UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS MÉDICO VETERINARIAS

Uso de un precursor gluconeogénico para mejorar la fertilidad de cabras multirraciales bajo condiciones de pastoreo

Por:

Miguel Ángel Martínez Sánchez

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Torreón, Coahuila, México
Octubre 2026

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS MÉDICO VETERINARIAS

Uso de un precursor gluconeogénico para mejorar la fertilidad de cabras multirraciales bajo condiciones de pastoreo

Por:

Miguel Ángel Martínez Sánchez

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

Dra. Viridiana Contreras Villareal
Vocal

Dr. Edgar Díaz Rojas
Vocal

Dra. Leticia Romana Gaytán Alemán
Vocal Suplente

MVZ. Eric Alejandro Reyes Ramírez
Coordinador de la División Regional de Ciencia Animal

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
COORDINACIÓN DE LA DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL

Torreón, Coahuila, México
Octubre 2026

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS MÉDICO VETERINARIAS

Uso de un precursor gluconeogénico para mejorar la fertilidad de cabras multirraciales bajo condiciones de pastoreo

Por:

Miguel Ángel Martínez Sánchez

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Aprobada por el Comité de Asesoría:

Dr. Oscar Ángel García
Asesor Principal

Dra. Viridiana Contreras Villareal
Coasesor

Dr. Edgar Díaz Rojas
Coasesor

MVZ. Eric Alejandro Reyes Ramírez
Coordinador de la División Regional de Ciencia Animal

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
COORDINACIÓN DE LA DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL

Torreón, Coahuila, México
Octubre 2026

AGRADECIMIENTOS

A DIOS por siempre acompañarme en este trayecto por ser pilar fundamental de la grandeza y la fuerza que he forjado para superarme para sobresalir por darme un camino difícil para ser fuerte.

A mi asesor de Tesis el Dr. Oscar Ángel García más que un guía académico, fue una presencia clave en este proceso. Su manera de orientar, cuestionar y exigir no solo mejoro este trabajo, también me obligo a pensar diferente, a ir mas allá de lo evidente y a no conformarme con lo básico.

Gracias por su tiempo por su paciencia en los momentos necesarios y por su firmeza cuando hizo falta. Cada observación, cada corrección y cada conversación, dejo algo que va mucho más allá de estas páginas, este trabajo no sería nada sin su acompañamiento. Más que dirigir una tesis, ayudo a formar criterio, disciplina y compromiso con lo que se hace, le agradezco por ser parte de este proceso de manera significativa

A mis padres Adriana Sánchez Laguna y Miguel Ángel Martínez Flores este trabajo no empieza en estas páginas, empieza en ustedes. En todo lo que hicieron sin que yo me diera cuenta, en cada esfuerzo, en cada preocupación que nunca me mostraron para no detenerme.

Me enseñaron a seguir incluso cuando no tenía ganas, a levantarme sin hacer ruido y a no rendirme aunque el camino se pusiera pesado. Muchas veces dude de mi, pero nunca dude de lo que ustedes esperaban que yo pudiera lograr y eso fue suficiente para continuar.

Gracias por darme más de lo que tenían, por ponerme primero sin hacerlo notar, por confiar en mí incluso cuando no lo hacía. Este logro no es un punto de llegada, es la consecuencia de todo lo que sembraron en mi desde hace años si hoy estoy aquí no es por un momento de esfuerzo, si no por toda una vida de enseñanzas que viene de ustedes.

A mis abuelos por brindarme sus consejos llenos de sabiduría, su apoyo moral incondicional, por su infinito amor y cariño estar siempre presentes a pesar de la distancia, siendo un complemento en mi vida, este logro lleva su nombre cada paso que doy lleva consigo lo que me inculcaron.

A mis hermanos Rodrigo Martínez Sánchez y Michelle Alejandra Martínez Sánchez por ser mi respaldo en silencio y mi impulso en cada caída. Sin ustedes, este camino no hubiera sido el mismo. Este logro lleva su nombre

INDICE

AGRADECIMIENTOS i
INDICE DE CUADROS Y FIGURAS iv
I INTRODUCCION 1
II. REVISION DE LITERATURA 3
2.1 Análisis situacional caprinocultura 3
2.2. Hábitos alimenticios de las cabras 7
2.3. Alimentación y nutrición de las cabras 10
2.4. Estrategias de suplementación en cabras 13
2.4.1. Proteína 14
2.4.2. Energía 16
2.4.3. Uso de precursores de energía 17
2.5. Ciclo reproductivo de la cabra 19
2.5.1. Fase de proestro 20
2.5.2. Fase de estro o celo 20
2.5.3. Fase de metaestro 21
2.5.4. Fase de diestro 21
2.5.5. Ovulación 21
2.5.6. Gestación 22
2.6. Interacción nutrición reproducción 22
2.6.1. Efecto estático de la nutrición 23
2.6.2. Efecto agudo de la nutrición 23
2.7.3. Flushing nutricional 24
2.7.4. Tres efectos de la nutrición sobre la reproducción 24
2.8. Factores que afectan la reproducción en rumiantes 25
2.8.1. Factores nutricionales 25
2.8.2. Factores genéticos 26
2.8.3. Factores sanitarios 26
2.8.4. Factores de manejo 26

2.8.5. Factores ambientales 27
III. MATERIALES Y MÉTODOS 31
3.1. Localización del área de estudio 31
3.2. Animales y su manejo 31
3.3. Variables evaluadas 32
3.3.1. Peso y condición corporal 32
3.3.3. Tasa ovulatoria y numero de cuerpos lúteos 32
3.3.4. Preñez 32
3.3.5. Análisis estadístico 33
IV. RESULTADOS 34
V. DISCUSIÓN 36
VI. CONCLUSION 38
VII. LITERATURA CITADA 39

INDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Figura 1 Representación esquemática de los eventos fisiológicos que ocurren durante el ciclo estral de la cabra adaptada de (Fatet et al., 2011). 22

Cuadro 1 Medias (± Desvest) para peso vivo y condición corporal de cabras suplementadas con 50 mL de un precursor gluconeogénico (Tratado) y cabras no suplementadas (Control)..... 34

Cuadro 2 Respuestas reproductivas de cabras anovulatorias suplementadas con el precursor gluconeogenico (Tratado) y/o cabras no suplementadas (Control) y sincronizadas al estro bajo condiciones de pastoreo extensivo (febrero)..... 35

RESUMEN

El objetivo fue evaluar el efecto de un precursor gluconeogénico sobre la fertilidad de cabras multirraciales bajo condiciones de pastoreo. Se utilizaron 40 cabras multíparas adultas multirraciales, de 2 a 4 años de edad, con un peso vivo (PV; 57.0±3.0) y condición corporal (CC; 2.9±1.0, unidades) homogéneos. Las cabras fueron distribuidas aleatoriamente en dos grupos: un primer grupo (Tratado; n=20), recibió 50 mL (dosis por animal) de un precursor gluconeogénico (propionato de sodio al 11% y propilenglicol al 4%), mientras que el segundo grupo (Control; n=20), no recibió suplementación. El precursor fue administrado cada tercer día durante 10 días, en conjunto con un protocolo de sincronización reproductiva basado en progesterona (P4) y hCG. El PV (57.0±3.0) y la CC (2.9±0.1) no mostraron diferencias estadísticas para ambos tratamientos (P≥0.05). El porcentaje de ovulación fue de 85% en el grupo control y 100% en el grupo tratado, sin diferencias estadísticas. De la misma manera, la tasa embrionaria para el grupo control (1.6 ± 0.1) y tratado (1.8 ± 0.1) no mostraron diferencia estadística entre tratamientos (P≥0.05). Sin embargo, el número de cuerpos lúteos fue significativamente mayor en el grupo tratado (1.8 ± 0.00) frente a grupo control (1.5 ± 0.07) (P<0.05). El porcentaje de preñez fue de 52.9% en el grupo control y 50% en el grupo tratado, sin diferencias significativas. En conclusión, la suplementación con el precursor gluconeogénico favoreció principalmente la respuesta ovárica, particularmente el número de cuerpos lúteos; sin embargo, bajo las condiciones del presente estudio, este efecto no se tradujo en una mejora significativa del porcentaje de ovulación, tasa embrionaria o preñez.

Palabras clave: Cabras, Precursor gluconeogénico, Nutrición, Reproducción, Cuerpos lúteos, Ovulación, Preñez

I INTRODUCCION

La producción animal moderna enfrenta el desafío de incrementar la eficiencia productiva sin comprometer la sostenibilidad de los sistemas. En este contexto, la nutrición desempeña un papel fundamental, no solo como fuente de nutrientes para el mantenimiento y la producción, sino también como regulador de diversos procesos fisiológicos, entre ellos la reproducción (Butler, 2000). En los rumiantes, la formulación de dietas se ha orientado tradicionalmente a satisfacer los requerimientos energéticos mediante el uso de granos; sin embargo, actualmente se ha incrementado el interés por estrategias nutricionales que permitan optimizar el metabolismo energético y mejorar el desempeño reproductivo (Mendoza *et al.,* 2007; Reynolds, 2006).

Debido a la fermentación ruminal de los carbohidratos, los rumiantes dependen en gran medida de la gluconeogénesis hepática para mantener la disponibilidad de glucosa. Por ello, el uso de precursores gluconeogénicos, como el propilenglicol, el glicerol y los propionatos, ha sido estudiado como una estrategia para mejorar el estado energético y favorecer la disponibilidad de glucosa e insulina, metabolitos relacionados con diversos procesos fisiológicos y reproductivos (Abo El-Nor *et al.,* 2010; Overton y Waldron, 2004; Reynolds, 2006).

El estado nutricional y el balance energético tienen una relación con la función reproductiva. Un adecuado suministro de energía favorece la actividad del eje hipotálamo-hipófisis-ovario, mientras que un déficit energético puede alterar la secreción hormonal y comprometer la función ovárica (Diskin *et al.,* 2003). Asimismo, metabolitos y señales endocrinas como la insulina y el factor de crecimiento similar a la insulina tipo 1 (IGF-1) participan en la regulación del crecimiento y desarrollo folicular y de la ovulación (Butler, 2000).

La actividad ovárica constituye un componente esencial de la eficiencia reproductiva, ya que determina la producción de ovocitos viables y contribuye al establecimiento y mantenimiento de la gestación. Entre los principales indicadores reproductivos se encuentran la dinámica folicular, la tasa ovulatoria y el desarrollo y funcionalidad del cuerpo lúteo (Scaramuzzi *et al.,* 2006). En la cabra, la tasa

ovulatoria adquiere especial importancia debido a su relación con la prolificidad y, por tanto, con la productividad del sistema (Viñoles *et al.,* 2005). Después de la ovulación, el cuerpo lúteo se desarrolla y produce progesterona, hormona indispensable para el establecimiento y mantenimiento de la gestación; por ello, alteraciones en su desarrollo o función pueden favorecer pérdidas embrionarias tempranas (Diskin *et al.,* 2003).

Diversos estudios han señalado que una mayor disponibilidad de energía puede favorecer el crecimiento folicular, la ovulación y la función lútea. En este sentido, la suplementación con precursores gluconeogénicos podría modificar el entorno metabólico y hormonal, favoreciendo la función ovárica (Scaramuzzi *et al.,* 2006; Mikula *et al.,* 2020). El propilenglicol (PPG), particularmente, ha sido utilizado en rumiantes debido a su capacidad para mejorar el balance energético y favorecer el incremento de glucosa e insulina circulantes, lo que podría contribuir al desarrollo folicular y a la función del cuerpo lúteo (Overton y Waldron, 2004).

Aunque estos efectos han sido ampliamente estudiados en ganado lechero, la información disponible en ganado caprino es aún limitada, especialmente respecto al efecto de los precursores gluconeogénicos sobre la dinámica ovárica. Debido a la importancia de estos parámetros para la eficiencia reproductiva y productiva de las cabras, es necesario evaluar estrategias nutricionales que permitan optimizar la función ovárica en cabras. Por lo anterior, el objetivo fue evaluar el efecto de un precursor gluconeogénico sobre la tasa ovulatoria y el desarrollo del cuerpo lúteo en cabras, con la finalidad de generar información que contribuya al desarrollo de estrategias nutricionales para mejorar la eficiencia reproductiva en los sistemas de producción caprina.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1 Análisis situacional caprinocultura

La caprinocultura representa una de las actividades pecuarias más importantes a nivel mundial, especialmente en regiones donde las condiciones ambientales limitan la producción de otras especies. La cabra *(Capra hircus)* se caracterizan por su alta capacidad de adaptación a diversos ecosistemas, incluyendo zonas áridas, semiáridas y montañosas, lo que las convierte en una especie estratégica para la seguridad alimentaria en países en desarrollo (FAO, 2020). Además, su versatilidad productiva permite la obtención de carne, leche, fibra y pieles, contribuyendo significativamente a los medios de vida de pequeños productores.

A nivel global, la población caprina ha mostrado un crecimiento sostenido en las últimas décadas, superando los mil millones de cabezas en el mundo, con una tendencia al crecimiento impulsada por la creciente demanda de productos derivados (Miller y Lu, 2019). De acuerdo con estimaciones más recientes, el inventario mundial de cabras alcanza aproximadamente 1,145 millones de animales, de los cuales una proporción importante está destinada a la producción de leche (FAO, 2022). Este crecimiento refleja la importancia creciente de la caprinocultura dentro del sector pecuario global.

La distribución geográfica de la población caprina es altamente desigual, concentrados principalmente en Asia y África, donde se localiza más del 80% del inventario mundial (FAO, 2022; Miller y Lu, 2019). En estas regiones la producción caprina está estrechamente vinculada a sistemas de pequeña escala y subsistencia, donde los animales cumplen funciones económicas, sociales y culturales.

En términos productivos, la caprinocultura ha experimentado un incremento significativo tanto en la producción de leche como de carne. La producción mundial de leche de cabra ha mostrado un crecimiento constante, alcanzando cifras superiores a 18 millones de toneladas anuales, con una tendencia al alza debido a la creciente demanda de productos lácteos alternativos (Miller y Lu, 2019).

Asimismo, la producción de carne caprina ha aumentado considerablemente, registrando incrementos superiores al 400% en las últimas décadas, lo cual evidencia la relevancia de esta especie en el suministro de proteína animal a nivel global (FAO, 2023).

Desde el punto de vista productivo, los sistemas de producción caprina son altamente diversos, variando desde sistemas extensivos tradicionales hasta sistemas intensivos altamente tecnificados. En países en desarrollo, predominan los sistemas de pastoreo extensivo con bajo nivel tecnológico, mientras que en países desarrollados se observa especialización, uso de genética mejorada y manejo nutricional avanzado (FAO, 2020). Esta heterogeneidad influye directamente en los niveles de productividad y eficacia reproductiva de los animales.

A pesar del crecimiento del sector, la caprinocultura enfrenta múltiples desafíos a nivel mundial. Entre los principales problemas se encuentran las limitaciones nutricionales, el bajo acceso a tecnologías reproductivas, la variabilidad en la calidad genética y las deficiencias en el manejo sanitario (Skapetas y Bampidis, 2016).

A pesar del crecimiento sostenido de la caprinocultura a nivel mundial, su desarrollo presenta marcadas diferencias entre regiones, particularmente en términos de tecnificación, productividad y acceso a recursos. En países en desarrollo, esta actividad se mantiene como un sistema de subsistencia con limitaciones estructurales que afectan su eficacia productiva y reproductiva (FAO, 2020; Skapetas y Bampidis, 2016).

En México, la caprinocultura constituye una actividad pecuaria de gran relevancia, especialmente en zonas áridas y semiáridas, donde otras especies presentan limitaciones productivas. La cabra (Capra hircus) destacan por su capacidad de adaptación a condiciones adversas, lo que permite su explotación en regiones con escasos recursos forrajeros y condiciones climáticas extremas (SIAP, 2022).

México cuenta con una población caprina aproximada de más de 8 millones de cabezas, distribuidas principalmente en estados como Coahuila, Puebla, San Luis Potosí y Guerrero (SIAP, 2022). La producción caprina en el país se orienta principalmente a la obtención de carne, siendo la leche un producto de menor volumen, aunque con creciente importancia en sistemas especializados (SAGARPA, 2017).

Los sistemas de producción caprina en México se caracterizan por su heterogenia, predominando sistemas extensivos y semi-extensivos con bajo nivel de tecnificación. En estos sistemas, los animales dependen en gran medida del pastoreo, en agostaderos naturales, lo que limita la disponibilidad y la calidad de nutrientes, especialmente en épocas de sequía (Partida *et al.,* 2013).

Uno de los principales problemas en la caprinocultura mexicana es la baja eficacia reproductiva, reflejada en parámetros como la tasa ovulatoria, la fertilidad y la supervivencia embrionaria. Estas limitaciones están estrechamente relacionadas con deficiencias nutricionales, manejo inadecuado y bajo uso de tecnologías reproductivas (Mellado, 2016).

Si bien la caprinocultura en México presenta características generales asociadas a sistemas de producción extensivos y limitaciones en eficacia productiva, estas condiciones pueden variar significativamente entre regiones. Factores de clima, la disponibilidad de recursos forrajeros, las prácticas de manejo y el nivel de tecnificación influyen directamente el desempeño productivo y reproductivo de los sistemas caprinos (Mellado, 2016). En este sentido resulta necesario analizar el contexto regional para comprender de manera más específica las condiciones que afectan la producción caprina.

En el estado de Coahuila se caracteriza por presentar condiciones climáticas predominantemente áridas y semiáridas, con temperaturas extremas y baja disponibilidad de recursos hídricos, lo que limita el desarrollo de actividades agropecuarias convencionales. En este contexto, la caprinocultura se ha consolidado como una de las principales actividades pecuarias, debido a la alta capacidad de adaptación de las cabras a ambientes adversos (Mellado, 2016).

El estado de Coahuila es uno de las principales entidades productoras de caprinos en México, destacando particularmente en la producción de cabrito, producto con alta demanda en el mercado nacional. La producción caprina en la región se

desarrolla principalmente bajo sistemas extensivos, donde los animales dependen del pastoreo en agostadero naturales, caracterizados por vegetación limitada y de baja calidad nutricional (Partida *et al.,* 2013).

Estos sistemas productivos presentan importantes limitaciones especialmente en términos de nutrición animal. La disponibilidad del alimento varia estacionalmente, siendo crítica durante los periodos de sequía, lo que conduce a deficiencias energéticas en los animales. Esta condición impacta directamente en el estado corporal de las cabras y en su desempeño reproductivo, afectando procesos como el desarrollo folicular, la ovulación y la función de cuerpo lúteo (Mellado, 2016)

La eficacia reproductiva en los sistemas caprinos de Coahuila suele ser variable y, en muchos casos, limitada. Factores como el de manejo tradicional, la baja suplementación nutricional y el escaso uso de tecnologías reproductivas contribuye a una menor tasa ovulatoria, menor fertilidad y mayores pedidas reproductivas (Partida *et al.,* 2013) Estas condiciones reducen la productividad del sistema y limitan el potencial de crecimiento del sector.

2.2. Hábitos alimenticios de las cabras

Las cabras poseen un comportamiento alimenticio altamente especializado que les permite adaptarse a una amplia variedad de condiciones ambientales. A diferencia de otros rumiantes domésticos, no basan su alimentación exclusivamente en el pastoreo de gramíneas, sino que combinan el consumo de arbustos, hojas, brotes tiernos, frutos y diversas especies vegetales disponibles en su entorno. Esta

estrategia alimenticia les proporciona una mayor capacidad para obtener nutrientes en ecosistemas donde la calidad o disponibilidad de los forrajes puede variar considerablemente a lo largo del año (Lu, 1988).

Una de las principales características de la especie caprina es su marcada capacidad de selección dietética. Las cabras evalúan constantemente la textura, el sabor, el olor y los efectos fisiológicos de los alimentos consumidos, desarrollando preferencias que favorecen la ingestión de recursos con mayor valor nutritivo. Este proceso de selección no ocurre de manera aleatoria, sino que está influenciado por experiencias previas y por las necesidades metabólicas del animal, permitiéndole ajustar su consumo de acuerdo con sus requerimientos nutricionales (Provenza, 1995).

El comportamiento exploratorio constituye otro elemento distintivo de la alimentación caprina. Antes de consumir un recurso vegetal, las cabras suelen inspeccionarlo mediante el olfato y el contacto directo, lo que les permite identificar alimentos potencialmente beneficiosos y reducir el riesgo de ingerir sustancias perjudiciales. Gracias a esta capacidad, pueden aprovechar una mayor diversidad de especies vegetales en comparación con otros rumiantes domésticos, contribuyendo a su supervivencia y productividad en ambientes con recursos limitados (Launchbaugh *et al.,* 2001).

Desde una perspectiva fisiológica, la diversidad de alimentos consumidos favorece el equilibrio de la fermentación ruminal. La combinación de diferentes fuentes de

fibra, energía y compuestos vegetales estimula la actividad de los microorganismos del rumen, mejorando el aprovechamiento de los nutrientes y favoreciendo la producción de ácidos grasos volátiles, los cuales representan la principal fuente de energía para el animal. Este mecanismo resulta especialmente importante durante etapas de elevada demanda nutricional, como la gestación, la lactancia y el crecimiento (Van Soest, 1994).

La disponibilidad de agua también influye directamente sobre los hábitos alimenticios de las cabras. Aunque esta especie presenta una mayor tolerancia a condiciones de sequía que otros rumiantes, el acceso limitado al agua puede disminuir el consumo de materia seca, afectar la digestibilidad de los nutrientes y reducir el desempeño productivo. Por ello, el suministro continuo de agua limpia y fresca constituye un factor indispensable para mantener un adecuado comportamiento ingestivo y una correcta utilización de los alimentos (NRC, 2007).

En los sistemas modernos de producción, el conocimiento de los hábitos alimenticios de las cabras permite diseñar estrategias nutricionales más eficientes. Comprender cómo seleccionan los alimentos y cómo responden a diferentes ingredientes facilita la formulación de dietas que mejoren el consumo voluntario, optimicen el aprovechamiento de los nutrientes y contribuyan a incrementar la productividad de los animales sin comprometer su bienestar. De esta manera, el estudio del comportamiento alimenticio representa una herramienta fundamental para el desarrollo sostenible de la caprinocultura.

2.3. Alimentación y nutrición de las cabras

Las cabras constituyen una de las especies pecuarias mejor adaptadas a las condiciones ambientales de las zonas áridas y semiáridas. Su capacidad para aprovechar recursos forrajeros de baja calidad, junto con su eficiencia en la utilización del agua y los nutrientes, les permite mantener niveles aceptables de producción en ambientes donde otras especies presentan mayores limitaciones. Sin embargo, el éxito productivo depende en gran medida de una adecuada nutrición basada en el consumo de materia seca y en los requerimientos específicos de cada etapa fisiológica (NRC, 2007).

El consumo de materia seca representa uno de los principales indicadores del estado nutricional de los animales, ya que determina la cantidad de nutrientes disponibles para cubrir las necesidades de mantenimiento, crecimiento, reproducción y producción. En condiciones normales, las cabras consumen entre 2.5 y 4.5 % de su peso vivo en materia seca por día, aunque este valor puede variar según la calidad del forraje, la disponibilidad de agua, la temperatura ambiental y el estado fisiológico del animal. En zonas áridas, donde la vegetación suele presentar altos contenidos de fibra y bajos niveles de proteína, el consumo puede verse limitado por la capacidad física del rumen y por la digestibilidad de los alimentos disponibles (Van Soest, 1994).

Durante la etapa de crecimiento, los cabritos presentan elevados requerimientos nutricionales debido al rápido desarrollo de tejidos corporales. En este periodo, el consumo de materia seca aumenta progresivamente conforme se desarrolla la capacidad ruminal. La incorporación temprana de alimentos sólidos favorece la

maduración del rumen y permite una transición eficiente desde la alimentación láctea hacia el aprovechamiento de forrajes y concentrados. Una nutrición deficiente durante esta etapa puede afectar permanentemente el potencial productivo del animal (Lu y Potchoiba, 1990).

En animales jóvenes destinados a reemplazo, el objetivo nutricional consiste en promover un crecimiento constante sin favorecer una acumulación excesiva de grasa corporal. Para ello, la dieta debe proporcionar niveles adecuados de energía, proteína, minerales y vitaminas que permitan el desarrollo muscular y esquelético. En sistemas extensivos de zonas áridas, frecuentemente se requiere suplementación estratégica durante los periodos de escasez forrajera para evitar retrasos en el crecimiento y la pubertad (Morand-Fehr, 2005).

Las cabras adultas en mantenimiento presentan requerimientos relativamente moderados, destinados principalmente a sostener las funciones vitales y la actividad diaria. En esta etapa, el consumo de materia seca suele estabilizarse y está estrechamente relacionado con el peso corporal. Sin embargo, en ecosistemas áridos, las fluctuaciones estacionales en la disponibilidad y calidad de los forrajes pueden provocar deficiencias nutricionales que afecten la condición corporal y la eficiencia reproductiva de los animales (NRC, 2007).

Durante la gestación, especialmente en el último tercio, se produce un incremento considerable en los requerimientos energéticos y proteicos debido al rápido crecimiento fetal. Paradójicamente, la capacidad de consumo puede disminuir como consecuencia de la reducción del espacio abdominal ocasionada por el desarrollo

del útero gestante. Por esta razón, resulta fundamental suministrar dietas con mayor densidad nutricional que permitan satisfacer las necesidades de la hembra sin depender exclusivamente de un incremento en la cantidad de alimento consumido (Bell, 1995).

La lactancia constituye una de las etapas de mayor demanda nutricional en la vida productiva de una cabra. La síntesis de leche requiere cantidades importantes de energía, proteína, calcio, fósforo y agua. Como respuesta, el consumo de materia seca alcanza sus valores más elevados durante este periodo. Cuando la alimentación es insuficiente para cubrir estas demandas, las cabras movilizan reservas corporales, lo que puede ocasionar pérdida de peso, disminución de la producción láctea y reducción de la eficiencia reproductiva posterior (NRC, 2007).

En zonas áridas, la implementación de estrategias de suplementación energética y mineral adquiere especial relevancia debido a la baja calidad nutricional de muchos recursos forrajeros disponibles. El suministro de fuentes energéticas, minerales como sodio y calcio, y suplementos proteicos permite optimizar la fermentación ruminal, mejorar el consumo voluntario de materia seca y contribuir al mantenimiento de la productividad en condiciones ambientales adversas. Por ello, la formulación de programas nutricionales debe considerar tanto las características del ecosistema como las necesidades específicas de cada etapa fisiológica de los animales.

2.4. Estrategias de suplementación en cabras

La suplementación estratégica en cabras se utiliza para compensar las variaciones estacionales en la disponibilidad y calidad de los recursos forrajeros. Su aplicación permite mantener un adecuado estado nutricional del animal durante periodos de escasez, favoreciendo la productividad y reduciendo los efectos negativos asociados con las deficiencias alimenticias. La suplementación debe diseñarse considerando la etapa fisiológica, la condición corporal y las características del sistema de producción (Morand-Fehr, 2005).

En sistemas de producción caprina basados en pastoreo, la suplementación energética resulta especialmente importante cuando los animales consumen forrajes maduros con baja digestibilidad. El aporte de concentrados energéticos puede mejorar la eficiencia de utilización de los nutrientes, aumentar la disponibilidad de energía metabolizable y favorecer el crecimiento y la producción de leche. No obstante, el nivel de suplementación debe ajustarse para evitar una reducción excesiva en el consumo de forraje (Cannas *et al.,* 2008).

La suplementación proteica constituye una estrategia efectiva para incrementar la actividad de los microorganismos ruminales cuando las dietas presentan niveles insuficientes de nitrógeno. Un adecuado suministro de proteína mejora la degradación de la fibra, aumenta la síntesis de proteína microbiana y favorece el desempeño productivo de las cabras, particularmente durante etapas de crecimiento y lactancia (Tedeschi *et al.,* 2010).

Las vitaminas y minerales también forman parte de los programas de suplementación debido a su participación en procesos metabólicos, reproductivos e

inmunológicos. La deficiencia de minerales esenciales puede provocar disminución en la fertilidad, alteraciones del crecimiento y menor resistencia a enfermedades. Por ello, el suministro continuo de mezclas minerales adaptadas a las condiciones regionales es una práctica recomendada en explotaciones caprinas (Suttle, 2010).

La suplementación durante la gestación avanzada es considerada una estrategia clave para mejorar el peso al nacimiento y la viabilidad de los cabritos. Durante esta etapa, el crecimiento fetal aumenta significativamente los requerimientos nutricionales de la madre, por lo que una alimentación insuficiente puede comprometer tanto la salud de la cabra como el desarrollo de la descendencia (Rook, 2000).

Asimismo, diversos estudios han demostrado que la suplementación estratégica durante la lactancia contribuye a mantener la producción de leche y la condición corporal de las cabras. El aporte adicional de nutrientes ayuda a cubrir las demandas energéticas derivadas de la síntesis láctea, evitando pérdidas excesivas de peso y favoreciendo una mejor recuperación reproductiva posterior al parto (Pulina *et al.,* 2008)

2.4.1. Proteína

La proteína es uno de los nutrientes más importantes en la alimentación de las cabras debido a su función en el crecimiento, mantenimiento de tejidos, reproducción y producción de leche. En sistemas de producción donde los forrajes presentan bajos contenidos de proteína cruda, especialmente durante la época

seca, la suplementación proteica se convierte en una estrategia esencial para mejorar el desempeño productivo de los animales (Van Soest, 1994).

La proteína suministrada en la dieta favorece el crecimiento y la actividad de los microorganismos del rumen, responsables de la degradación de la fibra y de la síntesis de proteína microbiana. Cuando existe una adecuada disponibilidad de nitrógeno en el rumen, aumenta la digestibilidad de los forrajes y se mejora el aprovechamiento de los nutrientes consumidos por las cabras (Owens y Goetsch, 1988).

Durante las etapas de crecimiento, las cabras requieren mayores cantidades de proteína para la formación de músculo, hueso y otros tejidos corporales. Una suplementación proteica adecuada permite incrementar la ganancia diaria de peso y mejorar la eficiencia alimenticia, contribuyendo al desarrollo óptimo de los animales jóvenes (Devendra y Burns, 1983).

En cabras gestantes y lactantes, los requerimientos proteicos aumentan considerablemente debido al desarrollo fetal y a la síntesis de leche. Una deficiencia de proteína durante estas etapas puede ocasionar reducción en la producción láctea, disminución del peso al nacimiento de las crías y deterioro de la condición corporal de las hembras reproductoras (Haenlein, 2004).

Las fuentes de proteína utilizadas en la suplementación caprina incluyen ingredientes como la harina de soya, harina de algodón, harina de canola y diversos subproductos agroindustriales. La selección de la fuente proteica debe considerar su contenido de proteína degradable y no degradable en el rumen, debido a su

importancia en la utilización del nitrógeno y la síntesis de proteína microbiana, además de factores como su disponibilidad y costo dentro de cada sistema de producción (Permana et al., 2025).

2.4.2. Energía

La energía constituye el nutriente que se requiere en mayor cantidad dentro de la alimentación de las cabras, ya que participa en todos los procesos metabólicos relacionados con el mantenimiento, crecimiento, reproducción y producción de leche. En los sistemas caprinos de zonas áridas y semiáridas, la disponibilidad de energía suele verse limitada debido a la baja calidad de los forrajes durante ciertas épocas del año, por lo que la suplementación energética se convierte en una estrategia fundamental para mantener la productividad del rebaño (McDonald *et al.,* 2011).

Los carbohidratos y lípidos representan las principales fuentes de energía para las cabras. Durante la fermentación ruminal, los microorganismos transforman estos compuestos en ácidos grasos volátiles, principalmente acetato, propionato y butirato, los cuales son absorbidos a través de la pared del rumen y utilizados como fuente energética para diversas funciones fisiológicas (Bergman, 1990).

La suplementación energética es especialmente importante durante periodos de alta demanda nutricional, como el crecimiento, el último tercio de gestación y la lactancia. En estas etapas, los requerimientos energéticos aumentan considerablemente, y una deficiencia puede provocar pérdida de peso, disminución de la producción de leche, retraso en el crecimiento y problemas reproductivos. El

suministro de alimentos ricos en energía contribuye a mantener un balance energético adecuado y mejorar el desempeño productivo de los animales (Forbes, 2007).

Entre las fuentes comúnmente utilizadas para la suplementación energética en cabras se encuentran los granos de maíz, sorgo, cebada, avena y la melaza. Estos ingredientes proporcionan carbohidratos altamente digestibles que incrementan la disponibilidad de energía metabolizable y favorecen una mejor utilización de los nutrientes presentes en la dieta basal (Ensminger & Parker, 1986).

Asimismo, una adecuada condición corporal y disponibilidad de nutrientes favorecen la eficiencia reproductiva de las cabras al contribuir al mantenimiento de una adecuada actividad ovárica durante la época reproductiva. Las hembras que mantienen una mejor condición corporal presentan respuestas reproductivas más favorables, incluyendo mayores tasas de ovulación y mejores resultados de gestación, en comparación con aquellas con una condición corporal deficiente (Alvarado et al., 2022).

2.4.3. Uso de precursores de energía

Los precursores de energía son compuestos que favorecen la producción de glucosa en el organismo de los rumiantes. En caprinos, los más utilizados son el propilenglicol y el glicerol, especialmente durante etapas de alta demanda energética como la gestación avanzada, el parto y el inicio de la lactancia. Su objetivo principal es prevenir el balance energético negativo y reducir el riesgo de trastornos metabólicos como la toxemia de la gestación (Mongini y Van Saun, 2023).

El propilenglicol es un compuesto glucogénico ampliamente utilizado en rumiantes. Una vez administrado, puede ser absorbido directamente a través de la pared ruminal o transformado por los microorganismos del rumen en propionato. Posteriormente, el propionato es utilizado por el hígado para la síntesis de glucosa mediante el proceso de gluconeogénesis. Este mecanismo contribuye a mantener niveles adecuados de glucosa en sangre y mejora el estado energético de las cabras. (Hamzaoui et al., 2020).

La suplementación con propilenglicol ha demostrado aumentar las concentraciones plasmáticas de glucosa y disminuir la movilización excesiva de grasas corporales. Además, reduce la producción de cuerpos cetónicos como el β-hidroxibutirato (BHB), lo que disminuye el riesgo de desarrollar cetosis y toxemia de la gestación en cabras de alta producción. (Hamzaoui et al., 2020).

El glicerol o glicerina es una fuente energética alternativa utilizada en la alimentación de rumiantes. Durante la fermentación ruminal, gran parte del glicerol es transformado en propionato, considerado el principal precursor de glucosa en estos animales. Gracias a este proceso, el glicerol puede contribuir significativamente al mantenimiento del balance energético y al mejoramiento del desempeño productivo de las cabras. (Syahniar et al., 2016).

Para que los precursores energéticos sean aprovechados eficientemente por el organismo, es indispensable que exista un adecuado equilibrio mineral, particularmente de sodio y calcio. El sodio participa en el transporte de glucosa y otros nutrientes a través de las membranas celulares, además de mantener el

equilibrio osmótico y el volumen de los fluidos corporales. Una deficiencia de sodio puede reducir el consumo de alimento y limitar el aprovechamiento de la energía proveniente de los precursores glucogénicos, disminuyendo así su eficacia nutricional. (NRC, 2007).

Por otra parte, el calcio desempeña funciones fundamentales en la contracción muscular, la transmisión nerviosa y la regulación hormonal. Durante la gestación y el inicio de la lactancia, los requerimientos de calcio aumentan considerablemente debido al desarrollo fetal y a la producción de leche. Cuando las concentraciones de calcio en sangre disminuyen, se reduce la actividad ruminal y el consumo de materia seca, provocando una menor ingestión de energía y favoreciendo la aparición de trastornos metabólicos asociados al balance energético negativo. (Goff, 2018).

Por lo tanto, el uso de precursores energéticos en cabras debe considerarse como parte de una estrategia nutricional integral, donde el aporte adecuado de minerales esenciales como sodio y calcio contribuye a maximizar la respuesta productiva y metabólica de los animales. La interacción entre energía y minerales resulta especialmente importante durante periodos de elevada demanda fisiológica, cuando la eficiencia en la utilización de nutrientes determina el estado de salud y el desempeño productivo del rebaño. (Syahniar et al., 2016; Goff, 2018).

2.5. Ciclo reproductivo de la cabra

La eficiencia reproductiva constituye uno de los principales factores que determinan la rentabilidad de los sistemas de producción caprina. El ciclo reproductivo de la cabra está conformado por una serie de eventos fisiológicos y hormonales

coordinados que permiten la maduración de los ovocitos, la fecundación, la gestación y el nacimiento de las crías. La presentación de estos procesos depende de factores genéticos, ambientales, nutricionales y de manejo, los cuales influyen directamente sobre la actividad reproductiva de los animales (Smith y Sherman, 2009).

2.5.1. Fase de proestro

Durante el proestro se inicia la preparación del organismo para la reproducción mediante el crecimiento de los folículos ováricos. En esta etapa aumenta gradualmente la secreción de estrógenos, lo que provoca cambios fisiológicos en el tracto reproductivo y prepara a la hembra para la presentación del celo. Aunque los signos externos suelen ser poco evidentes, internamente ocurren importantes modificaciones relacionadas con la maduración folicular (Senger, 2012).

2.5.2. Fase de estro o celo

El estro corresponde al periodo de máxima receptividad sexual de la cabra. Durante esta fase la hembra acepta la monta y manifiesta cambios de comportamiento que facilitan la identificación del celo. Entre las manifestaciones más comunes destacan el nerviosismo, la búsqueda constante del macho, las vocalizaciones frecuentes y el movimiento repetitivo de la cola. Esta etapa tiene gran importancia productiva debido a que es el momento óptimo para realizar la reproducción o la inseminación artificial (Noakes *et al.,* 2019).

2.5.3. Fase de metaestro

Después de la ovulación comienza el metaestro, etapa caracterizada por la transformación del folículo ovárico en cuerpo lúteo. Esta estructura endocrina inicia la producción de progesterona, hormona indispensable para crear un ambiente uterino favorable para la supervivencia y el desarrollo temprano del embrión. La correcta formación del cuerpo lúteo es fundamental para el éxito reproductivo de la hembra (Senger, 2012).

2.5.4. Fase de diestro

El diestro constituye la etapa de mayor duración dentro del ciclo estral. Durante este periodo predominan elevadas concentraciones de progesterona que permiten mantener las condiciones necesarias para una posible gestación. Si no ocurre la fecundación, el cuerpo lúteo experimenta un proceso de regresión, disminuyen los niveles hormonales y se inicia un nuevo ciclo reproductivo (Hafez y Hafez, 2008).

2.5.5. Ovulación

La ovulación es el evento mediante el cual el ovario libera un ovocito maduro hacia el oviducto. Este proceso ocurre como respuesta a complejos mecanismos hormonales y representa el punto de transición entre la maduración folicular y la posible fecundación. La sincronización entre la ovulación y el servicio reproductivo es determinante para alcanzar elevados índices de fertilidad en los sistemas de producción caprina (Noakes *et al.,* 2019).

2.5.6. Gestación

La gestación comprende el periodo de desarrollo embrionario y fetal que transcurre desde la fecundación hasta el parto. Durante esta etapa se producen importantes cambios fisiológicos destinados a garantizar el crecimiento adecuado de la descendencia. Los requerimientos nutricionales de la hembra aumentan progresivamente, especialmente durante el último tercio de la gestación, etapa en la que ocurre la mayor proporción del crecimiento fetal (Smith y Sherman, 2009).

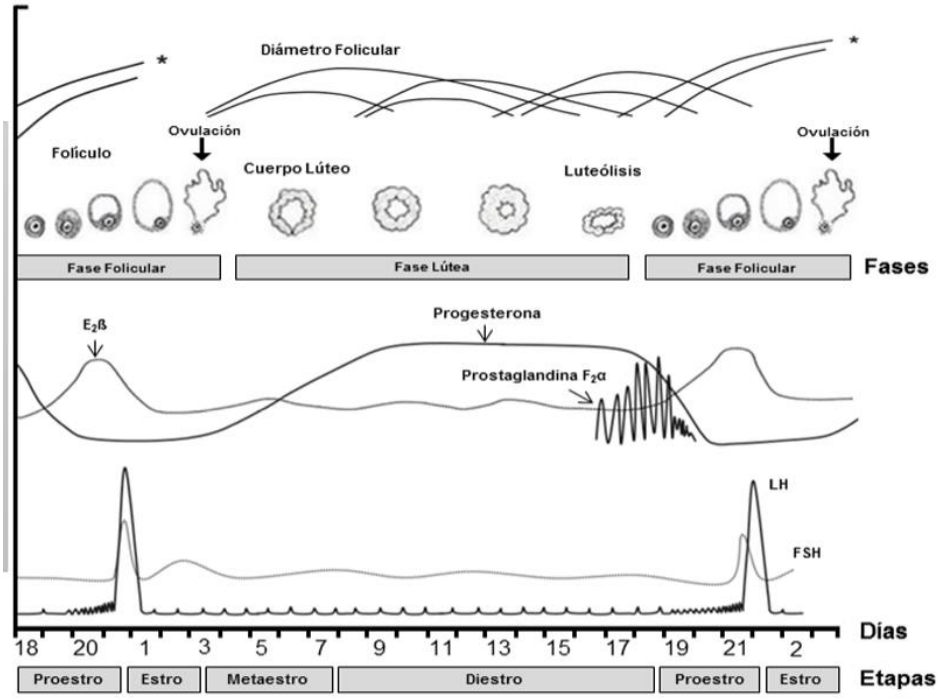


Figura 1 Representación esquemática de los eventos fisiológicos que ocurren durante el ciclo estral de la cabra adaptada de (Fatet et al., 2011).

2.6. Interacción nutrición reproducción

La nutrición desempeña un papel fundamental en la regulación de los procesos reproductivos de las cabras, ya que influye directamente sobre la actividad hormonal, la función ovárica, la fertilidad y la supervivencia embrionaria. El estado

nutricional de las hembras determina la disponibilidad de nutrientes necesarios para mantener las funciones fisiológicas básicas y, simultáneamente, sostener los procesos reproductivos. Cuando existen deficiencias nutricionales, el organismo prioriza las funciones de mantenimiento sobre la reproducción, ocasionando disminución en la eficiencia reproductiva del rebaño (Scaramuzzi et al., 2006).

2.6.1. Efecto estático de la nutrición

El efecto estático se refiere a la influencia que ejerce la condición corporal acumulada de la hembra sobre su capacidad reproductiva. Este efecto está relacionado con las reservas energéticas almacenadas en forma de tejido adiposo, las cuales actúan como indicador del estado nutricional a largo plazo. Las cabras con una condición corporal adecuada suelen presentar una mayor actividad ovárica, mejores tasas de concepción y mayor probabilidad de mantener la gestación en comparación con animales que presentan deficiencias energéticas prolongadas (Rhind, 1992).

2.6.2. Efecto agudo de la nutrición

El efecto agudo corresponde a las respuestas reproductivas generadas por cambios recientes en el consumo de nutrientes. Incrementos temporales en el aporte energético pueden modificar rápidamente la secreción de hormonas metabólicas y reproductivas, estimulando el desarrollo folicular y aumentando la tasa ovulatoria. Este efecto puede observarse incluso antes de que ocurran cambios visibles en la condición corporal de la hembra (Scaramuzzi *et al.,* 2014).

2.7.3. Flushing nutricional

El flushing es una estrategia alimenticia que consiste en incrementar el aporte de energía y nutrientes durante un periodo corto antes del empadre y, en algunos casos, durante las primeras semanas posteriores al servicio. Su finalidad es estimular la actividad ovárica, incrementar el número de folículos desarrollados y favorecer una mayor tasa de ovulación. Como consecuencia, puede aumentar la fertilidad y la prolificidad del rebaño, especialmente en hembras que presentan una condición corporal moderada o que provienen de periodos de restricción alimenticia (Mellado, 2016).

2.7.4. Tres efectos de la nutrición sobre la reproducción

2.7.4.1. Efecto sobre la pubertad

La disponibilidad adecuada de nutrientes acelera el crecimiento corporal y favorece la maduración del sistema reproductor. Las cabritas que alcanzan tempranamente el peso corporal requerido para la reproducción suelen presentar pubertad a menor edad y muestran mejores parámetros reproductivos durante su vida productiva (Martin *et al.,* 2004).

2.7.4.2. Efecto sobre la ovulación y fertilidad

La nutrición influye directamente sobre el desarrollo folicular y la producción hormonal. Dietas equilibradas en energía, proteína y minerales favorecen una mayor tasa de ovulación y mejoran las probabilidades de fecundación. Por el

contrario, las deficiencias nutricionales pueden ocasionar anestro, ciclos irregulares y disminución de la fertilidad (Scaramuzzi *et al.,* 2006).

2.7.4.3. Efecto sobre la supervivencia embrionaria y fetal

Después de la fecundación, la disponibilidad de nutrientes continúa siendo determinante para el éxito reproductivo. Una nutrición adecuada favorece el desarrollo embrionario, la implantación y el crecimiento fetal. En contraste, las restricciones nutricionales severas pueden incrementar la mortalidad embrionaria y provocar pérdidas gestacionales, afectando la productividad del sistema caprino (Robinson *et al.,* 2006).

2.8. Factores que afectan la reproducción en rumiantes

2.8.1. Factores nutricionales

La nutrición es uno de los factores con mayor influencia sobre la reproducción de los rumiantes. Los déficits energéticos y proteicos reducen la secreción de hormonas reproductivas, disminuyen la actividad ovárica y prolongan los periodos de anestro. Además, un balance energético negativo puede comprometer la calidad de los ovocitos, reducir las tasas de concepción e incrementar las pérdidas embrionarias tempranas. La condición corporal adecuada favorece una mejor respuesta reproductiva debido a la disponibilidad de reservas energéticas necesarias para sostener los procesos fisiológicos asociados con la reproducción (Meikle *et al.,* 2018; Granja *et al.,* 2012).

2.8.2. Factores genéticos

La genética influye sobre características reproductivas como la edad a la pubertad, la fertilidad, la prolificidad, el intervalo entre partos y la adaptación a diferentes condiciones ambientales. Algunas razas presentan una mayor eficiencia reproductiva debido a su capacidad de adaptación al clima, resistencia a enfermedades y mejor aprovechamiento de los recursos alimenticios disponibles. La selección genética orientada hacia características reproductivas contribuye al mejoramiento de la productividad de los sistemas pecuarios (Meikle *et al.,* 2018).

2.8.3. Factores sanitarios

La presencia de enfermedades infecciosas, parasitarias o metabólicas representa una causa importante de disminución de la eficiencia reproductiva. Diversos agentes patógenos pueden provocar infertilidad, abortos, mortalidad embrionaria, retención placentaria y alteraciones en el ciclo estral. El adecuado control sanitario mediante programas preventivos, vacunación y monitoreo constante permite reducir las pérdidas reproductivas y mejorar el desempeño productivo de los rebaños (Meikle *et al.,* 2018).

2.8.4. Factores de manejo

El manejo reproductivo tiene una influencia directa sobre los resultados productivos de los rumiantes. Aspectos como la detección oportuna del celo, la correcta selección de reproductores, el manejo nutricional, la edad al primer servicio y la planificación de los empadres afectan la eficiencia reproductiva. Un manejo inadecuado puede ocasionar disminución de la fertilidad, incremento de los días

abiertos y reducción de la productividad general del sistema de producción (Córdova-Izquierdo *et al.,* 2021).

2.8.5. Factores ambientales

Los factores ambientales ejercen una influencia significativa sobre la reproducción de los rumiantes debido a que afectan directamente los mecanismos fisiológicos encargados de regular la actividad endocrina y reproductiva. Entre los principales factores ambientales se encuentran la temperatura, humedad relativa, fotoperiodo, altitud, latitud y disponibilidad de recursos forrajeros. La interacción de estos elementos puede modificar la eficiencia reproductiva de los animales y condicionar su adaptación a diferentes sistemas de producción (Hansen, 2009).

La temperatura ambiental elevada constituye uno de los factores más limitantes para la reproducción. El estrés por calor provoca alteraciones hormonales que reducen la expresión del celo, disminuyen la calidad de los ovocitos y afectan la fertilidad tanto de hembras como de machos. Asimismo, las altas temperaturas pueden incrementar la mortalidad embrionaria temprana y reducir las tasas de gestación debido a cambios en el ambiente uterino y en el metabolismo energético de los animales (Hansen, 2009).

La humedad relativa también puede influir sobre el desempeño reproductivo cuando se combina con temperaturas elevadas. Estas condiciones dificultan la disipación del calor corporal, incrementando el estrés térmico y reduciendo el consumo voluntario de alimento. Como consecuencia, se genera un balance energético

negativo que afecta la actividad reproductiva y la eficiencia productiva del rebaño (Marai *et al.,* 2007).

La latitud tiene una estrecha relación con la duración del fotoperiodo, factor que regula la actividad reproductiva en muchas especies de pequeños rumiantes. Las cabras son consideradas animales poliéstricos estacionales de días cortos, por lo que la disminución de las horas de luz estimula la secreción de melatonina y favorece la actividad ovárica. Por esta razón, las variaciones de latitud pueden modificar la duración y la intensidad de la estación reproductiva (Chemineau *et al.,* 2008).

La altitud también puede afectar la reproducción debido a los cambios en la presión atmosférica y la disponibilidad de oxígeno. En regiones de gran altitud, algunos animales pueden presentar alteraciones fisiológicas relacionadas con la hipoxia, lo que puede afectar el crecimiento fetal, el peso al nacimiento y algunos parámetros reproductivos. Sin embargo, las poblaciones adaptadas a estas condiciones suelen desarrollar mecanismos fisiológicos que les permiten mantener una reproducción eficiente (Pérez *et al.,* 2017).

Además, las variaciones climáticas influyen indirectamente sobre la reproducción al modificar la disponibilidad y calidad de los recursos alimenticios. Durante periodos de sequía o escasez de forraje, los animales pueden experimentar deficiencias nutricionales que afectan la pubertad, la fertilidad, la tasa de ovulación y la supervivencia embrionaria. Por ello, las condiciones ambientales y nutricionales

deben considerarse de manera conjunta dentro de los programas de manejo reproductivo (Scaramuzzi *et al.,* 2006).

HIPÓTESIS

El uso de un precursor gluconeogénico mejorará la fertilidad en cabras multirraciales bajo condiciones de pastoreo.

OBJETIVO

Evaluar el uso de un precursor gluconeogénico para mejorar la fertilidad en cabras multirraciales bajo condiciones de pastoreo.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

General

Todos los métodos y manejo 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) con aprobación del cuerpo colegiado de investigación con número de referencia institucional UAAAN-UL/38111-425501002-2706.

3.1. Localización del área de estudio

El presente trabajo se realizó en el mes febrero del 2025 en el Ejido San Nicolás, Municipio de San Pedro, Coahuila en el norte de México (25°42'47"N- 102°47'36"O). El clima de la región es semidesértico, una altitud de 1,094 msnm, con una precipitación media anual de 230 mm. La humedad relativa oscila entre 26 y 61 %; los rangos de fotoperiodo de 13 h 41 min. Durante el solsticio de verano (junio) a 10 h 19 min. Durante el solsticio de invierno (diciembre); una temperatura que oscila entre 6 °C en invierno y 37 °C en verano (CONAGUA 2015).

3.2. Animales y su manejo

Se seleccionaron 40 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 dos grupos: un primer grupo (Tratado; n=20) recibió 50 mL (propionato de sodio al 11%, propilenglicol al 4%) de un precursor gluconeogénico que contiene 127.3 y 101.8(MCal/Kg de EM y EN, mientras que un segundo grupo (Control; n=20) no recibió ninguna complementación. Los tratamientos fueron aplicados cada tercer día durante 10

días, sumando un total de 5 aplicaciones. Dichas administraciones se aplicó junto con el protocolo de sincronización, que consistió en la administración de 25 mg de P4, y 100 UI de hCG.

3.3. Variables evaluadas

3.3.1. Peso y condición corporal

Se registró el peso vivo (PV), condición corporal (CC) al inicio y posteriormente a los 17 días y 23 días del periodo experimental. La CC fue medida en escala del 1 a 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.

3.3.3. Tasa ovulatoria y numero de cuerpos lúteos

La tasa de ovulación se determinó contando el número de cuerpos lúteos en la superficie de ambos ovarios de todas las cabras alrededor de 13 días después del apareamiento, utilizando ecografía transrectal.

El porcentaje de ovulación se calculó considerando el número de cabras que presentaron al menos un cuerpo lúteo en relación con el número total de hembras evaluadas en cada grupo.

3.3.4. Preñez

El porcentaje de preñez se determinó a los 45 d después de la introducción de los machos, detectando la presencia de al menos un embrión en la cavidad uterina por ultrasonografía transrectal en tiempo real.

3.3.5. Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) mediante el procedimiento de Modelo Lineal General (GLM). Para comparar las medias correspondientes al peso vivo, condición corporal, así como al número y tamaño de los cuerpos lúteos, se empleó la prueba t. En el caso de la variable porcentaje de ovulación, se aplicó una prueba de Chi-cuadrada (χ^2). Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el programa SAS (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA, V9.1). Se estableció como criterio de significancia estadística un valor de $P \leq 0.05$.

IV. RESULTADOS

En el cuadro 1. Se muestran los resultados para peso vivo y condición corporal. No se encontró diferencia estadística para PV (49.7± 1.55) y CC (2.6 ± 0.1) para ambos grupos (P>0,05).

Cuadro 1 Medias (± Desvest) para peso vivo y condición corporal de cabras suplementadas con 50 mL de un precursor gluconeogénico (Tratado) y cabras no suplementadas (Control).

Variables	Tratado (n=)	Control (n=)
Peso vivo inicial (Kg)	49.5 ± 1.0 [a]	49.7 ± 1.7 [a]
Peso vivo final (Kg)	49.7 ± 1.3[a]	49.7 ± 1.8 [a]
Condición corporal inicial (1-5, unidades)	2.5 ± 0.2 [a]	2.6 ± 0.4 [a]
Condición corporal final (1-5, unidades)	2.6 ± 0.1[a]	2.6 ± 0.1 [a]

a, b, = Los valores con diferentes literales en la misma fila difieren (P < 0.05).

En el cuadro 2. Se muestra los resultados para el porcentaje de ovulación, numero de CL, tasa embrionaria y porcentaje de preñez. El porcentaje de ovulación (92.5%; P>0.05), en tasa embrionaria (1.7± 0.1) general promedio fue similar en ambos grupos (p>0.05).

Mientras que el número de CL fue mayor para el grupo tratado (1.8±0.1; p≤ 0.05), en comparación en el Control (1.5 ±0.1). El porcentaje de preñez no tubo diferencia significativa (51.45%; P>0.05) para ambos grupos.

Cuadro 2 Respuestas reproductivas de cabras anovulatorias suplementadas con el precursor gluconeogenico (Tratado) y/o cabras no suplementadas (Control) y sincronizadas al estro bajo condiciones de pastoreo extensivo (febrero).

Variables	Control (n=20)	Tratado (n=20)
Ovulación (%)	85 (17/20)[a]	100 (20/20)[a]
Cuerpos lúteos (n)	1.5 ±0.1 [b]	1.8±0.1[a]
Tasa embrionaria (n)	1.6±0.1 [a]	1.8±0.1 [a]
Preñez (%, n)	52.9[a] (9/17)	50[a] (10/20)

a, b, = Los valores con diferentes literales en la misma fila difieren ($P < 0.05$).

V. DISCUSIÓN

En el presente estudio, las cabras suplementadas con el precursor gluconeogénico no presentaron diferencia significativa en CC, PV, asimismo con porcentaje de ovulación, taza embrionaria ni porcentaje de preñez, asimismo Silva et al. (2026) señalaron que la suplementación con un precursor gluconeogénico en cabras modificó algunas características de la dinámica folicular y aumentó las concentraciones de glucosa; sin embargo, estos cambios no se tradujeron en diferencias significativas en los resultados reproductivos posteriores, particularmente en la tasa de preñez. Estos resultados sugieren que una mayor disponibilidad de sustratos energéticos puede modificar la actividad ovárica sin necesariamente generar una respuesta reproductiva final dado que se utiliza en campo experimental como precursor energético.

Dado que en número de CL existió una mayor cantidad en comparación con las hembras del grupo control (1.5 ± 0.1 vs. 1.8 ± 0.1, respectivamente). Esta diferencia sugiere una respuesta favorable de la dinámica folicular ante una mayor disponibilidad de precursores energéticos. El incremento en el número de CL podría estar relacionado con una mejora en el estado energético de las hembras, ya que una mayor disponibilidad de energía puede favorecer el desarrollo folicular y las condiciones fisiológicas necesarias para la ovulación (Amin et al., 2022).

En este sentido, el suministro de un precursor gluconeogénico pudo contribuir a mantener condiciones metabólicas más favorables durante el periodo de sincronización y empadre, lo que posiblemente permitió que un mayor número de folículos alcanzara la ovulación y posteriormente diera origen a cuerpos lúteos. Esta interpretación es consistente con lo señalado por Scaramuzzi *et al.* (2006) que al tener una mayor disponibilidad de nutrientes puede existir una modificación de las señales metabólicas que intervienen en el desarrollo folicular y en la actividad ovárica, por lo que, el aporte con precursor gluconeogenico podría favorecer la disponibilidad de la glucosa modificando así las concentraciones de insulina y otros metabolitos relacionados con la función reproductiva. En esta respuesta metabólica

proporciona un ambiente favorable para el desarrollo y crecimiento de los folículos que se convertirán en cuerpos lúteos.

La importancia de esta respuesta también puede explicarse por la función endocrina del cuerpo lúteo. En la cabra, esta estructura constituye la principal fuente de progesterona durante la fase lútea, esta hormona es indispensable para tener una adaptabilidad adecuada en el útero necesario para la gestación. Se demuestra que el desarrollo y mantenimiento del cuerpo lúteo dependen de un soporte luteotropico, particularmente de la secreción de la LH (Kawate *et al.,* 2000). Por lo tanto si se tiene una mayor disponibilidad de energía favorece las condiciones metabólicas de forma indirecta para inducir a una actividad ovárica y que exista una ovulación.

Asimismo, los estudios llevados a cabo han mostrado que las modificaciones del estado nutricional pueden repercutir sobre la fase lútea. Por ejemplo, la restricción alimenticia se ha asociado con tener una disminución de progesterona y con esto una menor actividad del cuerpo lúteo, evidenciando la sensibilidad de la función reproductiva ante el cambio en la disponibilidad de energía (Abecia *et al.,* 2006) Teniendo en cuenta esta perspectiva el mayor número de cuerpos lúteos observado en las hembras suplementadas podría representar una respuesta asociada con la mejora de un entorno metabólico durante el periodo previo al empadre, pero esta interpretación debe de considerarse con cautela debido a que en el trabajo realizado no se determinó ni concentraciones séricas de progesterona ni otros metabolitos metabólicos como glicerina o insulina que puedan determinar que existe un efecto directo por el aporte energético del precursor hacia la fase lútea, como lo menciona Aguilar et al. (2016) señalaron que la administración de glicerol, como precursor gluconeogénico, puede modificar la respuesta metabólica de las cabras, observándose una tendencia al incremento de las concentraciones de insulina. Los autores plantearon que un aumento de esta hormona podría favorecer la función lútea y, potencialmente, estimular la producción de progesterona; sin embargo, en su estudio no se encontraron diferencias significativas en las concentraciones de progesterona entre las cabras suplementadas y las del grupo control.

VI. CONCLUSION

Al suplementar las cabras con el precursor gluconeogenico favoreció ampliamente el numero de cuerpos luteos en las cabras, evidenciada por un mayor número de cuerpos lúteos presentes en comparación con el grupo control. Sin embargo no se observaron diferencias significativas en el peso vivo, condición corporal, porcentaje de ovulación, taza embrionaria ni porcentaje de Preñez. Por lo tanto el efecto del suplemento se limitó principalmente a la respuesta ovárica, sin demostrar una mejora significativa de la fertilidad bajo condiciones presentes en el estudio.

VII. LITERATURA CITADA

Abecia, J. A., Sosa, C., Forcada, F., & Meikle, A. (2006). The effect of undernutrition on the establishment of pregnancy in the ewe. Reproduction, Nutrition, Development, 46(4), 367–378. https://doi.org/10.1051/rnd:2006018

Abo El-Nor, S., AbuGhazaleh, A. A., Potu, R. B., Hastings, D., & Khattab, M. S. A. (2010). Effects of differing levels of glycerol on rumen fermentation and bacteria. Animal Feed Science and Technology, 162(3–4), 99–105. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2010.09.012

Alvarado, A. V., Alvarado, A. S., Arellano, F., Véliz, F. G., de Santiago, Á., Contreras, V., & Mellado, M. (2022). Body condition score and serum metabolites and minerals concentrations as indicators of ovarian activity and pregnancy success in goats on rangeland. Spanish Journal of Agricultural Research, 20(4), e0404. https://doi.org/10.5424/sjar/2022204-19737

Amin, M. R., et al. (2022). Effect of dietary energy levels on ovarian follicular development and reproductive performance in goats. Indian Journal of Animal Sciences, 92(1), 85–89.

Aguilar, U., Hernández Cerón, J., Domínguez, Y., & Gutiérrez, C. G. (2016). Tasa de ovulación, prolificidad y tasa de gestación en cabras tratadas con glicerol por vía oral. Veterinaria México OA, 3(1). https://doi.org/10.21753/vmoa.3.1.360

Bell, A. W. (1995). Regulation of organic nutrient metabolism during transition from late pregnancy to early lactation. Journal of Animal Science, 73(9), 2804–2819.

Bergman, E. N. (1990). Energy contributions of volatile fatty acids from the gastrointestinal tract in various species. Physiological Reviews, 70(2), 567–590.

Butler, W. R. (2000). Nutritional interactions with reproductive performance in dairy cattle. Animal Reproduction Science, 60–61, 449–457. https://doi.org/10.1016/S0378-4320(00)00076-2

Cannas, A., Tedeschi, L. O., Fox, D. G., Pell, A. N., & Van Soest, P. J. (2008). A mechanistic model for predicting the nutrient requirements and feed biological values for sheep. Journal of Animal Science, 82(1), 149–169.

Chemineau, P., Pellicer-Rubio, M. T., Lassoued, N., Khaldi, G., & Monniaux, D. (2008). Male-induced short oestrous and ovarian cycles in sheep and goats: A working hypothesis. Reproduction Nutrition Development, 48(1), 35–48.

Comisión Nacional del Agua. (2015). Reporte del clima en México: Reporte anual 2015. Servicio Meteorológico Nacional.

Córdova-Izquierdo, A., Iglesias-Reyes, A. E., Ruiz-Lang, G., Saltijeral-Oaxaca, J., Guerra-Liera, J. E., Villa-Mancera, E. A., Juárez-Mosqueda, M. L., Gómez-Vázquez, A., Sánchez-Aparicio, P., Bedolla-Cedeño, C. J., Olivares-Pérez, J., & Sánchez-Sánchez, R. (2021). Nutrition and food in the reproduction of cattle. European Journal of Agriculture and Food Sciences, 3(3), 1–8.

da Silva, C. P., Fernandes, C. C. L., Conde, A. J. H., Cavalcanti, C. M., de Oliveira, F. B. B., Gaudencio Neto, S., Alves, J. P. M., Teixeira, D. Í. A., & Rondina, D. (2026). Effectiveness of peri-conception low dose of a highly gluconeogenic fast-release supplement in a fixed-time insemination program on ovarian and reproductive outcomes in meat goats. Animal Reproduction, 23(3), e20250061. https://doi.org/10.1590/1984-3143-AR2025-0061

Devendra, C., & Burns, M. (1983). Goat production in the tropics. Commonwealth Agricultural Bureaux.

Diskin, M. G., Mackey, D. R., Roche, J. F., & Sreenan, J. M. (2003). Effects of nutrition and metabolic status on circulating hormones and ovarian follicle development in cattle. Animal Reproduction Science, 78(3–4), 345–370. https://doi.org/10.1016/S0378-4320(03)00099-X

Ensminger, M. E., & Parker, R. O. (1986). Sheep and goat science. Interstate Publishers.

Federation of Animal Science Societies. (2010). Guide for the care and use of agricultural animals in research and teaching (3rd ed.). Federation of Animal Science Societies.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2020). The global goat sector: Trends and challenges. FAO.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2022). FAOSTAT statistical database: Livestock primary. FAO.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2023). World livestock production and trends. FAO.

Forbes, J. M. (2007). Voluntary food intake and diet selection in farm animals. CABI Publishing.

Goff, J. P. (2018). Invited review: Mineral absorption mechanisms, mineral interactions that affect acid-base and antioxidant status, and diet considerations to improve mineral status. Journal of Dairy Science, 101(4), 2763–2813. https://doi.org/10.3168/jds.2017-13112

Granja, S. Y. T., Cerquera, J. G., & Fernández, O. B. (2012). Factores nutricionales que interfieren en el desempeño reproductivo de la hembra bovina. Revista Colombiana de Ciencia Animal, 4(2), 458–472.

Haenlein, G. F. W. (2004). Goat milk in human nutrition. Small Ruminant Research, 51(2), 155–163.

Hafez, E. S. E., & Hafez, B. (2008). Reproduction in farm animals (7th ed.). Wiley-Blackwell.

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, 10(12), 2449. https://doi.org/10.3390/ani10122449

Hansen, P. J. (2009). Effects of heat stress on mammalian reproduction. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 364(1534), 3341–3350.

Kawate, N., Morita, N., Tsuji, M., Tamada, H., Inaba, T., & Sawada, T. (2000). Roles of pulsatile release of LH in the development and maintenance of corpus luteum function in the goat. Theriogenology, 54(7), 1133–1143. https://doi.org/10.1016/S0093-691X(00)00421-0

Launchbaugh, K. L., Provenza, F. D., Burritt, E. A., & Banner, R. E. (2001). Grazing behavior and management of goats. Journal of Animal Science, 79(E-Suppl.), E153–E163.

Lu, C. D. (1988). Grazing behavior and diet selection of goats. Small Ruminant Research, 1(3), 205–216.

Lu, C. D., & Potchoiba, M. J. (1990). Feed intake and nutrient requirements of goats. Small Ruminant Research, 3(1), 51–59.

Marai, I. F. M., El-Darawany, A. A., Fadiel, A., & Abdel-Hafez, M. A. M. (2007). Physiological traits as affected by heat stress in sheep: A review. Small Ruminant Research, 71(1–3), 1–12.

Martin, G. B., Rodger, J., & Blache, D. (2004). Nutritional and environmental effects on reproduction in small ruminants. Reproduction, Fertility and Development, 16(4), 491–501.

McDonald, P., Edwards, R. A., Greenhalgh, J. F. D., Morgan, C. A., Sinclair, L. A., & Wilkinson, R. G. (2011). Animal nutrition (7th ed.). Pearson Education.

Meikle, A., De Brun, V., Carriquiry, M., Soca, P., Sosa, C., Adrien, M. L., Chilibroste, P., & Abecia, J. A. (2018). Influences of nutrition and metabolism on reproduction of the female ruminant. Revista Brasileira de Reprodução Animal, 42(3–4), 899–911.

Mellado, M. (2016). Caprinocultura: Producción de cabras en zonas áridas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Mellado, M. (2016). Goat production systems in Mexico: Current status and perspectives. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-49255-2

Mendoza, G. D., Pinos-Rodríguez, J. M., & Plata, F. X. (2007). Nutritional strategies to improve productivity in ruminants. Revista Científica, FCV-LUZ, 17(4), 343–352.

Mendoza, G. D., Pinos-Rodríguez, J. M., & Bárcena, R. (2008). Influence of feeding strategies on metabolic status in ruminants. Tropical Animal Health and Production, 40(5), 363–369. https://doi.org/10.1007/s11250-007-9100-5

Mikula, R., et al. (2020). Effects of propylene glycol supplementation on metabolic status in ruminants. Animals, 10(9), 1–14. https://doi.org/10.3390/ani10091532

Mongini, A., & Van Saun, R. J. (2023). Pregnancy toxemia in sheep and goats. Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice, 39(2), 275–291. https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2023.02.010

Morand-Fehr, P. (2005). Recent developments in goat nutrition and application: A review. Small Ruminant Research, 60(1–2), 25–43.

National Research Council (NRC). (2007). Nutrient requirements of small ruminants: Sheep, goats, cervids, and new world camelids. National Academies Press.

Noakes, D. E., Parkinson, T. J., & England, G. C. W. (2019). Veterinary reproduction and obstetrics (10th ed.). Elsevier.

Overton, T. R., & Waldron, M. R. (2004). Nutritional management of transition dairy cows: Strategies to optimize metabolic health. Journal of Dairy Science, 87(E. Suppl.), E105–E119. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)70066-1

Owens, F. N., & Goetsch, A. L. (1988). Ruminal fermentation. En D. C. Church (Ed.), The ruminant animal: Digestive physiology and nutrition.

Partida, J. A., Braña, D., & Martínez, R. (2013). Situación actual y perspectivas de la producción caprina en México. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, 4(3), 291–304.

Pérez, W., García, A., & Martínez, R. (2017). Adaptación fisiológica de rumiantes a condiciones de altura. Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú, 28(4), 897–909.

Permana, I. G., Rosmalia, A., Anggarini, F. Y., Despal, T., Toharmat, T., & Evvyernie, D. (2025). Optimizing tropical dairy goat diets: Balancing rumen degradable protein, non-fiber carbohydrates, and sulfur requirements. Animal Bioscience, 38(3), 475–488. https://doi.org/10.5713/ab.24.0155

Provenza, F. D. (1995). Postingestive feedback as an elementary determinant of food preference and intake in ruminants. Journal of Range Management, 48(1), 2–17.

Pulina, G., Nudda, A., Battacone, G., & Cannas, A. (2008). Nutrition and quality of goat's milk. Small Ruminant Research, 77(2–3), 118–125.

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.2006.01.002

Rhind, S. M. (1992). Nutrition and reproduction in female farm animals. Nutrition Research Reviews, 5(1), 245–262.

Rook, J. A. F. (2000). Principles of lactation. Blackwell Science.

Scaramuzzi, R. J., Campbell, B. K., Downing, J. A., Kendall, N. R., Khalid, M., Muñoz-Gutiérrez, M., & Somchit, A. (2006). A review of the effects of supplementary nutrition on the reproductive performance of sheep and goats. Reproduction, Nutrition, Development, 46(4), 339–354. https://doi.org/10.1051/rnd:2006016

Scaramuzzi, R. J., Campbell, B. K., Downing, J. A., Kendall, N. R., Khalid, M., Muñoz-Gutiérrez, M., & Somchit, A. (2006). A review of the effects of supplementary nutrition on ovulation rate and reproductive performance in small ruminants. Animal Reproduction Science, 92(3–4), 399–412.

Scaramuzzi, R. J., Campbell, B. K., Downing, J. A., Kendall, N. R., Khalid, M., Muñoz-Gutiérrez, M., & Somchit, A. (2006). A review of the effects of supplementary

nutrition in the ewe on the concentrations of reproductive and metabolic hormones and the mechanisms that regulate folliculogenesis and ovulation rate. Reproduction, Nutrition, Development, 46(4), 339–354. https://doi.org/10.1051/rnd:2006016

Senger, P. L. (2012). Pathways to pregnancy and parturition (3rd ed.). Current Conceptions Inc.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2022). Anuario estadístico de la producción pecuaria. Gobierno de México.

Skapetas, B., & Bampidis, V. (2016). Goat production in the world: Present situation and trends. Livestock Research for Rural Development, 28(11), 1–9.

Smith, M. C., & Sherman, D. M. (2009). Goat medicine (2nd ed.). Wiley-Blackwell.

Suttle, N. F. (2010). Mineral nutrition of livestock (4th ed.). CABI Publishing.

Syahniar, T. M., Ridla, M., Samsudin, A. A., & Jayanegara, A. (2016). Glycerol as an energy source for ruminants: A meta-analysis of in vitro experiments. Media Peternakan, 39(3), 189–196. https://doi.org/10.5398/medpet.2016.39.3.189

Tedeschi, L. O., Cannas, A., & Fox, D. G. (2010). A nutrition mathematical model to account for dietary supply and requirements of energy and other nutrients in small ruminants. Small Ruminant Research, 89(2–3), 174–184.

Van Soest, P. J. (1994). Nutritional ecology of the ruminant (2nd ed.). Cornell University Press.

Viñoles, C., Forsberg, M., Banchero, G., & Rubianes, E. (2005). Effect of long-term and short-term nutritional supplementation on follicular development and ovulation rate in sheep. Theriogenology, 64(4), 1058–1072. https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2005.02.007