

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN ANIMAL



**Adición de un precursor gluconeogénico a la dieta de cabras lactantes:
Estudio en el municipio de Lerdo, Durango**

Por:

Victor Hugo Becerra Tapia

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 PRODUCCIÓN ANIMAL

Adición de un precursor gluconeogénico a la dieta de cabras lactantes:
Estudio en el municipio de Lerdo, Durango

Por:

Victor Hugo Becerra Tapia

TESIS

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

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Aprobada por:

F. A. R.

Dr. Fernando Arellano Rodríguez
Presidente

Alan Sebastián Alvarado Espino

Dr. Alan Sebastián Alvarado Espino
Vocal

Oscar Ángel García

Dr. Oscar Ángel García
Vocal

Brenda Lizeth Aguilera Rodríguez

MVZ. Brenda Lizeth Aguilera Rodríguez
Vocal suplente externo

MC. José Luis Francisco Sandoval Elías
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 PRODUCCIÓN ANIMAL

Adición de un precursor gluconeogénico a la dieta de cabras lactantes:
Estudio en el municipio de Lerdo, Durango

Por:

Victor Hugo Becerra Tapia

TESIS

Presentado como requisito parcial para obtener el título de:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Aprobada por el Comité de Asesoría:

F. A. R.

Dr. Fernando Arellano Rodríguez
Asesor Principal

A. S. A.
Dr. Alan Sebastián Alvarado Espino
Coasesor

O. A. G.
Dr. Oscar Angel García
Coasesor

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

Torreón, Coahuila, México
Febrero 2026



AGRADECIMIENTOS

En este escrito quiero agradecer a todas y cada una de las personas que fueron partícipes y acompañantes durante mi formación profesional, ya que sin ellos lograr el objetivo hubiera sido muy complicado.

A mis padres. **María Mayela Tapia Machado** y **Vicente Francisco Becerra Jara** por apoyarme y brindarme los medios para obtener este logro tan grande para así convertirme en un profesional

A mí hermano. **Juan Daniel Becerra Tapia** por motivarme a seguir adelante indirectamente poniendo el ejemplo de que podemos superarnos y obtener un grado académico profesional.

A mis amigos. Quienes con sus pláticas y apoyo incondicional me motivaron a seguir adelante y terminar este proyecto, sin ellos esto no sería posible.

A mis profesores, quienes aportaron su conocimiento y experiencia profesional para prepararnos ante las circunstancias que demanda la vida profesional.

A mis asesores de tesis el Dr. Fernando Arellano y la MVZ Brenda Aguilera por darme la oportunidad de trabajar en el tema y guiarme en esta última etapa para el título universitario.

A todo el equipo de trabajo, quienes fueron pieza fundamental para que se lograra realizar el trabajo de la manera más eficiente.

A mi Alma Mater. **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro** Quien me brinda esta maravillosa casa de estudios para desarrollarme y obtener los recursos para la formación como profesional.

DEDICATORIAS

“En el camino a la verdad solo hay dos errores que uno puede cometer, no seguir hasta el final o no haber comenzado” (Buda).

MIS PADRES:

Mayela Tapia y Francisco Becerra por el apoyo que me brindaron durante todo el desarrollo y crecimiento de mi carrera profesional.

MI HERMANO:

Daniel Becerra a quien aprecio y admiro por su dedicación, por dar alegría de vida, por ser mi acompañante de vida y por brindarme cariño.

MIS AMIGOS:

Javier Valencia, Jorge Gutiérrez, Iván Casas, Gustavo Cuevas, Brenda Aguilera, Noé Leija, María Cabrera, Javier Valencia, Ilse Franco, entre muchos más quienes me brindaron apoyo emocional y físico para la culminación.

A MIS MEJORES AMIGOS:

Fernando Esquivel mi compañero y amigo desde preparatoria que sin su amistad y palabras sabias no estaría donde estoy ahora y **Maday Marin** quien desde hace más de 8 años me ha acompañado en diversas etapas y procesos de la vida dándome ánimos y consejos cada vez que los necesite

MI FAMILIA:

En general, pero, en especial a mi tío **Javier Tapia** que con su ejemplo me brinda inspiración para seguirme preparando

Agradecido con todos los que en algún punto de mi vida formaron parte.

INDICE

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIAS	ii
INDICE DE TABLA.....	iv
INDICE DE FIGURAS	iv
RESUMEN	v
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	2
III. OBJETIVO	20
IV. HIPÓTESIS	20
V. MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
5.1 Localización del área de estudio.	21
5.2 Manejo de los animales experimentales Descripción de las hembras caprinas y el sistema de producción	21
5.3 Variables determinadas.....	22
5.3.1 Peso vivo.....	22
5.3.2 Edad.....	22
5.3.3 Condición corporal.....	22
5.3.4 Parámetros de calidad de la leche (Grasa, proteína, lactosa, solidos totales, solidos no grasos)	22
5.1.1 Grados Brix (%).....	23
5.1.2 Análisis estadístico	23
VI. RESULTADOS.....	24
6.1 Peso corporal.....	24
6.2 Calidad Leche	25
6.2.1 Grasa.....	25
6.2.2 Proteína.....	26
6.2.3 Lactosa.....	26
6.2.4 Solidos no grasos.	27
6.2.5 Solidos totales	27
6.2.6 Potencial de hidrogeno	28
6.2.7 % Brix.....	28
VII. DISCUSIÓN	29

VIII. CONCLUSIÓN	30
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	31

INDICE DE TABLA

Tabla 1 Composición comparativa de la leche (Park et al, 2007).....	3
--	---

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Peso corporal grupo experimental (kg) (a), Peso corporal grupo control (kg) (b) inicial (□) y final (■).	25
Figura 2 Grasa (%).....	25
Figura 3 Proteína (%)	26
Figura 4 Solidos no grasos (%)	27
Figura 5 Solidos totales (%)	27
Figura 6 Potencial de Hidrogeno (pH)	28
Figura 7 Grados Brix (%).....	28

RESUMEN

La producción de leche caprina ha adquirido una relevancia creciente en el ámbito agropecuario, no solo por su valor nutricional, sino también por su potencial en el mercado. Sin embargo, la calidad de la leche es un factor determinante para su comercialización y aceptación por parte de los consumidores. En este contexto, los aditivos energéticos diseñados específicamente para la alimentación animal se presentan como una estrategia innovadora para mejorar la calidad de la leche en caprinos.

Este estudio tiene como objetivo evaluar el impacto de la adición de un precursor gluconeogénico a la dieta de un grupo de caprinos, analizando parámetros clave como el contenido graso, proteico y la composición general de la leche. A través de un diseño experimental que incluye un grupo control y un grupo tratado con el precursor, se busca determinar si esta adición puede generar mejoras significativas en los indicadores mencionados.

La investigación se llevó a cabo en condiciones controladas en el norte de México, con mediciones semanales que permitieron obtener datos precisos sobre los efectos del aditivo en la producción láctea. Los resultados obtenidos proporcionaron información valiosa sobre los beneficios de la adición del precursor en la calidad y composición de la leche caprina.

Este trabajo no solo aporta conocimientos sobre la aplicación de aditivos energéticos en la nutrición animal, sino que también ofrece una perspectiva práctica para optimizar la producción lechera en un sector que enfrenta desafíos constantes en términos de calidad y competitividad. Los hallazgos de este estudio podrían ser de gran utilidad para productores y profesionales del sector caprino, contribuyendo a mejorar la eficiencia productiva y la rentabilidad de los sistemas de producción.

Palabras clave: Gluconeogénesis, Precursor gluconeogénico, Composición de la leche, Producción de leche, Cabras lactantes

I. INTRODUCCIÓN

La producción de leche caprina en la región Laguna del norte de México ha adquirido gran relevancia en los últimos años, tanto por su valor nutricional como por su creciente demanda en el mercado. Esta región, que abarca partes de los estados de Durango y Coahuila, se caracteriza por un clima semiárido y una diversidad de recursos forrajeros que sustentan la actividad ganadera. Sin embargo, las fluctuaciones en la precipitación y las altas temperaturas pueden limitar el crecimiento de los cultivos forrajeros, lo que afecta directamente la calidad nutricional de la dieta de los caprinos y, en consecuencia, la producción y calidad de la leche (*Aréchiga et al*, 2008).

En este contexto, es fundamental implementar estrategias nutricionales adecuadas que optimicen el rendimiento productivo y la salud animal. La nutrición en rumiantes, como los caprinos, es un aspecto crucial para garantizar una producción eficiente. Estos animales poseen un sistema digestivo especializado que les permite fermentar forrajes y otros materiales vegetales, transformándolos en nutrientes esenciales (Penner, 2010). La inclusión de aditivos energéticos en su dieta es especialmente importante durante períodos críticos, como la lactación o el crecimiento, ya que ayudan a satisfacer las elevadas demandas energéticas y mejorar la calidad de la leche (*Hamzaoui et al*, 2020).

Este estudio se llevó a cabo en Las Isabeles, en el municipio de Lerdo, Durango. El diseño experimental incluyó un grupo control y un grupo tratado con el precursor gluconeogénico, con el fin de determinar si esta adición puede resultar en mejoras significativas en parámetros clave como el contenido graso, proteico y la composición general de la leche. El objetivo del experimento fue evaluar los parámetros de calidad de la leche, (Grasa, proteína, lactosa, sólidos totales, sólidos no grasos), de muestras de leche de cabras lactantes adicionadas con un precursor gluconeogénico a su dieta, (GT), y de un grupo control (GC), que no fue adicionado con el precursor gluconeogénico a su dieta, con el propósito de ver si existen o no, diferencias.

Se espera que los resultados de este estudio no solo beneficien a los productores locales al aumentar la rentabilidad de sus sistemas de producción, sino que también contribuyan al conocimiento científico sobre prácticas alimenticias más eficientes y sostenibles en la producción lechera caprina. Además, este trabajo busca ofrecer una perspectiva práctica para enfrentar los desafíos nutricionales y ambientales que afectan a la región, promoviendo una producción láctea de mayor calidad y competitividad.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Composición de la Leche Caprina

La leche de cabra se ha posicionado como un alimento de alto valor nutricional debido a su composición rica en grasas, proteínas y minerales. De acuerdo con López *et al.* (2011), este tipo de leche contiene, en promedio, un 3.5% de grasa y un 3.2% de proteína, lo que no solo la convierte en una opción altamente nutritiva, sino que también facilita su digestión, característica que ha incrementado su popularidad en los últimos años. Además, su composición influye significativamente en sus propiedades funcionales y organolépticas, lo que la hace atractiva para el desarrollo de productos alimenticios (López *et al.*, 2011). La leche caprina es una fuente importante de calcio y vitaminas, lo que refuerza su papel como un alimento funcional con beneficios adicionales para la salud. (Zeña-Chiara, 2023).

2.1.1 Composición General

La leche caprina se compone aproximadamente de un 87-89% de agua, un valor similar al de la leche bovina, lo que contribuye a su alta digestibilidad y rápida absorción en el organismo (Park *et al.*, 2007). En términos de sólidos totales, la leche caprina contiene entre un 11% y un 13%, los cuales incluyen grasas, proteínas, lactosa y minerales esenciales. La siguiente tabla compara la composición básica de la leche entre diferentes especies:

Componente	Leche bovina	Leche caprina	Leche ovina
Agua (%)	87.00	88.00	80.00
Sólidos totales (%)	13.00	12.00	20.00
Lactosa (%)	4.80	4.40	4.70
Proteína (%)	3.20	3.40	6.00
Grasa (%)	3.70	3.80	7.00
Vitaminas y minerales (%)	1.30	0.80	2.30

Tabla 1 Composición comparativa de la leche (Park et al, 2007).

Como se observa en la tabla, existen diferencias significativas en el contenido de grasa y proteínas entre las leches de distintas especies. En particular, la leche caprina presenta un contenido graso ligeramente superior al de la leche bovina, con un promedio del 3.5% de grasa y un 3.1% de proteína (Haenlein, 2004). Estas características no solo la hacen altamente nutritiva, sino que también le confieren propiedades funcionales y organolépticas únicas (Silanikove *et al*, 2010).

2.1.2 Componentes Específicos

La composición de la leche caprina se caracteriza por sus altos niveles de grasa y proteína, así como por su mayor digestibilidad en comparación con otras leches (Park *et al*, 2007). La grasa láctea en la leche caprina está compuesta principalmente por triglicéridos, que representan casi el 95% de los lípidos totales (Corredig *et al*, 2019). Esta grasa contiene una proporción significativa de ácidos grasos de cadena media y corta, como el ácido caprílico y el ácido decanoico, los cuales son fácilmente absorbidos y metabolizados por el organismo humano (Claps *et al*, 2017).

En cuanto a las proteínas, la leche caprina tiene un contenido proteico promedio del 3.4%, con una mayor proporción de caseínas en comparación con otras especies (Alais *et al*, 1991). Las micelas de caseína en la leche caprina son más pequeñas que las de la leche bovina, lo que contribuye a una mejor digestibilidad. Esta característica se traduce en la formación de una cuajada más fina y suave durante el proceso digestivo, lo que facilita su absorción y reduce el riesgo de intolerancias en personas sensibles (Park *et al*, 2007).

2.1.3 Influencia de la Alimentación

La calidad composicional de la leche caprina no solo está determinada por factores genéticos o raciales, sino que también se ve significativamente influenciada por el tipo de dieta suministrada a los animales (Chilliard, 2003). La cantidad y tipo de fibra en la ración, así como el nivel de proteína y los aditivos utilizados, desempeñan un papel crucial en la producción y calidad de la leche. Estudios recientes han demostrado que los caprinos son más eficientes que los bovinos en la conversión de alimento en producción láctea, lo que los convierte en una opción sostenible para la producción de leche en regiones con recursos limitados (Fernández-Núñez, 2018).

Por ejemplo, dietas ricas en fibra de alta calidad, como el forraje verde, han demostrado aumentar el contenido de grasa y proteína en la leche caprina, mejorando así su valor nutricional (Sanz Sampelayo *et al*, 2007). Además, la suplementación con aditivos como aceites vegetales o minerales traza puede modular la composición de ácidos grasos y mejorar las propiedades funcionales de la leche (Chilliard *et al*, 2003).

2.2 Factores que Afectan la Calidad de la Leche

La calidad de la leche caprina está influenciada por diversos factores, entre los cuales la alimentación desempeña un papel fundamental. Estudios han demostrado que la inclusión de aditivos energéticos en la dieta de los caprinos puede mejorar tanto la cantidad como la calidad de la leche, aumentando el contenido de grasa y proteína. Además, las prácticas de manejo y el estado sanitario del rebaño son cruciales para mantener altos estándares de calidad. Un manejo inadecuado, como la falta de higiene en el ordeño o condiciones de estrés en los animales, puede resultar en una disminución del rendimiento lechero y afectar negativamente la composición de la leche (Martínez *et al*, 2020).

Otros factores que influyen en la calidad de la leche incluyen la genética, el clima y la etapa de lactación. Por ejemplo, las cabras de razas especializadas en producción láctea, como la Saanen o la Alpina, tienden a producir leche con un mayor contenido de sólidos totales en comparación con otras razas (Haenlein,

2004). Asimismo, el estrés térmico durante los meses más cálidos puede reducir la producción de leche y alterar su composición, especialmente el contenido de grasa (Silanikove *et al*, 2010).

2.2.1 Factores Intrínsecos

Los factores intrínsecos son aquellos que están relacionados con las características biológicas y genéticas del animal. Estos incluyen:

Genética y Raza: La genética juega un papel crucial en la producción y composición de la leche. Diferentes razas de cabras presentan variaciones significativas en el contenido de grasa, proteína y sólidos no grasos. Por ejemplo, las cabras Nubias son conocidas por producir leche con un contenido más alto de grasa y proteína en comparación con otras razas, como la Saanen o la Alpina (Zeng *et al*, 1996). Estas diferencias se atribuyen a polimorfismos genéticos que afectan las fracciones proteicas de la leche, como la caseína y las proteínas del suero. (Clark, 2017).

Edad y Estado Fisiológico: La edad del animal y su estado fisiológico también influyen en la calidad de la leche. Las cabras más jóvenes tienden a producir menos leche, pero con una mayor concentración de nutrientes, como grasa y proteína) (Ciappesoni *et al*, 2004). Además, el número de partos y el estado de lactancia son determinantes; las cabras en su segunda o tercera lactancia suelen tener un rendimiento superior en comparación con las primerizas, tanto en cantidad como en calidad de leche. Esto se debe a que, con la madurez, las cabras alcanzan su máximo potencial productivo y adaptan mejor su metabolismo a las demandas de la lactancia.

2.2.2 Factores Extrínsecos

Los factores extrínsecos son aquellos relacionados con el entorno y las prácticas de manejo, y pueden incluir:

Alimentación: La dieta es uno de los factores más importantes que afectan la calidad de la leche. La cantidad y tipo de fibra, el nivel de proteína, así como el tamaño de partícula del alimento, son determinantes en la producción (Ciappesoni *et al*, 2004). Dietas ricas en forraje verde y suplementos energéticos han demostrado

mejorar tanto la cantidad como la calidad del producto final. Un estudio indicó que "la relación forraje-concentrado influye directamente en los niveles de grasa y proteína en la leche" (Esparza-Flores *et al*, 2012).

Manejo Sanitario: Las prácticas de manejo también son cruciales para mantener altos estándares de calidad. Un manejo inadecuado puede llevar a contaminaciones microbiológicas que afectan no solo la calidad sanitaria sino también las características sensoriales del producto final. La implementación de buenas prácticas durante el ordeño es esencial para asegurar un producto seguro. (FAO, 2004).

Condiciones ambientales: Las condiciones climáticas, como temperatura y humedad, pueden afectar el bienestar del animal y, por ende, su producción lechera. Las altas temperaturas pueden reducir el consumo de alimento y afectar negativamente la producción láctea (Zeng *et al*, 1996). Además, el estrés térmico puede influir en la composición química de la leche, alterando su perfil nutricional.

2.3 Impacto de los Suplementos Nutricionales

La suplementación nutricional ha sido objeto de numerosos estudios debido a su potencial para mejorar la producción y calidad de la leche caprina. Un estudio reciente reveló que los caprinos alimentados con suplementos energéticos, como aceites vegetales y concentrados proteicos, produjeron un 20% más de leche en comparación con aquellos que no los recibieron. Además del aumento en la producción, los suplementos también pueden contribuir a una mejor salud general del ganado, lo que es fundamental para la sostenibilidad del sistema productivo (Sánchez *et al*, 2022). Estos beneficios se deben a que los suplementos mejoran la eficiencia alimentaria y proporcionan nutrientes esenciales que optimizan el metabolismo de los animales.

Entre los principales impactos de la suplementación nutricional se encuentran:

Aumento en la producción de leche: Los suplementos energéticos y proteicos estimulan la síntesis de leche al proporcionar los nutrientes necesarios para la lactancia (Chilliard *et al*, 2003).

Mejora de la calidad de la leche: La inclusión de suplementos ricos en ácidos grasos omega-3 y omega-6 puede mejorar el perfil lipídico de la leche, aumentando su valor nutricional (Sanz Sampelayo *et al*, 2007).

Refuerzo del sistema inmunológico: Los suplementos con vitaminas y minerales, como el selenio y la vitamina E, fortalecen el sistema inmunológico de los caprinos, reduciendo la incidencia de enfermedades (NRC, 2007).

2.3.1 Aumento en la Producción Lechera

Estudios han demostrado que la inclusión de suplementos nutricionales puede resultar en un aumento significativo en la producción de leche. En un estudio realizado por Wang y Nishino (2008), se encontró que las cabras complementadas con 1000 g de alimento integral mostraron un aumento del 56.2% en la producción de leche en comparación con las cabras testigo. Este incremento se atribuye a una mayor disponibilidad de nutrientes esenciales, como proteínas y energía, que favorecen la síntesis láctea y optimizan el metabolismo de los animales.

Además, el uso de alimentos ricos en carbohidratos no estructurales, como almidones y azúcares, puede favorecer una mayor producción de ácido propiónico en el rumen. Este compuesto incrementa los niveles de glucosa en sangre a través de la gluconeogénesis, un proceso metabólico clave para la producción de leche (Hötger *et al*, 2013). La glucosa es fundamental para la síntesis de lactosa, el principal osmoregulador en la glándula mamaria, lo que a su vez promueve una mayor producción de leche (Bauman & Griinari, 2003). Estos hallazgos resaltan la importancia de una alimentación balanceada y suplementada para maximizar el rendimiento lechero en los caprinos.

2.3.2 Composición Nutricional de la Leche

La calidad nutricional de la leche caprina también se ve afectada positivamente por la suplementación. Estudios han demostrado que, al complementar la dieta con

alimentos integrales, como forrajes y concentrados, se observa un aumento en las concentraciones de proteínas y lactosa en la leche (Chilliart *et al*, 2003; Esparza-Flores *et al*, 2012). En un experimento específico, se observó que las cabras alimentadas con 1000 g de suplemento presentaron aumentos significativos en el contenido proteico (3.27%) y en lactosa (4.89%), lo que sugiere que una dieta balanceada y enriquecida puede optimizar la composición nutricional de la leche (Wang & Nishino, 2008).

Además, el contenido mineral de la leche también se beneficia con una adecuada suplementación. Minerales como el calcio y el fósforo, esenciales para diversas funciones metabólicas, pueden incrementar su concentración en la leche cuando se incluyen en la dieta de los caprinos. Estos minerales son cruciales no solo para el desarrollo óseo de los consumidores, sino también para otros procesos fisiológicos, como la coagulación sanguínea y la transmisión nerviosa. Por ejemplo, una dieta rica en fuentes de calcio, como harina de hueso o suplementos minerales, puede mejorar significativamente el perfil nutricional de la leche caprina (NRC, 2007).

2.3.3 Calidad Físico-Química

La calidad físico-química de la leche caprina está estrechamente relacionada con su composición bromatológica, la cual depende en gran medida de la dieta proporcionada a los animales. La relación entre forraje y concentrado es fundamental, ya que dietas desequilibradas pueden llevar a una disminución en los niveles de sólidos totales y caseína, componentes clave para la calidad de la leche (Pulina *Et al*, 2006). Un estudio demostró que las cabras alimentadas con dietas equilibradas, que combinan adecuadamente forrajes y concentrados, mostraron mayores niveles de sólidos no grasos y caseína, indicadores clave de calidad láctea (Goetsh, 2011).

Además, el tipo de fibra presente en la dieta influye significativamente en la fermentación ruminal y, por ende, en la producción de ácidos grasos volátiles, como acetato, propionato y butirato, que afectan directamente el perfil lipídico de la leche (Van Soest, 1994). Una dieta rica en fibra de alta calidad, como la proveniente de forrajes verdes, puede favorecer una mayor producción de acetato y butirato, lo que

contribuye a una mejor calidad láctea y a un perfil lipídico más equilibrado (Sanz Sampelayo *et al*, 2007). Estos ácidos grasos volátiles no solo mejoran la composición de la leche, sino que también influyen en sus propiedades organolépticas, como el sabor y la textura (Chilliard *et al*, 2003).

2.3.4 Calidad Microbiológica y Sanitaria

La calidad microbiológica es un aspecto esencial para garantizar la seguridad alimentaria en los productos lácteos, especialmente en la leche caprina, que es altamente susceptible a la contaminación debido a su composición y manejo. (FAO, 2013). Diversos estudios advierten que la manipulación inadecuada durante el ordeño puede llevar a una contaminación significativa. Esto incluye la presencia de microorganismos patógenos como *Escherichia coli*, *Salmonella spp.* y *Listeria monocytogenes*, que pueden comprometer la seguridad del producto y la salud del consumidor. Por lo tanto, se deben implementar buenas prácticas de manejo, como la higiene adecuada de los equipos de ordeño, la limpieza de las ubres y el enfriamiento rápido de la leche, para minimizar los riesgos microbiológicos y asegurar un producto final seguro (Kyozaire *et al*, 2005; Thibodeau *et al*, 2025).

Además de las prácticas de manejo, el estado sanitario del rebaño es un factor crítico. Las enfermedades infecciosas, como la mastitis, pueden aumentar significativamente la carga microbiana en la leche y afectar su calidad (Contreras *et al*, 2007). La mastitis subclínica, en particular, es difícil de detectar sin pruebas específicas, pero puede tener un impacto negativo en la composición de la leche, reduciendo los niveles de lactosa y caseína, y aumentando los niveles de células somáticas (Leitner *et al*, 2008). Por ello, es fundamental implementar programas de control sanitario que incluyan pruebas regulares de mastitis y el tratamiento oportuno de los animales afectados.

Otro aspecto importante es el almacenamiento y transporte de la leche. Estudios han demostrado que el enfriamiento inmediato de la leche a temperaturas inferiores a 4°C puede reducir significativamente el crecimiento bacteriano y prolongar su vida útil (Raynal-Ljutovac *et al*, 2008). Además, el uso de sistemas de refrigeración adecuados y la implementación de protocolos de limpieza y desinfección en los

tanques de almacenamiento son prácticas clave para mantener la calidad microbiológica de la leche (Todaro *et al*, 2015).

2.3.5 Análisis Sensorial y Aceptación del Consumidor

La aceptación del consumidor hacia la leche caprina está fuertemente influenciada por sus características sensoriales, como el sabor, el aroma, la textura y el color. Un estudio encontró que "la leche caprina es preferida por su sabor distintivo en comparación con otros tipos de leche, especialmente en regiones donde su consumo es tradicional" (Torres *et al*, 2019). Este sabor distintivo, que puede describirse como ligeramente dulce y con un toque terroso, es resultado de su composición única de ácidos grasos y proteínas, así como de los compuestos volátiles generados durante la fermentación ruminal (Raynal-Ljutovac *et al*, 2008).

Sin embargo, las características sensoriales de la leche caprina pueden variar significativamente dependiendo de los métodos de procesamiento utilizados. Por ejemplo, la pasteurización y la homogeneización pueden afectar el perfil de sabores y la textura de la leche, lo que subraya la importancia de considerar tanto el manejo como el procesamiento en la producción láctea caprina (Park, 2000). Además, el almacenamiento y la temperatura de conservación también juegan un papel crucial en la preservación de las cualidades sensoriales. Estudios han demostrado que el almacenamiento a temperaturas inferiores a 4°C ayuda a mantener el sabor y la frescura de la leche, mientras que temperaturas más altas pueden acelerar la degradación de los compuestos responsables de su aroma y sabor característicos (Todaro *et al*, 2015).

La aceptación del consumidor también está influenciada por factores culturales y hábitos alimentarios. En regiones donde el consumo de leche caprina es tradicional, como el Mediterráneo y América Latina, los consumidores tienden a valorar más sus características sensoriales únicas, mientras que en otras regiones puede haber una preferencia por sabores más neutros, como los de la leche bovina (Silanikove *et al*, 2010).

2.4 Nutrición Animal y Suplementación

La nutrición animal es un componente fundamental en la producción ganadera, especialmente en rumiantes como los caprinos. Estos animales poseen un sistema digestivo especializado que les permite aprovechar eficientemente forrajes y otros materiales vegetales, convirtiéndolos en nutrientes esenciales para su crecimiento, mantenimiento y producción (Van Soest, 1994).

Los suplementos energéticos, son esenciales para cubrir los requerimientos nutricionales, especialmente en etapas críticas como la lactancia y el crecimiento (NRC, 2007). Además, los suplementos proteicos, son cruciales para satisfacer la demanda de aminoácidos en cabras en lactancia (Sanz Sampelayo *et al*, 2007).

La suplementación no solo mejora la producción de leche, sino que también influye en su composición, aumentando los niveles de grasa, proteína y sólidos totales (Park, 2000; Clark & Sherbon, 2000).

A continuación, se exploran los principios de la nutrición en rumiantes y la importancia de los suplementos energéticos en la dieta de caprinos.

2.4.1 Principios de la Nutrición en Rumiantes.

Los rumiantes, como las cabras, poseen un aparato digestivo único que consta de cuatro compartimentos: el rumen, el retículo, el omaso y el abomaso. Este sistema les permite fermentar y descomponer los forrajes gracias a la acción de microorganismos presentes en el rumen. Estos microorganismos son cruciales para la digestión de la celulosa y otros carbohidratos complejos, produciendo ácidos grasos volátiles (AGV) que sirven como una fuente principal de energía (Van Soest, 1994).

Para mantener una salud óptima y una alta productividad, es vital proporcionar una dieta balanceada que incluya carbohidratos y proteínas adecuadas para alimentar a los microorganismos del rumen. Los requerimientos nutricionales varían según factores como la edad, el estado reproductivo y las condiciones climáticas. Por ejemplo, las cabras lecheras requieren mayores cantidades de energía y proteína en comparación con las que no están lactando (Martínez *et al*, 2021).

El forraje verde es una fuente vital de nutrientes para los rumiantes, ya que aporta carbohidratos, proteínas, vitaminas y minerales. Sin embargo, la calidad del forraje puede variar según la especie vegetal y su madurez, lo que puede afectar su valor nutricional. En situaciones donde el forraje es escaso o de baja calidad, puede ser necesaria la suplementación para asegurar que los animales reciban todos los nutrientes requeridos (González *et al*, 2019).

2.4.2 Importancia de los Suplementos Energéticos en la Dieta de Caprinos.

La inclusión de suplementos energéticos en la dieta de caprinos es esencial para maximizar su rendimiento productivo. Estos suplementos son particularmente importantes durante períodos críticos como la lactación o el crecimiento rápido, ya que ayudan a satisfacer las altas demandas energéticas que requieren las cabras lecheras para mantener su producción láctea y su salud general (Cannas *et al*, 2004). Los suplementos energéticos, como granos de cereales y subproductos industriales, proporcionan una fuente concentrada de energía que mejora la eficiencia alimentaria y optimiza la fermentación ruminal (Morand-Fehr & Sauvant, 1988)

Estudios han demostrado que el uso de suplementos energéticos puede aumentar significativamente el contenido graso y proteico de la leche, lo cual es fundamental para satisfacer las expectativas del mercado (Nudda *et al*, 2004). Además, una dieta equilibrada que incluye suplementos energéticos puede ayudar a prevenir problemas metabólicos relacionados con deficiencias nutricionales, como la cetosis o el desbalance energético negativo, que son comunes en cabras de alta producción (NRC, 2007). Por ejemplo, la inclusión de carbohidratos no estructurales, como el almidón, favorece la producción de ácido propiónico en el rumen, un precursor clave de la glucosa, lo que mejora tanto la producción de leche como su composición (Hötger *et al*, 2013).

En resumen, los suplementos energéticos no solo mejoran el rendimiento productivo de los caprinos, sino que también contribuyen a mantener su salud y bienestar, especialmente en etapas de alta demanda energética.

2.5 Gluconeogénesis

La gluconeogénesis es un proceso metabólico esencial en los rumiantes, incluyendo las cabras, que permite la síntesis de glucosa a partir de precursores no glucídicos. Este proceso es vital para mantener la homeostasis de la glucosa, especialmente durante períodos de alta demanda energética, como la lactancia y el crecimiento. La gluconeogénesis se lleva a cabo principalmente en el hígado y, en menor medida, en los riñones, convirtiendo compuestos como el lactato, el glicerol y ciertos aminoácidos en glucosa. En rumiantes, el propionato, un ácido graso volátil producido durante la fermentación de carbohidratos en el rumen, es el principal sustrato para la gluconeogénesis (Donkin *et al*, 2016). Aproximadamente el 50% del propionato absorbido se convierte en glucosa, lo que subraya su importancia en el metabolismo energético de los rumiantes (Huntington, 1990).

Los pasos clave en la gluconeogénesis incluyen:

1. Conversión de propionato a oxalacetato: El propionato se convierte en propionil-CoA y luego en oxalacetato mediante la acción de la propionil-CoA carboxilasa.
2. Formación de fosfoenolpiruvato: El oxalacetato se convierte en fosfoenolpiruvato (PEP) por la enzima PEP carboxiquinasa (PEPCK), un paso crucial que regula la entrada de sustratos en la gluconeogénesis (Zhang, 2018).

Este proceso no solo es fundamental para mantener los niveles de glucosa en sangre, sino que también tiene un impacto directo en la producción lechera. Durante la lactancia, la demanda de glucosa aumenta significativamente, ya que es un precursor clave para la síntesis de lactosa, el principal carbohidrato de la leche. Por lo tanto, una gluconeogénesis eficiente es esencial para maximizar la producción de leche y mantener la salud metabólica de las cabras (Reynolds, 2006).

2.6 Sustratos Gluconeogénicos

Los sustratos gluconeogénicos son compuestos que pueden ser utilizados por los rumiantes para la síntesis de glucosa a partir de precursores no glucídicos. Este proceso es crucial en situaciones donde la disponibilidad de glucosa es limitada,

como durante la lactancia o el crecimiento. Los principales sustratos gluconeogénicos incluyen:

Propionato: Es el sustrato más importante para la gluconeogénesis en rumiantes. Se produce principalmente a partir de la fermentación de carbohidratos en el rumen y su disponibilidad es crucial para satisfacer las necesidades glucídicas durante períodos críticos (Bauman & Griinari, 2003). Aproximadamente el 50% del propionato absorbido se convierte en glucosa, lo que lo convierte en una fuente clave de energía para los rumiantes (Huntington, 1990).

Lactato: Este compuesto se genera durante el metabolismo anaeróbico, como en situaciones de alta actividad física o estrés, y puede ser convertido nuevamente a glucosa a través del ciclo de Cori. El lactato es un precursor significativo para la gluconeogénesis, especialmente en condiciones donde el metabolismo energético está acelerado (Harmon, 1991; Bergman, 1990; Kohn, 1998).

Aminoácidos: Algunos aminoácidos glucogénicos, como la alanina y la glutamina, también pueden ser utilizados como precursores para la síntesis de glucosa. Estos aminoácidos son especialmente importantes cuando las reservas energéticas son limitadas, como en períodos de ayuno o deficiencia nutricional (Donkin et al., 2016). La degradación de proteínas musculares para liberar aminoácidos glucogénicos es un mecanismo de adaptación que permite mantener los niveles de glucosa en sangre.

2.7 Regulación de la Gluconeogénesis

La gluconeogénesis es un proceso metabólico altamente regulado que permite a los rumiantes, como las cabras, sintetizar glucosa a partir de precursores no glucídicos. Este proceso es esencial para mantener la homeostasis de la glucosa, especialmente durante períodos de alta demanda energética, como la lactancia o el crecimiento. La regulación de la gluconeogénesis está influenciada por una combinación de factores hormonales, metabólicos y fisiológicos.

Regulación hormonal:

Insulina y glucagón: Estas dos hormonas desempeñan un papel crucial en la modulación de la gluconeogénesis. La insulina, secretada en respuesta a niveles elevados de glucosa en sangre, tiende a inhibir la gluconeogénesis al reducir la disponibilidad de sustratos y disminuir la expresión de enzimas clave como el fosfoenolpiruvato carboxiquinasa (PEPCK) (Donkin *et al*, 2016). Por otro lado, el glucagón, liberado en condiciones de baja glucosa en sangre, estimula la gluconeogénesis al activar la producción de cAMP, lo que a su vez aumenta la expresión de enzimas gluconeogénicas (Zhang, 2018).

Cortisol: Esta hormona, liberada en situaciones de estrés, también estimula la gluconeogénesis al aumentar la movilización de aminoácidos desde los tejidos periféricos y promover la expresión de enzimas gluconeogénicas (Reynolds, 2006).

Regulación por sustratos:

La disponibilidad de sustratos gluconeogénicos, como el propionato, el lactato y los aminoácidos, es un factor determinante en la tasa de gluconeogénesis. Por ejemplo, el propionato, producido durante la fermentación ruminal, es el principal sustrato para la síntesis de glucosa en rumiantes. Su disponibilidad influye directamente en la actividad de enzimas clave como la propionil-CoA carboxilasa y la PEPCK (Huntington, 1990).

En situaciones de ayuno o deficiencia energética, la degradación de proteínas musculares para liberar aminoácidos glucogénicos, como la alanina y la glutamina, se convierte en una fuente importante de precursores para la gluconeogénesis (Donkin *et al*, 2016).

Condiciones fisiológicas:

Las condiciones fisiológicas del animal, como el estado reproductivo (lactancia, gestación) y el nivel de actividad física, también influyen en la regulación de la gluconeogénesis. Durante la lactancia, por ejemplo, la demanda de glucosa aumenta significativamente para la síntesis de lactosa, lo que estimula la gluconeogénesis (Reynolds, 2006).

El estrés térmico y otras condiciones ambientales adversas pueden alterar el metabolismo energético, aumentando la dependencia de la gluconeogénesis para mantener los niveles de glucosa en sangre (Bauman & Griinari, 2003).

2.7.1 Impacto en la Producción Lechera

La gluconeogénesis tiene un impacto directo en la producción lechera caprina, ya que la glucosa es un precursor esencial para la síntesis de lactosa, el principal carbohidrato de la leche. Durante la lactancia, las cabras requieren grandes cantidades de glucosa para mantener la producción de leche, lo que incrementa significativamente su demanda energética (Bauman & Griinari, 2003).

Además, un suministro adecuado de sustratos gluconeogénicos ayuda a prevenir trastornos metabólicos como la cetosis, que puede ocurrir cuando las demandas energéticas superan las reservas disponibles. La cetosis es común en cabras de alta producción durante las primeras semanas de lactancia, cuando el balance energético es negativo debido a la alta demanda de glucosa para la síntesis de lactosa (Ribieiro *et al*, 2017). La capacidad del hígado para sintetizar glucosa a partir de precursores como el propionato, el lactato y los aminoácidos es fundamental para mantener la salud metabólica y maximizar la producción lechera.

Por otro lado, la eficiencia de la gluconeogénesis también está influenciada por factores como la dieta y el estado fisiológico del animal. Por ejemplo, dietas ricas en carbohidratos no estructurales, como el almidón, aumentan la producción de propionato en el rumen, lo que mejora la disponibilidad de sustratos para la gluconeogénesis (Reynolds, 2006). Esto no solo aumenta la producción de leche, sino que también mejora su composición, lo que es crucial para satisfacer las expectativas del mercado.

En resumen, la gluconeogénesis es un proceso clave que conecta la nutrición, el metabolismo energético y la producción lechera en las cabras. Una gestión adecuada de la dieta y el manejo nutricional puede optimizar este proceso, mejorando tanto la productividad como la salud del rebaño.

2.8 Gluconeogénesis y Producción de Ácidos Grasos Volátiles en el Rumen

La gluconeogénesis y la producción de ácidos grasos volátiles (AGV) son dos procesos metabólicos esenciales en los rumiantes, como las cabras, que están estrechamente interrelacionados. Mientras que la gluconeogénesis permite la síntesis de glucosa a partir de precursores no glucídicos, los AGV se producen en el rumen como resultado de la fermentación de carbohidratos por parte del microbiota ruminal. Ambos procesos son fundamentales para la producción lechera en cabras, ya que afectan tanto la disponibilidad de energía como la composición de la leche.

2.8.1 Producción de Ácidos Grasos Volátiles

Los ácidos grasos volátiles (AGV) son productos de la fermentación anaeróbica de carbohidratos en el rumen y representan la principal fuente de energía para los rumiantes. Los principales AGV producidos son el ácido acético, el ácido propiónico y el ácido butírico. La proporción de estos ácidos varía según la dieta del animal y tiene un impacto directo en su metabolismo energético y en la composición de la leche.

1. **Ácido Acético:** Es el AGV más abundante y se produce principalmente a partir de la fermentación de fibra dietética, como la celulosa y la hemicelulosa. Este ácido es un precursor clave para la síntesis de grasa en la glándula mamaria, lo que influye directamente en el contenido graso de la leche (Chase & Linn, 1986). Un aumento en la relación acetato: propionato está asociado con un mayor contenido graso en la leche, lo que es beneficioso para la producción de productos lácteos con alto valor nutricional.

2. **Ácido Propiónico:** Este ácido es fundamental para la gluconeogénesis, ya que se convierte en glucosa en el hígado. La glucosa derivada del propionato es esencial para satisfacer las demandas energéticas durante la lactancia, especialmente para la síntesis de lactosa, el principal carbohidrato de la leche. Un estudio indica que "la producción de leche está altamente influenciada por la cantidad de glucosa derivada del propionato producido en el rumen" (Reynolds, 2006). Por lo tanto, una dieta rica

en carbohidratos fermentables, como el almidón, puede aumentar la producción de propionato y mejorar la eficiencia energética del animal.

3. Ácido Butírico: Aunque menos abundante que el acetato y el propionato, el ácido butírico también desempeña un papel importante en el metabolismo energético. Este ácido puede ser utilizado directamente por las células epiteliales del rumen como fuente de energía y también contribuye a la salud intestinal. Además, el butirato tiene efectos positivos en la integridad de la mucosa ruminal y en la absorción de nutrientes (Bergman, 1990).

2.9 Relación entre Ácidos Grasos Volátiles y Gluconeogénesis

La producción de ácidos grasos volátiles (AGV) en el rumen está estrechamente relacionada con la gluconeogénesis, un proceso metabólico esencial en los rumiantes, como las cabras. El propionato, uno de los principales AGV, juega un papel central en este proceso. Una vez absorbido y transportado al hígado, el propionato se convierte en glucosa a través de una serie de reacciones metabólicas que involucran enzimas clave como la propionil-CoA carboxilasa y el fosfoenolpiruvato carboxiquinasa (PEPCK) (Zhang, 2018). Este proceso es fundamental para mantener niveles adecuados de glucosa en sangre, especialmente durante períodos críticos como la lactancia, cuando la demanda de glucosa aumenta significativamente para la síntesis de lactosa.

Un equilibrio adecuado entre los AGV es crucial para optimizar tanto la producción de leche como su composición. Una relación alta entre acetato y propionato favorece la síntesis de grasa láctea, ya que el acetato es un precursor clave para la producción de ácidos grasos en la glándula mamaria (Chase & Linn, 1986). Por otro lado, una alta producción de propionato puede llevar a una mayor producción de glucosa, lo que mejora la síntesis de lactosa y aumenta el volumen de leche, pero puede reducir el contenido graso de la leche (Sanz Sampelayo *et al*, 2007). Este balance es particularmente importante para evitar trastornos metabólicos como la cetosis o el hígado graso, que pueden ocurrir cuando las demandas energéticas superan las reservas disponibles (Van Soest, 1994).

Además, la relación entre los AGV y la gluconeogénesis también está influenciada por la dieta. Dietas ricas en fibra tienden a aumentar la producción de acetato, mientras que dietas con altos niveles de carbohidratos no estructurales, como el almidón, favorecen la producción de propionato (Reynolds, 2006). Por lo tanto, la formulación de dietas equilibradas que optimicen la producción de AGV es esencial para maximizar la eficiencia productiva y prevenir problemas metabólicos.

2.9.1 Impacto en la Producción Lechera

La gluconeogénesis y la producción de ácidos grasos volátiles (AGV) tienen un impacto directo en la cantidad y calidad de la leche caprina. Durante la lactancia, las cabras requieren grandes cantidades de glucosa para sintetizar lactosa, el principal carbohidrato de la leche, lo que incrementa significativamente su demanda energética (Bauman & Griinari, 2003). La disponibilidad adecuada de sustratos gluconeogénicos, como el propionato, es esencial para satisfacer esta demanda y maximizar la producción lechera.

Un estudio realizado por demostró que las cabras alimentadas con dietas ricas en forraje presentaron una mejor relación acetato: propionato, lo que se tradujo en un aumento significativo en la producción y calidad de la leche. Este equilibrio entre los AGV no solo favorece la síntesis de grasa láctea, debido al mayor aporte de acetato, sino que también asegura una producción adecuada de glucosa a partir del propionato, lo que es crucial para la síntesis de lactosa (Sanz Sampelayo *et al*, 2007; Chilliard *et al*, 2003).. Estos hallazgos resaltan la importancia de equilibrar adecuadamente los componentes fibrosos y concentrados en las dietas caprinas para maximizar tanto la producción lechera como mantener una buena salud metabólica.

Además, una dieta bien balanceada que optimice la producción de AGV y la gluconeogénesis ayuda a prevenir trastornos metabólicos comunes en cabras lecheras, como la cetosis y el hígado graso, que pueden ocurrir cuando las demandas energéticas superan las reservas disponibles (NCR, 2007). Por lo tanto, la gestión nutricional es clave para asegurar una producción lechera sostenible y de alta calidad.

III. OBJETIVO

Evaluar el efecto de la adición de un precursor gluconeogénico en la dieta de cabras lecheras sobre la calidad de la leche en condiciones del municipio de Lerdo, Durango.

IV. HIPÓTESIS

La adición de energéticos nutricionales en la dieta de cabras lecheras mejora los parámetros de calidad en la leche.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Localización del área de estudio.

El trabajo se realizó en el ejido de Las Isabeles con las coordenadas geográficas 25.49667° N (25° 29' 48" N) latitud norte y -103.5575° O (103° 33' 27" O) longitud oeste, en el municipio de Lerdo Durango, México. El trabajo se realizó en la región Laguna del estado de Durango, México (latitud 25°29' N; longitud 103°33' W). Las temperaturas medias anuales máximas y mínimas varían de 37 ° C entre mayo y agosto a 6 ° C entre diciembre y enero. La región de la Laguna se caracteriza por un clima semiárido con una escasa precipitación pluvial, la media anual es de 266 mm (163 -504 mm), que generalmente ocurre entre junio y septiembre (Duarte et al, 2008).

5.2 Manejo de los animales experimentales Descripción de las hembras caprinas y el sistema de producción

El estudio se realizó durante un periodo de un mes, de mayo a junio del 2024.. Se utilizaron 20 cabras multirraciales hembras adultas divididas en dos grupos: Grupo control (GC) (N=10), grupo tratado (GT) (n=10), locales de la Comarca Lagunera, de 5 años en promedio. El 29 de mayo, las hembras se distribuyeron en dos grupos de 10 animales cada uno considerando peso vivo (PV), edad y condición corporal (CC). El grupo control, (peso corporal: 58.4 ± 5.84 ; edad: $5.1 \pm .51$; condición corporal: 3) fue alojado en un corral (10x13 m), provisto de sombra, en cuanto a las hembras del grupo experimental (peso corporal: 58 ± 5.8 ; edad: $4.9 \pm .49$; condición corporal: 3), se alojaron en un corral con medidas de 10x15m, provistos con sombra. En ambos grupos la alimentación fue la misma a lo largo de todo el experimento: fueron alimentados diariamente con 2 kg de heno de alfalfa de primera calidad, sales minerales en block y agua limpia empleada *ad libitum*. En el experimental se adicionaron 5 gramos por animal por día del precursor gluconeogénico. Los dos grupos se encontraron expuestos a los cambios naturales de la temperatura ambiental durante todo el estudio.

5.3 Variables determinadas

5.3.1 Peso vivo

El peso corporal se midió al inicio (mayo) y al final del estudio (junio), siempre en las mañanas (8:00 AM) antes de proporcionar alimento y agua, para garantizar condiciones estandarizadas. Se utilizó una báscula Torrey® (Nuevo León, México) con capacidad de 150 kg y precisión de 0.05 kg. Todas las mediciones fueron realizadas por el mismo operador para minimizar variaciones.

5.3.2 Edad

La edad de los animales se determinó mediante registros zootécnicos proporcionados por la granja, verificados mediante evaluación de la dentición (patrón de erupción y desgaste de incisivos). Los animales se clasificaron en: adultos (>3 años).

5.3.3 Condición corporal

La condición corporal se evaluó mediante palpación y observación visual utilizando una escala de 1 a 5 puntos, donde 1 corresponde a animales muy delgados (costillas visibles) y 5 a animales obesos (depósitos grasos abundantes). Todas las evaluaciones fueron realizadas por el mismo técnico capacitado para garantizar consistencia en los criterios (Villaquirán, 2005).

5.3.4 Parámetros de calidad de la leche (Grasa, proteína, lactosa, sólidos totales, sólidos no grasos)

Los porcentajes de parámetros de calidad en la leche se determinó utilizando el equipo Milkoscan Mars™ (Foss Analytical) mediante espectroscopía de infrarrojo medio. Las muestras se analizaron en triplicado después de homogeneizarlas a 40°C, siguiendo el protocolo estandarizado del fabricante.

5.1.1 Grados Brix (%)

Los grados Brix se midieron un refractómetro digital. Las muestras se analizaron a temperatura ambiente (20-25°C) después de homogenización, siguiendo los protocolos estandarizados.

5.1.2 Análisis estadístico

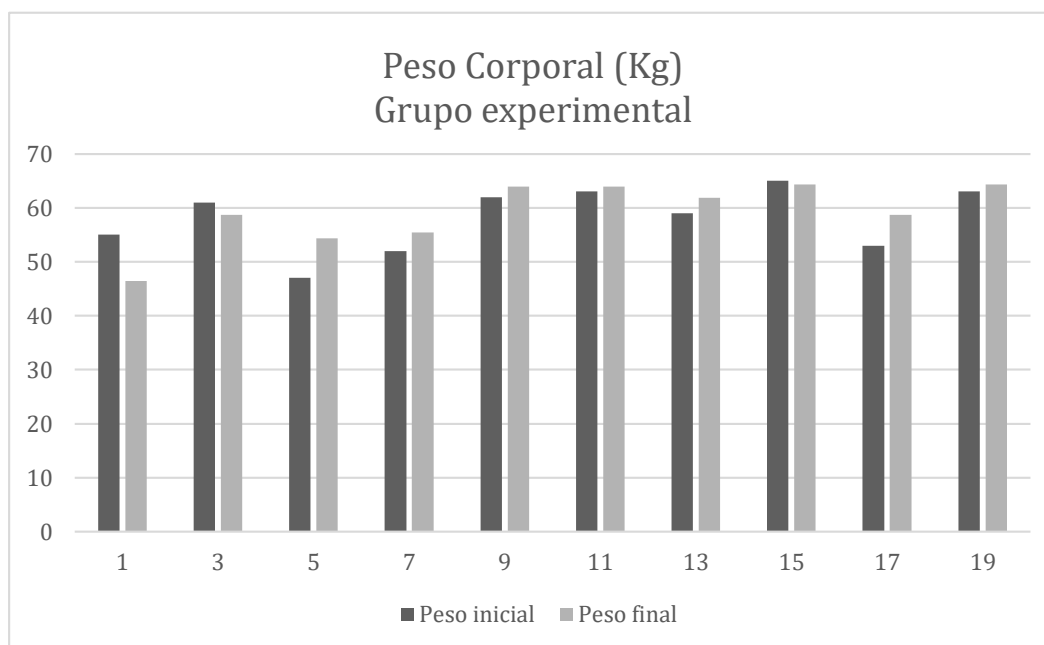
SYSTAT 13 (System Software, San José, CA). Utilizamos 2 vías de medidas repetidas para detectar diferencias entre tratamientos. El modelo incluyó el tratamiento (grupo), el tiempo de muestreo (meses), y la interacción entre estos factores, seguida por prueba T para comparaciones en puntos individuales 2×2 .
(falta)

VI. RESULTADOS

6.1 Peso corporal

Durante el periodo experimental se observó un aumento en el peso corporal en ambos grupos (control y tratado). Sin embargo, aunque el cambio en el tiempo fue significativo ($P < 0.0001$), no se detectó una interacción significativa entre el tratamiento y el tiempo ($P > 0.05$). Esto indica que el suplemento gluconeogénico no tuvo un efecto diferencial significativo sobre el peso corporal en comparación con el grupo control durante el tiempo de estudio. El peso corporal vario con el tiempo ($P < 0.0001$), pero sin interacción significativa entre el tiempo y los grupos de hembras ($P > 0.05$; Figura 1).

a)



b)

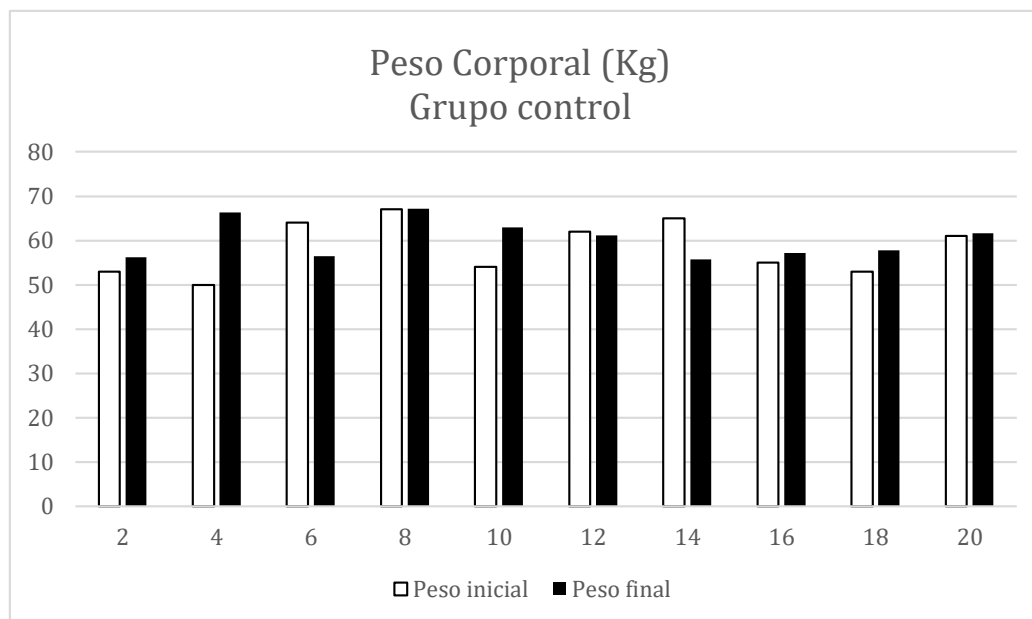


Figura 1 Peso corporal grupo experimental (kg) (a), Peso corporal grupo control (kg) (b) inicial (□) y final (■).

6.2 Calidad Leche

6.2.1 Grasa

La calidad de la leche, evaluada a través del contenido de grasa o proteína, mostró variaciones significativas a lo largo del estudio ($P < 0.0001$). Sin embargo, no se observó una interacción significativa entre el tiempo y los grupos (experimental y control) ($P > 0.05$)

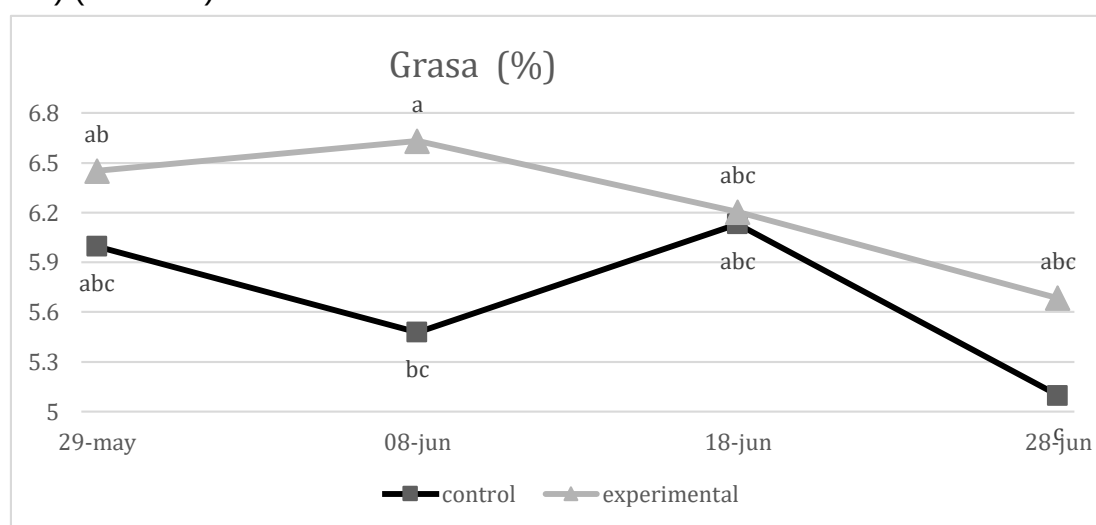


Figura 2 Grasa (%)

6.2.2 Proteína.

El grupo tratado mostró un incremento significativo en el porcentaje de proteína láctea en comparación con el grupo control ($P < 0.05$), lo que sugiere una influencia positiva del suplemento sobre la síntesis proteica.

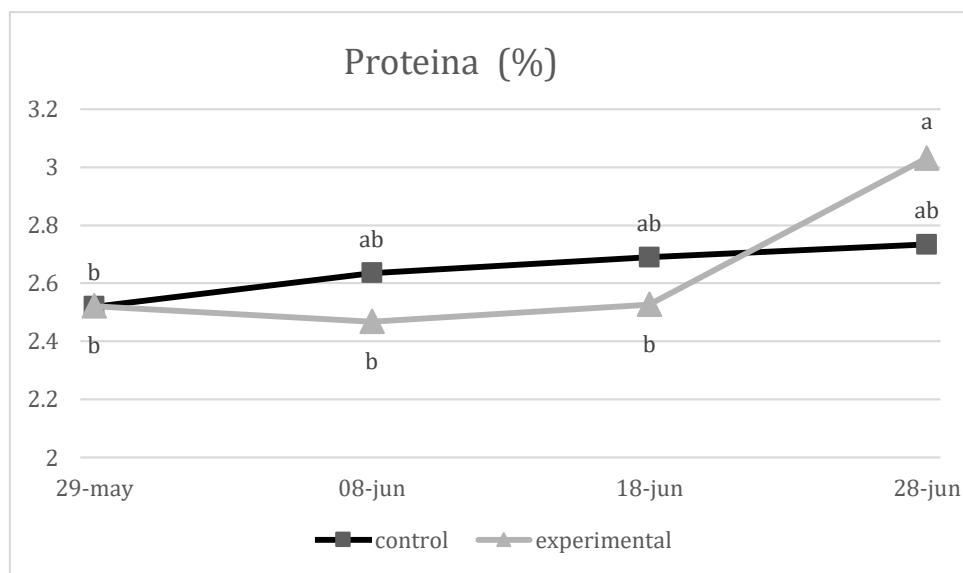
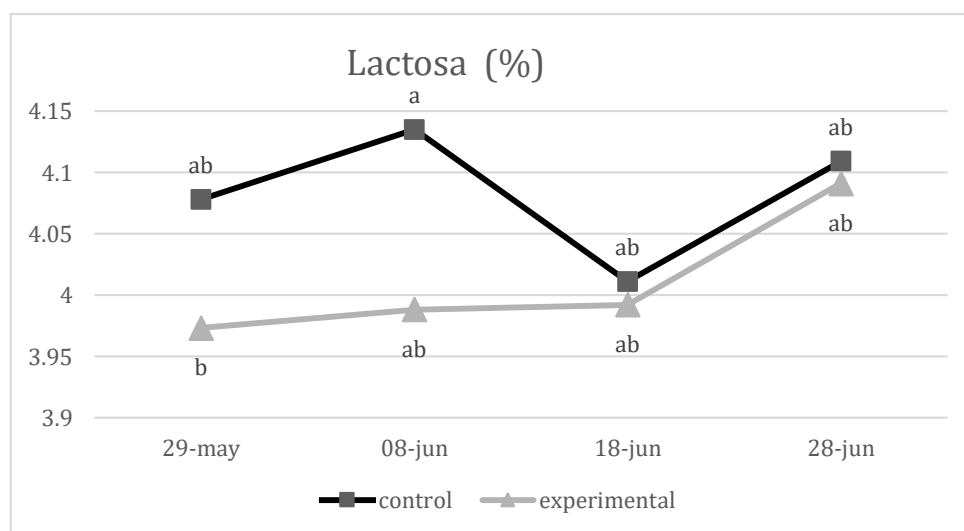


Figura 3 Proteína (%)

6.2.3 Lactosa.

Se observó un ligero aumento en el contenido de lactosa en el grupo tratado, sin alcanzar significancia estadística ($P > 0.05$).



Lactosa (%)

6.2.4 Sólidos no grasos.

Hubo una mejora observable en el grupo tratado, especialmente al finalizar el experimento, aunque sin diferencia significativa.

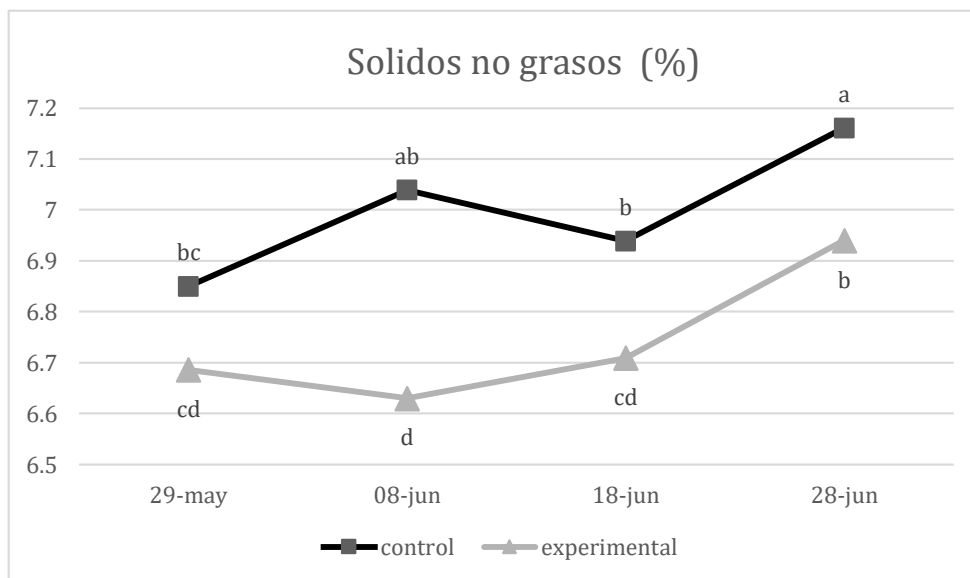


Figura 4 Sólidos no grasos (%)

6.2.5 Sólidos totales

Este parámetro presentó un incremento leve en el grupo tratado, vinculado con los aumentos observados en grasa y proteína, pero sin diferencia estadística concluyente.

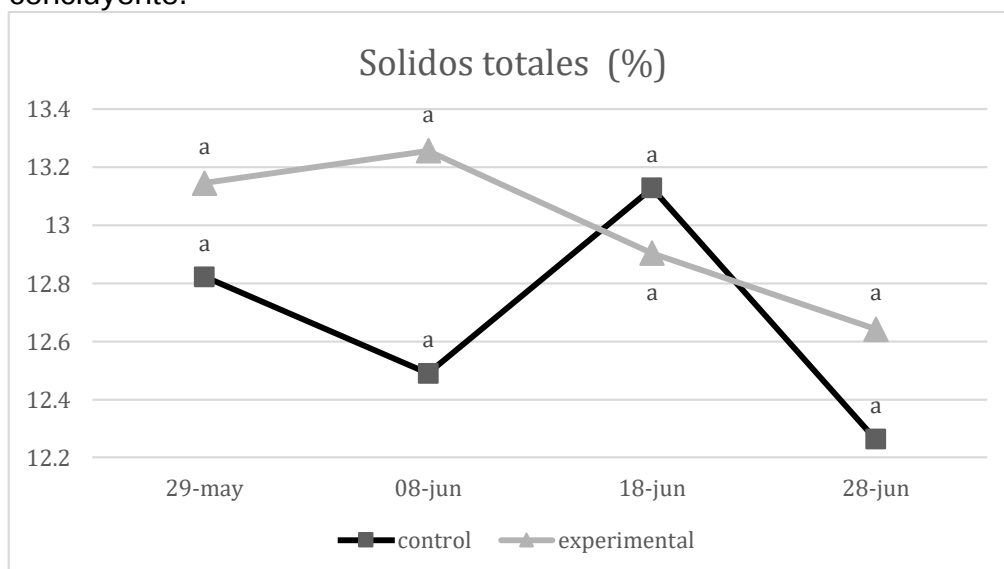


Figura 5 Sólidos totales (%)

6.2.6 Potencial de hidrogeno

No se observaron diferencias significativas entre grupos, manteniéndose dentro de los rangos fisiológicos normales (6.5–6.8).

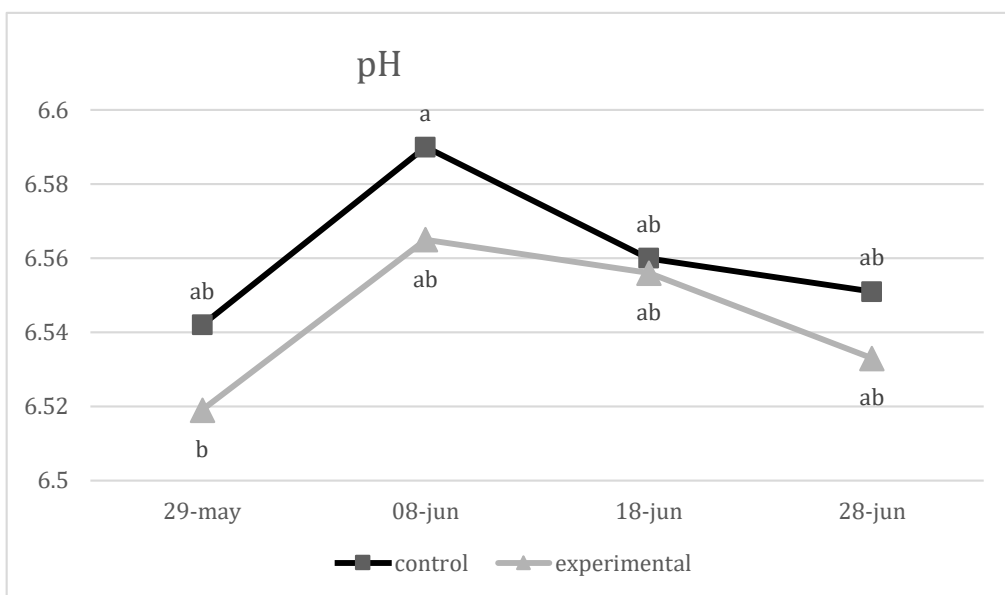


Figura 6 Potencial de Hidrogeno (pH)

6.2.7 % Brix

El grupo tratado mostró valores ligeramente superiores en grados Brix, lo cual indica mayor concentración de sólidos solubles totales en la leche, alineándose con los demás parámetros evaluados.

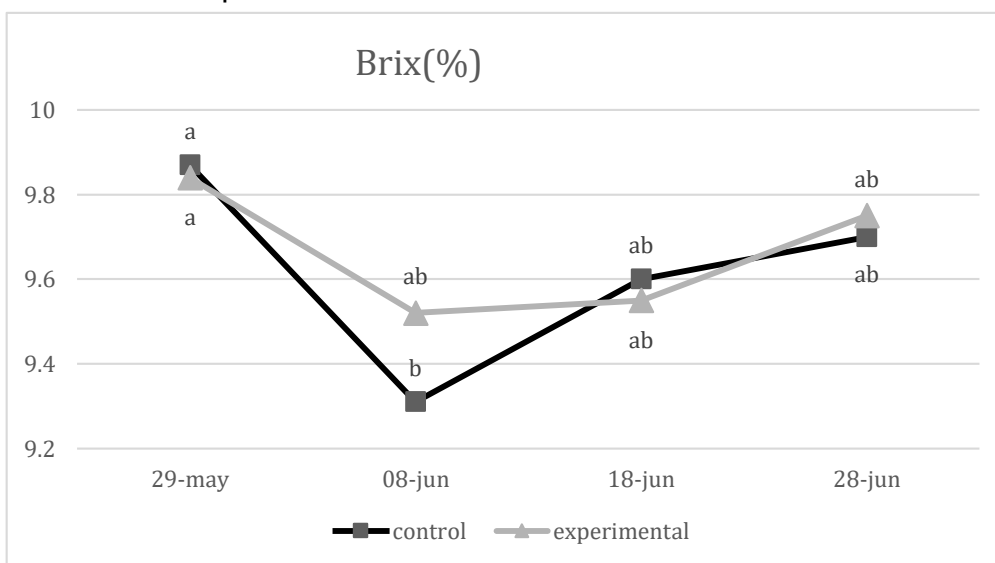


Figura 7 Grados Brix (%)

VII. DISCUSIÓN

Los resultados del presente estudio evidencian que la adición de un precursor gluconeogénico en la dieta de cabras lactantes puede influir positivamente en ciertos parámetros de calidad de la leche, especialmente en el contenido proteico. Estos hallazgos coinciden con estudios previos (Wang y Nishino, 2008;) que señalan el papel de la suplementación energética en la mejora de la producción y calidad del producto lácteo en rumiantes.

Aunque no se detectaron diferencias significativas en todos los parámetros, el incremento observado en la proteína y los sólidos totales es relevante, ya que estos componentes son indicadores de calidad nutricional y determinan la aceptación del producto en el mercado. El hecho de que el peso corporal no se viera afectado significativamente sugiere que el suplemento actuó de manera más específica sobre el metabolismo lácteo, favoreciendo la gluconeogénesis sin generar acumulación de tejido adiposo o muscular excesivo.

Cabe destacar que la respuesta observada puede estar influida por el tiempo limitado del estudio (un mes). Investigaciones con períodos más prolongados podrían revelar efectos acumulativos más marcados, particularmente en parámetros como la grasa y lactosa, cuya síntesis también depende del balance energético y de la actividad microbiana ruminal.

Por otra parte, se mantuvieron condiciones sanitarias y alimenticias constantes, lo que permitió aislar el efecto del suplemento y atribuirle las diferencias observadas en los indicadores analizados

VIII. CONCLUSIÓN

La adición de un precursor gluconeogénico a la dieta de cabras lactantes en condiciones semiáridas del norte de México mostró efectos positivos sobre algunos parámetros de calidad de la leche, especialmente en el contenido de proteína y sólidos solubles. Aunque no todas las diferencias fueron estadísticamente significativas, los resultados sugieren que este tipo de suplementación puede ser una herramienta útil para mejorar la eficiencia productiva en sistemas caprinos.

Este estudio respalda la viabilidad de estrategias nutricionales basadas en la modulación de la gluconeogénesis para incrementar la calidad del producto lácteo, sin comprometer el bienestar ni la condición corporal de los animales.

Se recomienda continuar esta línea de investigación con evaluaciones a mayor escala y en diferentes etapas fisiológicas de los animales para validar y expandir los hallazgos obtenidos.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alais, C., Linden, G., & Mocquot, G. (1991). *Science du lait: Principes des techniques laitières* (4^a ed.). París: SEPAI.
- Bauman, D. E., & Griinari, J. M. (2003). Nutritional regulation of milk fat synthesis. *Annual Review of Nutrition*, 23, 203-227. <https://doi.org/10.1146/annurev.nutr.23.011702.073408>.
- Bergman, E. N. (1990). Energy contributions of volatile fatty acids from the gastrointestinal tract in various species. *Physiological Reviews*, 70(2), 567-590. <https://doi.org/10.1152/physrev.1990.70.2.567>.
- Chacón-Villalobos, A. (2005). Aspectos nutricionales de la leche de cabra (*Capra hircus*) y sus variaciones en el proceso agroindustrial. *Agronomía Mesoamericana*, 16(2), 239–252.
- Chase, L. E., & Linn, J. G. (1986). Effect of feeding systems on milk composition and rumen volatile fatty acids. *Journal of Dairy Science*, 69(1), 45-52. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(86\)80368-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(86)80368-5)
- Chilliard, Y., Ferlay, A., Rouel, J., & Lamberet, G. (2003). A review of nutritional and physiological factors affecting goat milk lipid synthesis and lipolysis. *Journal of Dairy Science*, 86(5), 1751-1770. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73761-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73761-8).
- Claps, S., Di Napoli, M. A., Sepe, L., Caputo, A. R., & Rufrano, D. (2017). Fatty acid composition of goat milk from different breeds in Southern Italy. *Small Ruminant Research*, 153, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2017.04.012>.
- Contreras, A., Sierra, D., Sánchez, A., Corrales, J. C., Marco, J. C., & Paape, M. J. (2007). Mastitis in small ruminants. *Small Ruminant Research*, 68(1-2), 145-153. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2006.09.011>.

- Corredig, M., Sharafbafi, N., & Kristo, E. (2019). Composition and properties of goat milk lipids: A review. *Journal of Dairy Science*, 102(5), 4057-4070. <https://doi.org/0.3168/jds.2018-15334>
- Delgadillo, J. A., Canedo, G. A., Chemineau, P., Guillaume, D., & Malraux, B. (1999). Evidence for an annual reproductive rhythm independent of food availability in male Creole goats in subtropical northern Mexico. *Theriogenology*, 52(5), 727-737. [https://doi.org/10.1016/S0093-691X\(99\)00166-1](https://doi.org/10.1016/S0093-691X(99)00166-1).
- Delgadillo, J. A., Leboeuf, B., Chemineau, P. (2020). Undernutrition reduces the body weight and testicular size of bucks exposed to long days but not their ability to stimulate reproduction of seasonally anestrous goats. *Animal*, 14, 2562-2569. <https://doi.org/10.1017/S1751731120001329>.
- Donkin, S. S., Doane, P. H., & Cecava, M. J. (2016). Propionate metabolism and gluconeogenesis in the transition cow. *Journal of Dairy Science*, 99(6), 4681-4690. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10414>
- Duarte, G., Flores, J. A., Malpaux, B., & Delgadillo, J. A. (2008). Reproductive seasonality in female goats adapted to a subtropical environment persists independently of food availability. *Domestic Animal Endocrinology*, 35(4), 362-370. <https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2008.07.005>.
- Espinosa-Cervantes, R., & Córdova-Izquierdo, A. (2018). Efecto del estrés calórico y el estrés oxidativo en la función espermática de los mamíferos. *Revista Complutense de Ciencias Veterinarias*, 12(1), 27-39. <https://doi.org/10.5209/RCCV.59850>
- Fitz-Rodríguez, G., De Santiago-Miramontes, M. A., Scaramuzzi, R. J., Malpaux, B., & Delgadillo, J. A. (2009). Nutritional supplementation improves ovulation and pregnancy rates in female goats managed under natural grazing conditions and exposed to the male effect. *Animal Reproduction Science*, 116(1-2), 85–94. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2009.01.004>
- García-Carrillo, M., Salas-Pérez, L., Esparza-Rivera, J. R., Preciado-Rangel, P., & Romero-Paredes, J. (2013). Producción y calidad fisicoquímica de leche de

- cabras suplementadas con forraje verde hidropónico de maíz. *Agronomía Mesoamericana*, 24(1)
- González, F., Pabón, M. L., & Carulla, J. (2019). Eficiencia alimentaria en caprinos lecheros: Una revisión. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 10(1), 45-58.
- Haenlein, G. F. W. (2004). Goat milk in human nutrition. *Small Ruminant Research*, 51(2), 155-163. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2003.08.010>.
- Hötger, K., Hammon, H. M., & Weber, C. (2013). Supplementation of a high-concentrate diet with rumen-protected methionine and lysine increases milk production and milk protein yield in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 96(9), 5921-5931. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-6412>.
- Huntington, G. B. (1990). Energy metabolism in the digestive tract and liver of cattle: Influence of physiological state and nutrition. *Reproduction, Nutrition, Development*, 30(1), 35-47. <https://doi.org/10.1051/rnd:19900103>.
- Ibarra, J., López, A., & García, B. (2022). El papel del lactato en el metabolismo energético de los rumiantes. *Revista de Nutrición Animal*, 30(2), 89-102.
- López, A., García, B., & Martínez, C. (2022). Efecto de los suplementos energéticos en la producción y calidad de la leche caprina. *Revista de Nutrición Animal*, 30(1), 45-58.
- Leitner, G., Merin, U., & Silanikove, N. (2008). Effects of glandular bacterial infection and stage of lactation on milk clotting parameters: Comparison among cows, goats, and sheep. *International Dairy Journal*, 18(6), 535-542. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2007.11.019>.
- Martínez, R., López, A., & García, B. (2020). Impacto del manejo y la sanidad en la calidad de la leche caprina. *Revista de Producción Animal*, 32(2), 67-78.
- Martínez, R., López, A., & García, B. (2021). Requerimientos nutricionales en cabras lecheras: Una revisión actualizada. *Revista de Nutrición Animal*, 29(3), 156-170.

- National Research Council (NRC). (2007). Nutrient requirements of small ruminants: Sheep, goats, cervids, and New World camelids. Washington, DC: National Academies Press.
- NutriNews. (2022). El papel del propionato en la producción de leche en rumiantes. Recuperado de <https://www.nutrinews.com>
- Park, Y. W., Juárez, M., Ramos, M., & Haenlein, G. F. W. (2007). Physico-chemical characteristics of goat and sheep milk. *Small Ruminant Research*, 68(1-2), 88-113. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2006.09.013>.
- Pinto, A., Silva, M., & Costa, R. (1998). Influencia de la relación forraje-concentrado en la composición de la leche caprina. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 27(4), 789-795.
- Raynal-Ljutovac, K., Lagriffoul, G., Paccard, P., Guillet, I., & Chilliard, Y. (2008). Composition of goat and sheep milk products: An update. *Small Ruminant Research*, 79(1), 57-72. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2008.07.009>.
- Rosero Noguera, R., & Posada, S. L. (2019). Factores intrínsecos y extrínsecos que afectan la producción y composición de la leche caprina. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 11(2), 89-102.
- Ramírez, J., López, A., & García, B. (2021). Efecto de los suplementos energéticos en la producción de leche caprina. *Revista de Producción Animal*, 33(1), 75-85.
- Reynolds, C. K. (2006). Production and metabolic effects of site of starch digestion in dairy cattle. *Animal Feed Science and Technology*, 130(1-2), 78-94. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.01.019>.
- Rojas-Castro, M., López, A., & Martínez, C. (2006). Efecto de la suplementación con carbohidratos fermentables en la producción y calidad de la leche caprina. *Revista de Producción Animal*, 18(3), 123-135.

- Sánchez, E., Pérez, D., & Rodríguez, F. (2022). Impacto de la suplementación nutricional en la salud y productividad de caprinos lecheros. *Journal of Animal Science*, 100(3), 456-465. <https://doi.org/10.1093/jas/skab123>.
- Sanz Sampelayo, M. R., Chilliard, Y., Schmidely, P., & Boza, J. (2007). Influence of type of diet on the fat constituents of goat and sheep milk. *Small Ruminant Research*, 68(1-2), 42-63. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2006.09.017>
- Serradilla, J. M., Carabaño, M. J., Ramón, M., Molina, A., Díaz, C., & Menéndez-Buxadera, A. (2018). Characterisation of goats' response to heat stress: Tools to improve heat tolerance. *IntechOpen*, 15, 329-347. <https://doi.org/10.5772/intechopen.70080>.
- Sharma, A., Sood, P., & Chaudhary, J. K. (2020). Correlations of climatic conditions with seminal quality parameters in Gaddi and Chegu buck semen. *Asian Journal of Animal and Veterinary Advances*, 15, 32-37. <https://doi.org/10.3923/ajava.2020.32.37>
- Silanikove, N., Leitner, G., Merin, U., & Prosser, C. G. (2010). Recent advances in exploiting goat's milk: Quality, safety and production aspects. *Small Ruminant Research*, 89(2-3), 110-124. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2009.12.033>.
- Todaro, M., Scatassa, M. L., & Giaccone, P. (2015). The influence of feeding systems on the quality and nutritional value of goat milk. *Journal of Dairy Research*, 82(4), 415-422. <https://doi.org/10.1017/S0022029915000357>.
- Torres, A., López, B., & Martínez, C. (2019). Preferencias del consumidor hacia la leche caprina: Un estudio comparativo. *Revista de Nutrición y Gastronomía*, 15(2), 40-50.
- Van Soest, P. J. (1994). *Nutritional ecology of the ruminant* (2^a ed.). Cornell University Press.
- Villaquirán, M., Gipson, T. A., Merkel, R. C., Goetsch, A. L., & Sahl, T. (2005). *Body condition scoring in goats*. Langston University.

Walkden-Brown, S. W., Restall, B. J., Norton, B. W., Scaramuzzi, R. J., & Martin, G. B. (1994). Effect of nutrition on seasonal patterns of LH, FSH and testosterone concentration, testicular mass, sebaceous gland volume and odour in Australian cashmere goats. *Journal of Reproduction and Fertility*, 102, 351-360. <https://doi.org/10.1530/jrf.0.1020351>.