang, H., Guo, Y., & Xiong, B. (2022). Effects of calcium propionate on milk performance and serum metabolome of dairy cows in early lactation. *Animal Feed Science and Technology*, 283, 115185.
- Zhu, D., Hu, Y., Liu, Y., Zhou, C., Tan, Z., Kang, J., & Wang, Z. (2025). Multi-omics revealed the promoting effect of dietary inulin supplementation on hepatic gluconeogenesis in goats. *Frontiers in Animal Science*, 6, 1614869. <https://doi.org/10.3389/fanim.2025.1614869>.
- Zobel, G., Leslie, K., Weary, D. M., & von Keyserlingk, M. A. (2015). Ketonemia in dairy goats: effect of dry period length and effect on lying behavior. *Journal of dairy science*, 98(9), 6128–6138. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-9136>