

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES

Efecto de la aplicación de un progestágeno sobre la tasa de gestación
en cabras sometidas a estrés nutricional durante la estación no
reproductiva

Trabajo escrito

Que como parte de los requisitos para obtener el título de:
Maestro en Salud y Producción Animal Sustentable

Presenta:

MVZ. Osmar Adrián Gordillo Zapata

Dirigido por:

Dr. Héctor Raymundo Vera Ávila

Querétaro, Qro., a noviembre del 2020



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ciencias Naturales
Maestría en Salud y Producción Animal Sustentable

Efecto de la aplicación de un progestágeno sobre la tasa de gestación en cabras sometidas a estrés nutricional durante la estación no reproductiva

Trabajo escrito

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Maestro en Salud y Producción Animal Sustentable

Presenta:

MVZ. Osmar Adrián Gordillo Zapata

Dirigido por:

Dr. Héctor Raymundo Vera Ávila

Dr. Héctor Raymundo Vera Ávila
Presidente

Dr. Héctor Mario Andrade Montemayor
Secretario

Dr. Héctor Jiménez Severiano
Vocal

MC. Eleazar Pérez Trejo
Vocal

Dr. Luis Javier Montiel Olguín
Vocal

Centro Universitario, Querétaro, Qro.
Noviembre de 2020
México

DEDICATORIAS

Dedicado a la memoria de mis abuelos, Patrocinio Zapata Ceiba, y Eduardo Gordillo Guillén, quienes no me pudieron ver alcanzar esta nueva etapa. Descansen en paz, nos volveremos a ver.

Dirección General de Bibliotecas de la UAO

AGRADECIMIENTOS

A Dios y nuestro señor Jesús, por otorgarme salud y sabiduría, por dar todas las condiciones idóneas y permitir que pudiera terminar mi posgrado satisfactoriamente, aún bajo las circunstancias actuales. Todo lo que soy y hasta donde he llegado te lo debo a ti. *“Entonces Samuel tomó una piedra... y la llamó “piedra de ayuda”, diciendo: Hasta aquí nos ha ayudado el Señor”*. 1 Samuel 7:12

A mi familia, por apoyarme tanto en el inicio como en el final de este emprendimiento realizado, y por darme el apoyo moral durante toda la duración de la maestría. Muchas gracias.

A mis amigos, con quienes viví experiencias gratas, por su amistad sincera y genuina, por los momentos de apoyo, sobre todo por guiarme en estas tierras lejanas de casa. A todos ustedes, sin importar el tiempo que tengo de conocerlos, les agradezco cada momento.

Agradezco a la UAQ y a CONACYT, por las becas y apoyos económicos otorgados, los cuales fueron indispensables para que yo pudiera realizar este posgrado, llevar a cabo mis experimentos y poder presentar mis resultados de tesis en la RNIIPAFAP 2019.

Especial reconocimiento y agradecimiento a la Posta Zootécnica del Campus Amazcala, de la Universidad Autónoma de Querétaro, por el apoyo financiero y logístico prestado durante la realización de este experimento.

A mis asesores, el Dr. Héctor R. Vera Ávila, el Dr. Luis Javier Montiel Olguín, el Dr. Héctor M. Andrade Montemayor, el Dr. Héctor Jiménez Severiano y el MC. Eleazar Pérez Trejo por las facilidades y oportunidades otorgadas al realizar este trabajo,

por brindarme su ayuda, amistad, confianza y por los conocimientos que me han transmitido. Muchas Gracias.

“Feliz el que encuentra sabiduría, el que logra inteligencia, pues es más rentable que la plata, más provechoso que el oro”. Proverbios 3:13-14

“Adquiere sabiduría, adquiere inteligencia...; no la abandones y cuidará de ti, ámala y te protegerá”. Proverbios 4:5-6

Dirección General de Bibliotecas de la UAG

ÍNDICE

DEDICATORIAS.....	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE	iv
ÍNDICE DE CUADROS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
RESUMEN.....	VIII
ABSTRACT	IX
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES.....	3
2.1. La caprinocultura en México y el mundo	3
2.1.1. Antecedentes históricos	4
2.1.2. Situación Actual.....	6
2.1.3. Razas caprinas empleadas en México.....	8
2.2. Fisiología reproductiva de la cabra.....	11
2.2.1. El ciclo estral en la cabra	11
2.2.1.1. Fase Folicular	12
2.2.1.2. Fase Lútea.....	14
2.2.2. Estacionalidad reproductiva en la cabra.....	15
2.2.3. Fisiología de la gestación en la cabra	19
2.2.3.1. Reconocimiento materno de la gestación.....	20
2.2.3.2. Mantenimiento endocrino de la gestación	20
2.2.3.3. Proceso del parto.....	21
2.3. Manipulación del ciclo estral en caprinos	23
2.4. Efecto de la nutrición en la eficiencia reproductiva.....	27
2.4.1. Afectaciones nutricionales sobre la cabra en edad reproductiva	27
2.4.1.1. Efectos agudos de la nutrición.....	27
2.4.1.2. Efectos estáticos de la nutrición	29

2.4.2. Afectaciones nutricionales en la gestación y desarrollo fetal de la cabra 33

III. JUSTIFICACIÓN.....	38
IV. HIPÓTESIS.....	39
V. OBJETIVOS.....	40
5.1. Objetivo general	40
VI. MATERIALES Y MÉTODOS.....	41
6.1. Localización geográfica.....	41
6.2. Metodología.....	41
6.3. Variables de respuesta:.....	45
6.4. Análisis Estadístico	45
VII. RESULTADOS.....	46
VIII. DISCUSIÓN.....	52
IX. CONCLUSIONES	63
X. REFERENCIAS	64
XI. ANEXOS.....	75
11.1. Requerimientos nutricionales para cabras lecheras en etapas de crecimiento (hasta los 18 meses).....	75
11.2. Manejo de las unidades experimentales.....	76
11.3. Proceso de activación sexual de los machos (Tratamiento fotoperiódico).....	77

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Razas caprinas presentes en México	8
2	Composición estimada de la dieta empleada durante el experimento	42
3	Consumo diario de materia seca de las unidades experimentales	45
4	Comparación del índice de masa corporal inicial y final por raza y grupo experimental	48

Dirección General de Bibliotecas de la UAQ

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Distribución de la población de cabras a nivel mundial por continente	3
2	Evolución de la población caprina a nivel nacional (1994-2016)	5
3	Evolución de la producción de leche y carne caprina a nivel nacional (1961-2016)	5
4	Cabra Alpina	8
5	Cabra Saanen	9
6	Cabra Toggenburg	9
7	Cabras Boer	9
8	Cabra Murciana	10
9	Cabras Nubia	10
10	Diagrama de la ruta fotoneuroendocrina y la síntesis de melatonina en la glándula pineal	16
11	Escala de empleada para medir condición corporal (1-5).	30
12	Cabras de la raza Alpina y Nubia, en la posta zootécnica, campus Amazcala	41
13	Peso inicial y final de las unidades experimentales por raza.	46
14	IMC al inicio del experimento (Interacción Raza x Tratamiento).	47
15	Índice de masa corporal al final del experimento de las unidades experimentales (Interacción Raza x Tratamiento)	48
16	Comparación de la tasa de gestación a los 30 días entre raza y grupos experimentales	49
17	Comparación de la tasa de gestación a los 45 días entre raza y grupos experimentales	50

RESUMEN

El objetivo de este trabajo de investigación fue determinar el efecto que tiene la aplicación de acetato de fluorogestona (FGA) en el diestro temprano sobre la tasa de gestación en cabras sometidas a estrés nutricional e inducidas al estro durante la estación no reproductiva. Se emplearon 20 cabras nulíparas de la raza Nubia y Alpina Francesa, inducidas al estro fuera de estación reproductiva y servidas mediante monta natural dirigida, empleando para ello machos de fertilidad probada. Se indujo en las hembras un estrés nutricional temporal (2 días pre-servicio y 30 días post-servicio), donde se les proporcionó el 50% de la ración alimenticia con base al consumo voluntario previo de una dieta formulada para cubrir los requerimientos de mantenimiento y ganancia de peso moderada. Los animales fueron divididos en dos grupos con 10 cabras cada uno. El grupo control (C) se sometió únicamente al estrés nutricional. El grupo tratado (T), además de someterse al estrés nutricional, se le aplicó FGA mediante un dispositivo intravaginal al cuarto día posterior a la monta, y este se retiró seis días después. A los 45 días post-servicio, se determinó el número de cabras gestantes. Las variables de respuesta fueron el Índice de Masa Corporal (IMC) al inicio y final del experimento, así como la tasa de gestación a los 45 días post-servicio. Tanto en el IMC al inicio como al final del experimento se encontró efecto de Raza ($P < 0.05$), más no de Tratamiento ($P > 0.05$). Todos los animales, sin importar el valor de IMC que tenían al inicio del experimento, perdieron aproximadamente 1 punto de IMC, no habiendo diferencia estadística ni en raza ni en tratamiento ($P > 0.05$). Para la tasa de gestación a 45 días post-servicio, no se observaron efectos de tratamiento ni de raza ($P > 0.05$). Se observa en general que las tasas de gestaciones no fueron buenas, debido posiblemente al estrés nutricional y pérdida de IMC que presentaron los animales. Finalmente, se concluye que a través de la administración de un progestágeno durante la fase lútea temprana no se logró mejorar la tasa de gestación en cabras sometidas a estrés nutricional e inducidas a ovular fuera de la estación reproductiva.

ABSTRACT

The aim of this research work was to determine the effect of the application of fluorogestone acetate (FGA) in the early diestrus on the pregnancy rate in goats subjected to nutritional stress and induced to estrus during the non-reproductive season. Twenty nulliparous goats of the Nubian and Alpine breed were used, induced to estrous in the non-reproductive season and served by guided natural mating, using males of proven fertility. Females were induced to temporary nutritional stress (2 days pre-service and 30 days post-service), where they were given the 50% of the food ration based on previous voluntary consumption of a diet formulated for maintenance and moderate weight gain. Animals were divided into two groups with 10 goats each one. The control group (C) received only nutritional stress. The treated group (T), in addition to nutritional stress was supplied FGA using an intravaginal device on the fourth day after mounting, and this was withdrawn six days after. At 45 days post-service, the number of pregnant goats was determined. The response variables were the Body Mass Index (BMI) at the beginning and end of the experiment, as well as the pregnancy rate at 45 days post-service. The BMI at the beginning and at the end of the experiment were not influenced by breed ($P < 0.05$), or treatment ($P > 0.05$). All the animals, regardless of the BMI score they had at the beginning of the experiment, lost approximately 1 point of BMI, with no statistical difference neither by breed nor by treatment ($P > 0.05$). Pregnancy rate at 45-day post-service, was not influenced by treatment or breed ($P > 0.05$).

It was observed that pregnancy rates in general were low, probably as a response to the nutritional stress and loss of BMI. Finally, it is concluded that the administration of a progestogen during the early luteal phase did not improve the pregnancy rate in goats subjected to nutritional stress and induced to ovulate out of the reproductive season.

I. INTRODUCCIÓN

La cría y producción de cabras es hoy en día una actividad esencialmente de tipo familiar, siendo alrededor de trescientas mil familias las que se dedican a dicho rubro de manera principal, representando no solo una fuente de ingresos, sino una fuente de cultura y tradición en particular alrededor de la crianza de las cabras, otorgando estabilidad social, económica y familiar a los caprinocultores (Guerrero-Cruz, 2010). Adicionalmente esta actividad ha sido una forma de aprovechar los recursos naturales de baja capacidad productiva, como la vegetación propia de las regiones áridas y semiáridas del centro y norte del país (Torres-Carreón, 2015).

Entre los diferentes desafíos a los que se enfrenta la caprinocultura nacional, uno de los principales es lograr aumentar la producción tanto de carne como de leche, puesto que actualmente la producción caprina en su mayoría suele presentar estacionalidad, por lo que los productos obtenidos de dicha actividad pecuaria se distribuyen de manera desigual a lo largo del año, habiendo temporadas con mucha oferta de producto, ocasionando que los precios bajen, y temporadas donde los productos escasean, subiendo el precio del producto (Andrade-Montemayor, 2017). Sin embargo, la estacionalidad caprina es muy variable, dependiendo de muchos factores, siendo uno de los importantes la alimentación (Smith y Sherman, 2009).

La alimentación deficiente afecta severamente la productividad del rebaño caprino. En cabras, se ha observado que una alimentación deficiente, en especial durante la estación no reproductiva, produce una falla lútea, dando lugar esto a un descenso de la tasa de gestación. Esta falla lútea puede estar relacionada con un retraso en el desarrollo del cuerpo lúteo, demorando así la producción de progesterona, por lo que no se crean las condiciones necesarias en el útero para que el embrión sobreviva hasta la implantación (Agredo-Palechor, 2018).

Las pérdidas de gestaciones pre y post implantación asociadas a las deficiencias nutricionales representan uno de los problemas más comunes y serios en el ganado caprino mexicano, con repercusiones económicas importantes (Escareño-Sánchez *et al.*, 2011).

Es por ello, que en este trabajo se planteó aplicar acetato de fluorogestona mediante dispositivos intravaginales, teniendo como hipótesis que esta fuente externa de progestágenos será suficiente para desarrollar un ambiente propicio dentro del útero para el embrión, en lo que se completa el desarrollo tardío del cuerpo lúteo y este pueda producir por su cuenta esta hormona a los niveles normales; de esta forma, esto permitiría el aumento de la tasa de gestación en caprinos.

Por lo tanto, el objetivo de este trabajo de investigación fue determinar el efecto que tendrá la aplicación de acetato de fluorogestona en el diestro temprano sobre la tasa de gestación en cabras que fueron sometidas a estrés nutricional e inducidas al estro durante la estación no reproductiva.

II. ANTECEDENTES

2.1. La caprinocultura en México y el mundo

A nivel mundial, existen alrededor de 1 002 810 368 cabras. De las cuales la mayoría se encuentran en el continente asiático, de donde son originarias, seguido de una población importante de cabras en África (Figura 1). Existe relativamente poca población caprina en América (4.3%), de los cuales, México ocupa el segundo lugar en el continente en cuanto a número de cabezas caprinas, solo por detrás de Brasil. De acuerdo a información de la FAO en 2016, México contaba con una población aproximada de 8 755 443 de cabras, entre las cuales 754 793 animales son productoras de leche, y se sacrificaron alrededor de 2 311 804 cabras para abasto de carne (FAO, 2018; Torres-Carreón, 2015).

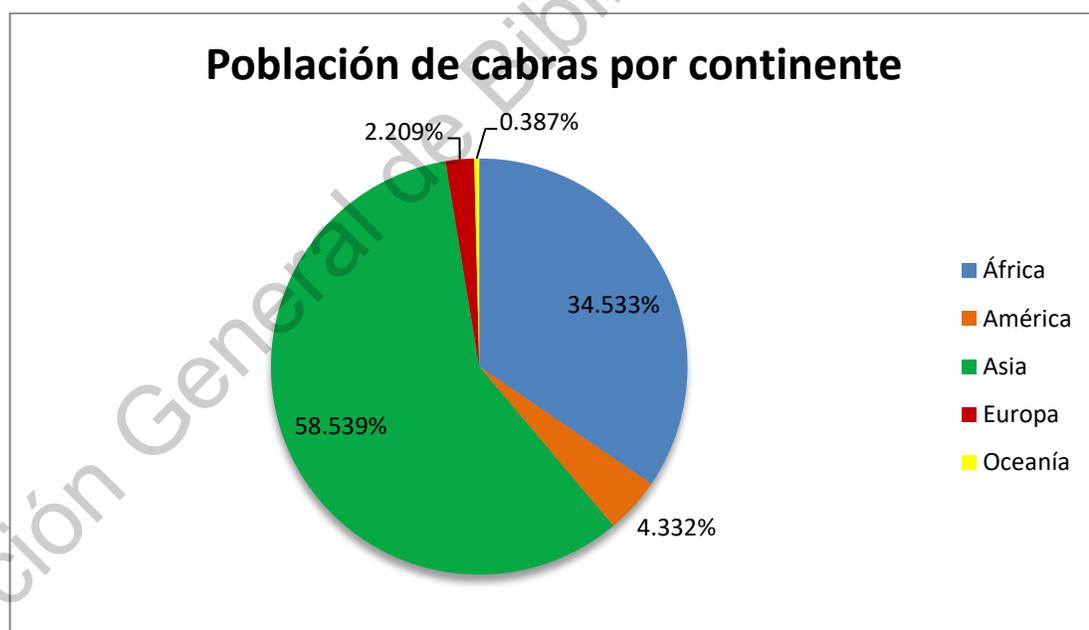


Figura 1: Distribución de la población de cabras a nivel mundial por continente. Adaptado de FAO (2018).

2.1.1. Antecedentes históricos

La caprinocultura se origina en el centro-oeste de Asia y su domesticación se remonta desde hace 9,000 años. En nuestro país, esta actividad se remonta desde la época de la conquista, cuando los españoles introdujeron a esta especie a México, originalmente con el propósito de proporcionar alimento a las tripulaciones de los barcos. Estas cabras introducidas tienen una mayor influencia genotípica de las cabras originarias de las regiones españolas de Navarra y Andalucía. Estas se adaptaron al clima y geografía del país, demostrando que pueden ser una opción de producción pecuaria rentable, además de tolerar bastante bien las sequías y la escasez de forraje, representando una forma de aprovechar los recursos naturales de baja capacidad productiva, como la vegetación propia de las regiones áridas y semiáridas del centro y norte del país. (Guerrero-Cruz, 2010; Torres-Carreón, 2015). Es común que a esta especie se le atribuya el deterioro ecológico de estas zonas, cuando en realidad ya existía un desgaste previo ocasionado el pastoreo irracional de bovinos u ovinos (Guerrero-Cruz, 2010; Ducoin-Watty, s.f.).

En los últimos años, la producción caprina se ha estancado y ha estado rezagada comparado con la producción pecuaria de otras especies productivas. En la Figura 2 se puede observar que la tendencia es que disminuya el número de cabras a nivel nacional, al igual que la producción de leche (Figura 3); aunque la producción de carne caprina mantiene un crecimiento relativamente constante, debido a la demanda de la carne en platillos tradicionales (FAO, 2018; López, 2013).



Figura 2: Evolución de la población caprina a nivel nacional (1994-2016). Adaptado de FAO (2018).

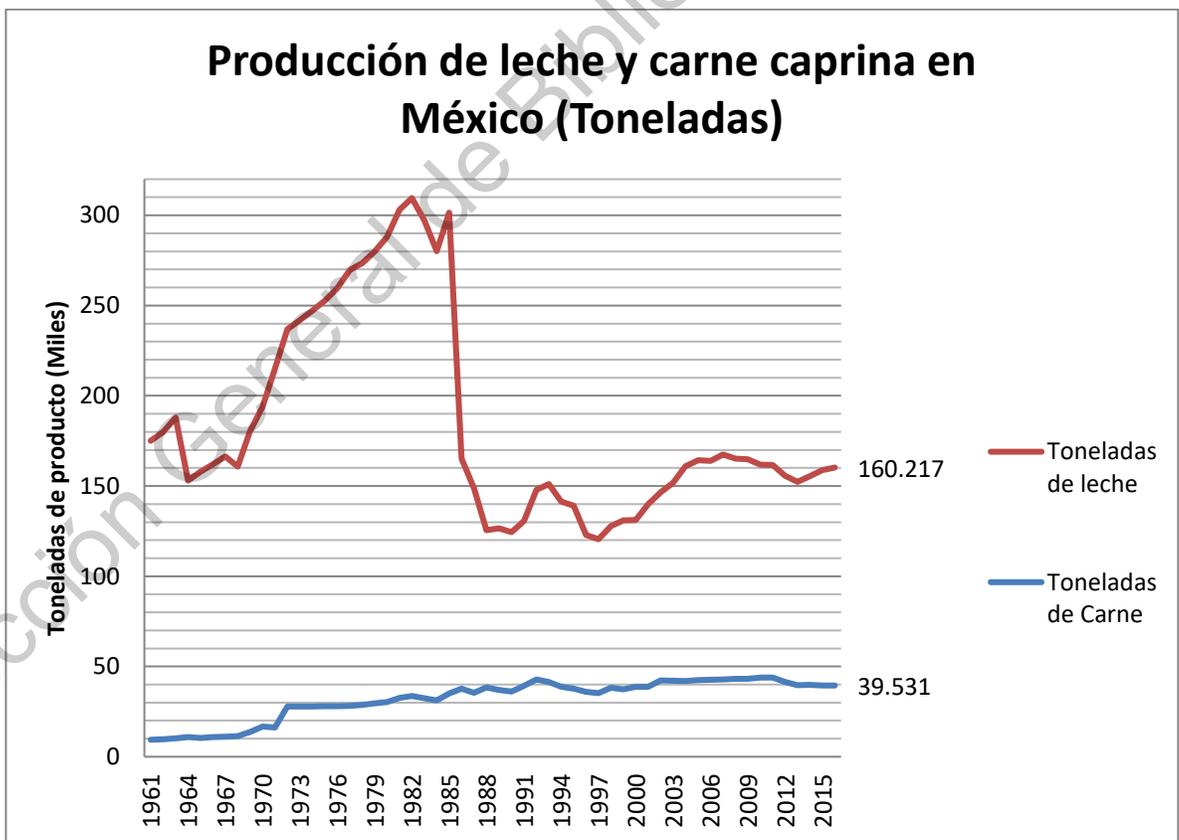


Figura 3: Evolución de la producción de leche y carne caprina a nivel nacional (1961-2016). Adaptado de FAO (2018).

De acuerdo a Ducoin-Watty (s.f.), entre los factores que han provocado que la producción caprina a nivel nacional haya detenido su crecimiento y tenga un importante nivel de rezago se encuentran el uso irracional de los agostaderos, ocasionando erosión y deterioro ecológico, la importación de modelos tecnológicos sumamente costosos y que no se adaptan a la realidad de nuestro país, falta de apoyo gubernamental, desorganización entre los productores y la falta de conocimiento y capacitación sobre esta especie y su manejo.

Esto concuerda con lo descrito en estudios a lo largo del país, donde se identificó que los principales problemas que aquejan la ganadería caprina son: La percepción de la crianza de los caprinos, donde a esta especie se le considera como un ahorro familiar o pasatiempo de la población de la tercera edad, y no como una verdadera opción productiva. También falta la capacitación a los productores, así como la falta de programas de estímulo de cualquier tipo a esta actividad (Hernández *et al.*, 2012) Otro problema es la falta de terrenos donde criar esta especie, la cual es sacada a pastorear en praderas periféricas a caminos y cultivos (Escareño-Sánchez *et al.*, 2011), ocasionando en la mayoría de las ocasiones sobrepastoreo (López, 2013), además de que únicamente se suplementa la alimentación de los animales con maíz y sal mineral. Es común que no existan precios fijados en el mercado local, debido a la presencia de intermediarios, quienes compran a bajos precios los animales a los productores, y posteriormente los distribuyen a la industria, llevándose la mayor parte de las ganancias en lugar de los productores (Aréchiga *et al.*, 2008).

2.1.2. Situación Actual

Actualmente en México, el inventario nacional de caprinos está cerca de los 8,7 millones de cabezas, que producen 167.000 toneladas de leche (1,1% producción mundial) y 48.000 toneladas de carne (0,89% producción mundial). Los principales estados donde se concentra la producción caprina son Puebla,

Oaxaca, San Luis Potosí, Guerrero, Coahuila, Zacatecas, Guanajuato y Michoacán (Andrade-Montemayor, 2017). La cría y producción de cabras es todavía hoy una actividad principalmente de tipo familiar, siendo alrededor de trescientas mil familias las que dedican a la caprinocultura como su actividad principal. A pesar de que existe un buen número de productores, la producción nacional de carne y leche de caprino ha mostrado una tendencia negativa en los últimos años (Guerrero-Cruz, 2010).

Se han diseñado diversas estrategias para lograr un aumento en la eficiencia de los sistemas de producción caprina, siendo los más destacados: El mejoramiento del monitoreo de la calidad de la leche y la carne obtenida; El empleo de la inseminación artificial y demás tecnologías reproductivas; Un adecuado programa de sanidad preventiva; y la comercialización de productos derivados de las cabras (Aréchiga *et al.*, 2008). Adicionalmente, Guerrero-Cruz (2010) menciona que uno de los problemas es que no se tiene una perspectiva de la caprinocultura como un negocio rentable. Se describe que los productos caprinos tienen en general alto valor al llegar al consumidor final, sin embargo, esto no se ve reflejado en los ingresos de los productores primarios.

Con base a lo anterior, se sugiere que una forma de promover el desarrollo de la ganadería caprina es fomentar la participación de los productores primarios en la cadena de valor agregado, es decir, que ellos mismos se integren al sector secundario y terciario, dando de esta manera un impulso a la caprinocultura. (Escareño-Sánchez *et al.*, 2011; Hernández *et al.*, 2012). Un ejemplo de esto se ve en la producción de leche, la cual es una actividad importante para los ganaderos de la Comarca Lagunera, pues ofrece estabilidad laboral, dando ingresos de 4.7 salarios mínimos diarios. Debido a que existe una adecuada demanda de productos derivados de la leche de cabra, se plantea que una inserción de los ganaderos a la cadena de producción impulsaría una

producción de leche caprina más productiva y eficaz (Escareño-Sánchez *et al.*, 2011).

Otra propuesta que se menciona es la de conservar la genética de los animales criollos, e implementar un plan de mejoramiento genético basado en selección artificial, y no por cruzamientos (Escareño-Sánchez *et al.*, 2011). Esto tiene como antecedente el hecho que, durante los años 90, se repartieron ejemplares caprinos de razas mediante el programa PROGRAM a los productores, que, en lugar de mejorar la genética local, produjo un cruzamiento sin control por parte de los productores (López, 2013).

2.1.3. Razas caprinas empleadas en México

Existen alrededor de 60 razas de caprino en el mundo, clasificándose de acuerdo a su fin zootécnico, los cuales son producción de carne, leche, doble propósito (carne y leche), y productoras de pelo. En México, las principales razas de cabras son: Alpina, Saanen, Toggenburg, Boer, Murciana granadina y Nubia (Cuadro 1). También hay presencia de cabras criollas, que tienen la genética de las cabras originarias de la conquista española (Ávalos-Castro y Chávez-Ruíz, 2008).

Cuadro 1. Razas caprinas presentes en México

Alpina	
Originaria de Suiza. Excelentes productoras de leche. El color puede variar desde el blanco puro hasta los tonos de beige, gris y marrón a negro. Los machos cabríos pesan unos 77 kg con una altura de 85 a 100 cm a la cruz. Las hembras tienen aproximadamente 61 kg de peso y 75 cm a la cruz. Las orejas son erectas y el pelo es corto. Están adaptadas a la mayoría de los climas.	 <p data-bbox="1096 1766 1424 1841">Figura 4: Cabra Alpina Fuente propia</p>

Saenen

Originaria del valle Saenen, Suiza, Excelente productora de leche con un contenido medio de grasa butírica. Tiene una complexión mediana a grande con un peso de alrededor de 68 kg y una altura de 75 cm a la cruz. Los machos adultos pesan 80 a 91 kg y miden 90 cm a la cruz. Es de pelo corto y color blanco o crema claro. No tiene cuernos. Esta es una de las razas de cabras lecheras con mayor distribución en el mundo.



Figura 5: Cabra Saanen
Fuente propia

Toggenburg

Originaria del valle de Toggenburg, Suiza. Es la raza lechera suiza más antigua conocida. Es de tamaño mediano y ligeramente más pequeña que otras razas suizas. La hembra pesa al menos 54 kg y mide al menos 68 cm de altura a la cruz, mientras que el macho puede pesar más de 91 kg y medir 83 cm de altura a la cruz. El pelo es corto y el color es sólido desde el pardo claro al chocolate oscuro. Las orejas son erectas y se inclinan hacia adelante. Tienen rayas blancas en la cara. Se desempeñan mejor en ambientes más fríos y producen grandes cantidades de leche con un contenido promedio de grasa butírica.



Figura 6: Cabra Toggenburg
Fuente propia

Boer

Es una raza sudafricana especializada en la producción de carne. Se caracteriza por una alta tasa de crecimiento, un buen rendimiento en los canales y una alta fertilidad. Son cabras grandes; los machos adultos pesan alrededor de 110 y 135 kg y las hembras entre 90 y 100 kg. Los machos alcanzan la pubertad a los 6 meses y las hembras entre los 10 y 12 meses



Figura 7: Cabras Boer
Fuente propia

Murciana granadina

Es una raza proveniente del sureste de España. Son animales pequeños con orejas erectas grandes, generalmente sin cuernos, con pelo negro o caoba y una barba muy característica. Se adaptan muy bien a diferentes ambientes, en especial climas cálidos y secos; en sistemas de pastoreo pueden caminar largas distancias sobre terrenos difíciles. Pueden producir hasta 2 L de leche diarios y de 400 a 500 L de leche por año, con un contenido de grasa de 4.5 a 5.3% y 3.4% de proteína. Dado que los nacimientos triples son comunes, se considera que estas cabras tienen una alta tasa de fertilidad.



Figura 8: Cabra Murciana

Obtenido de: Foro Agro-Ganadero.
<http://axoncomunicacion.net/news/new/IdNew/316/Option/3>

Nubia

Es una raza multiuso usada para carne, leche y cuero. Aunque no es una gran productora de leche, su leche contiene altos niveles de grasa. Esta raza tiene una temporada reproductiva más larga que las razas suizas. La cabra nubia se ha utilizado para mejorar los programas de carne y leche, especialmente en países tropicales debido a su idoneidad para ambientes cálidos. Esta es una raza lechera grande y elegante, con orejas largas y caídas. Puede poseer cuernos. Siempre es de pelo corto. El macho pesa al menos 80 kg, y una hembra adulta pesa alrededor de 61 kg.



Figura 9: Cabras Nubia

Fuente propia

Fuentes: Gurung y Solaiman, (2010); Ávalos-Castro y Chávez-Ruíz, (2008).

2.2. Fisiología reproductiva de la cabra

2.2.1. El ciclo estral en la cabra

De acuerdo a Fatet *et al.* (2011), el ciclo estral “consiste en todos los cambios morfológicos y fisiológicos en los ovarios y el tracto genital que conducen a la expresión del estro, la ovulación y la preparación del tracto genital para la cópula, la fertilización y la implantación de embriones”. Al ser la cabra poliéstrica, durante la estación reproductiva, las hembras presentan varios ciclos estrales sucesivamente. La duración típica de un ciclo estral para las razas lecheras europeas es de veintiún días, aunque puede haber ciclos cortos (8 días) y largos (39 días) (Fatet *et al.*, 2011; Smith y Sherman, 2009).

La frecuencia relativamente alta de ciclos cortos (ciclos de 5 a 7 días) es característica de las cabras, especialmente en primíparas, además que, durante los periodos de transición de la temporada reproductiva, pueden ocurrir ciclos de duración irregular, no siempre acompañados por manifestación del estro. Esta proporción puede ser modulada por factores ambientales como el fotoperíodo y la nutrición. Los ciclos cortos también son comunes después de un aborto inducido por prostaglandinas y se asocian con oleadas preovulatorias de LH retardadas y de magnitud reducida. Se ha observado que la aplicación de corticosteroides sintéticos prolonga la duración del ciclo, debido a una prolongación de la función lútea (Fatet *et al.*, 2011; Smith y Sherman, 2009).

Durante el ciclo estral, los ovarios experimentan una serie de cambios morfológicos, bioquímicos y fisiológicos que conducen a la ovulación. Estos cambios cíclicos en las gónadas se conocen como el ciclo ovárico, el cual puede definirse como el periodo que hay entre dos ovulaciones consecutivas (Klein, 2013). El ciclo ovárico comienza con el crecimiento folicular, el cual evoluciona de forma similar a una onda a lo largo del ciclo. Una onda folicular se caracteriza por

la secuencia de tres eventos dependientes de gonadotropina en el crecimiento folicular: reclutamiento, selección y dominancia (León-Velasco *et al.*, 2016).

La cabra presenta comúnmente entre tres y cinco olas de desarrollo folicular durante el ciclo estral con un diámetro folicular en la ovulación generalmente de 7 a 8 mm (Smith y Sherman, 2009). La última ola proporciona los folículos ovulatorios. Cuando se producen ovulaciones dobles los folículos derivan de la misma onda, pero en algunos casos se derivan de dos ondas foliculares consecutivas (Fatet *et al.*, 2011). La cantidad de óvulos es diferente entre hembras que están en la pubertad, donde por lo general se produce un solo óvulo, mientras que en adultas las ovulaciones múltiples son frecuentes. El ciclo ovárico se divide en dos fases: la fase folicular y la fase lútea (Klein, 2013).

2.2.1.1. Fase Folicular

La fase folicular es relativamente corta (3-4 días) y corresponde a la onda que proporciona el folículo ovulatorio e implica la maduración de los folículos dependientes de GnRH hasta la ovulación. Se divide en dos etapas: el proestro y el estro. Durante el proestro, la FSH y la LH secretada por la hipófisis estimula el crecimiento folicular, siendo más importante en esta etapa la FSH (Klein, 2013). Durante el reclutamiento, los folículos antrales de 2 a 3 mm de diámetro comienzan su crecimiento terminal. Solo 2 o 3 de estos folículos alcanzan el diámetro de 4 mm y se seleccionan para ingresar a la fase de dominancia. Bajo la influencia de la LH, alcanzan la etapa preovulatoria (6–9 mm), mientras que los folículos subordinados se degeneran (atresia folicular) (Fatet *et al.*, 2011).

Posteriormente le sigue el estro. Este dura aproximadamente 24 horas al inicio de la pubertad, pero puede durar de dos a tres días en la etapa adulta. Durante el estro existe un aumento en la secreción de estradiol-17 e inhibina, por parte de las células de la teca y la granulosa de los folículos maduros (9 a 12 mm)

(Smith y Sherman, 2009; Klein, 2013). El estradiol produce el comportamiento estral y actúa como un retrocontrol positivo de GnRH. El consiguiente aumento de la secreción de GnRH estimula el aumento de LH preovulatorio, pero no de FSH, la cual tiene un retrocontrol negativo por parte de la inhibina (Klein, 2013). Estos cambios inducen la ovulación 20-26 h más tarde, cerca del final del estro, y posteriormente la luteinización de las células foliculares (Fatet *et al.*, 2011).

Una cabra en estro se puede identificar si existe un macho maduro sexualmente. Normalmente la cabra camina sin descanso a lo largo del perímetro de su recinto, buscando la presencia cercana del macho. La vulva se congestiona debido a los altos niveles de estrógenos, y la cola se menea vigorosamente, posiblemente para enviar feromonas que pudieran atraer un macho. Otros signos de estro incluyen mayor frecuencia de micción, disminución del apetito y disminución de la producción de leche, ocasionada por una disminución del flujo de la arteria mamaria (Burvenich, 1980). La cabra normalmente se muestra receptiva cuando el macho intenta montarla. El flujo vaginal al comienzo del estro es acuoso, claro e incoloro. Se vuelve progresivamente viscoso y más blanco hacia el final del estro. Este moco cervical juega un papel central en la función cervical al controlar y dirigir la migración de los espermatozoides (Smith y Sherman, 2009).

Durante esta etapa, también hay cambios en el epitelio del oviducto debido al aumento de los niveles de estradiol. En las fimbrias y el ámpula, se puede observar que el epitelio está ampliamente ciliado, extendiéndose estos cilios sobre el ápice de las células que no están ciliadas, siendo más notoria esta característica en la región del ámpula. En la unión del ámpula y el istmo, la cantidad de células ciliadas es menor, mientras que en el istmo y la unión uterotubal, este cambio en la conformación del epitelio a lo largo del ciclo estral es menos perceptible (Abe *et al.*, 1993). Cabe añadir, que las células no ciliadas producen y liberan glicoproteínas asociadas al mantenimiento de los gametos

reproductivos, y durante la etapa folicular presentan un mayor tamaño, con un aparato de Golgi y retículo endoplásmico rugoso bien desarrollado a lo largo del citoplasma celular (Abe *et al.*, 1999). También se ha observado, que en el oviducto hay una mayor expresión de acuaporinas (AQP-1 AQP-4 y AQP-5) durante la fase folicular, estando estas relacionadas con un aumento de los procesos secretorios y el aumento de la permeabilidad de los fluidos extracelulares en la luz del oviducto (Arrighi *et al.*, 2016).

2.2.1.2. Fase Lútea

La fase lútea, la cual tiene una duración de 17 días, comienza a partir del momento de la ovulación. Se divide en metaestro y diestro. Durante el metaestro, el resto del folículo (cuerpo hemorrágico), responde a las secreciones de LH, comenzando el proceso de luteinización (Fatet *et al.*, 2011). Aproximadamente 5 días después del inicio del estro, comienza el diestro, donde las células de la granulosa y la teca se transforman en células lúteas grandes y pequeñas, respectivamente. Durante el proceso de la luteinización, no hay proliferación celular, sino que hay un proceso de hipertrofia por parte de las células lúteas grandes y una mayor expresión del VEGF (Factor de crecimiento vascular endotelial) mediada por la acción de LH (Stocco *et al.*, 2007). Hormonalmente, el cuerpo lúteo empieza a expresar una mayor cantidad de proteínas involucradas en la recepción, síntesis y transporte de colesterol, así como un cambio en la expresión de las enzimas esteroideogénicas, donde prácticamente se corta gran parte de la cascada enzimática de la esteroideogénesis, ocasionando que se cambie la producción de estradiol-17 por progesterona, causando que la concentración sanguínea de la esta última aumente y permanezca en un nivel alto (> 1 ng / ml) durante 16 días (Stocco *et al.*, 2007; Klein, 2013). Durante esta etapa, el crecimiento folicular continúa en forma de onda, pero los niveles de progesterona inhiben la ovulación al tener una retroalimentación negativa a GnRH (Fatet *et al.*, 2011).

Por otra parte, el epitelio del oviducto cambia de nuevo por el aumento de los niveles de progesterona. En las fimbrias y el ámpula, el epitelio no ciliado predomina, estando las pocas células ciliadas parcialmente ocultas, siendo su distribución un tanto irregular. En la unión del ámpula y el istmo, se observa un epitelio similar a las regiones anteriores, aunque un poco más uniforme en su distribución (Abe *et al.*, 1993). En cuanto a las células no ciliadas, la diferencia de la fase folicular con la fase lútea es más notoria en la región del ámpula y las fimbrias, habiendo reducido su tamaño e involucionado el aparato de Golgi y el retículo endoplásmico rugoso, además de que las células poseen un mayor número de protrusiones citoplasmáticas (Abe *et al.*, 1999).

En caso de no producirse la gestación, la ausencia de un embrión durante los días 15 al 18 del ciclo estral induce un aumento de la oxitocina luteal, favoreciendo la síntesis de PGF₂α, principalmente en las células endometriales epiteliales. Esta producción de PGF₂α ocasiona un cese del flujo sanguíneo del cuerpo lúteo, lo cual produce una luteólisis funcional (cese de secreción de P4) y estructural (apoptosis del CL) (Balara *et al.*, 2017). La disminución de las concentraciones plasmáticas de progesterona elimina gradualmente la inhibición de la secreción de hormonas gonadotrópicas, dando lugar a una nueva fase folicular, reiniciando el ciclo estral. Por el contrario, la presencia de un embrión competente, promueve el inicio de la síntesis de IFNτ, favoreciendo la presentación de los efectos luteotrópicos y el establecimiento de la gestación (Lenis *et al.*, 2010).

2.2.2. Estacionalidad reproductiva en la cabra

Una particularidad que tiene el ciclo reproductivo de la cabra es la estacionalidad, la cual está regulada por la secreción de melatonina, cuya producción está estrechamente relacionada las variaciones de luz solar a lo largo del año. En el caso los caprinos, se les considera una especie estacional de días

cortos, es decir, durante las estaciones de otoño e invierno (Gatica *et al.*, 2012). El hecho de que su actividad sexual sea estacional afecta la distribución de su producción a lo largo del año y esto es un problema tanto en los sistemas de producción láctea como en los de carne que intentan tener una producción constante durante todo el año (Fatet *et al.*, 2011).

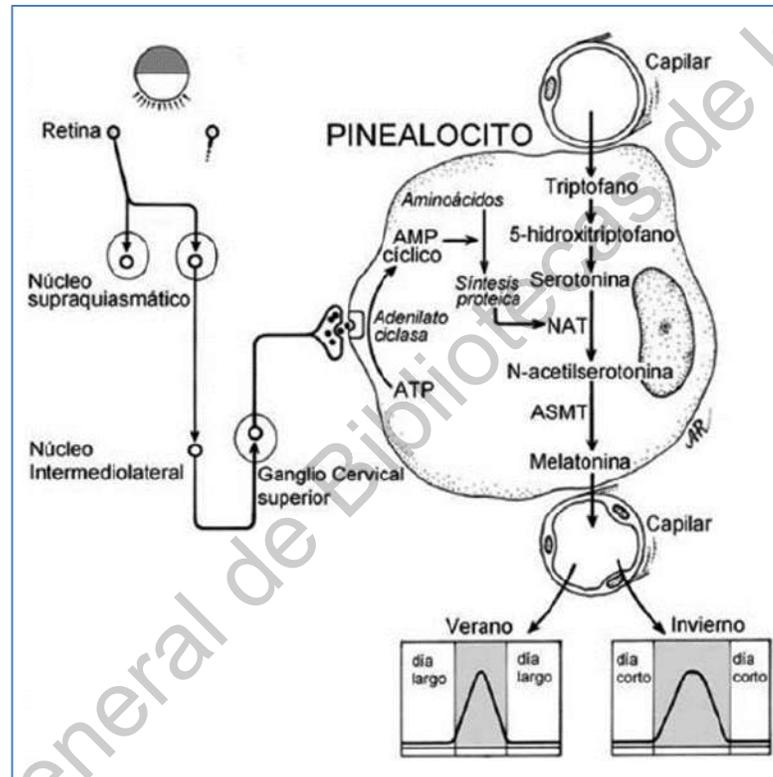


Figura 10: Diagrama de la ruta fotoneuroendocrina y la síntesis de melatonina en la glándula pineal.

Fuente: Bustos-Obregón y Torres-Díaz (2012).

De acuerdo a Bustos-Obregón y Torres-Díaz (2012), los ojos actúan como fotorreceptores, ya que miden la cantidad de luz que hay en el medio externo. Esta información es transmitida por el nervio óptico a través de células ganglionares, las cuales contienen un fotorreceptor llamado melanoxina. La señal nerviosa llega

al núcleo supraquiasmático, para posteriormente dirigirse hacia los pinealocitos a través de la siguiente ruta:

Núcleo supraquiasmático → Tronco cerebral → Médula espinal → Sistema simpático → Ganglios cervicales superiores → Glándula pineal.

En la Figura 10 se puede apreciar de manera más gráfica la ruta fotoneuroendocrina. La liberación de noradrenalina a los pinealocitos por parte de las neuronas simpáticas al inicio de cada noche regula la elevación en la producción y liberación de melatonina a la circulación nerviosa y sistémica. Las secreciones rítmicas circadianas de la melatonina por la glándula pineal durante la oscuridad, influyen en la generación de pulsos de GnRH y en el circuito de retroalimentación hipotalámico-pituitario-gonadal (Fatet *et al.*, 2011).

En la temporada no reproductiva, se ve reducida la secreción de melatonina debido a los días largos. Durante esta época hay una disminución en la frecuencia de secreción pulsátil de GnRH, con 1 a 2 pulsos en un periodo de 12h. La evidencia apunta a que esta reducción en la secreción de la melatonina incrementa la sensibilidad del hipotálamo a la retroalimentación negativa de estradiol, inhibiendo la secreción de GnRH (Migaud *et al.*, 2016). Por otra parte, el aumento de la secreción de melatonina durante los días cortos estimula un aumento en la frecuencia de los pulsos de GnRH, además de sensibilizar al hipotálamo a la retroalimentación positiva a estradiol, reanudando de esta forma la actividad ovárica y estral (Arroyo-Ledezma *et al.*, 2006).

El mecanismo por el cual la melatonina actúa como regulador de GnRH no está del todo comprendido. Sin embargo, los resultados experimentales indican que la melatonina se une a receptores neuronales del hipotálamo mediobasal, los cuales expresan un par de enzimas, la Yodotironina deiodinasa tipo 2 (DIO2) y Yodotironina deiodinasa tipo 3 (DIO3). En el caso específico de cabras (al

contrario que otras especies de días largos), durante los días cortos, hay una sobreexpresión de DIO2, al contrario que DOI3, la cual es subexpresada. Esto provoca un aumento de Tiroxina (T3) a nivel local (Nakao *et al.*, 2008). Aunque se desconoce el mecanismo por el cual T3 actúa sobre GnRH, una hipótesis plantea que puede haber una activación indirecta a través de las neuronas KNDy, liberadoras de kisspeptina. Otra hipótesis plantea que puede haber una plasticidad morfológica que permita la reorganización de los axones neuronales (Migaud *et al.*, 2016)

Esta temporada reproductiva de manera general abarca de los meses de agosto hasta marzo en el hemisferio norte, de los cuales los meses de mayor fertilidad empiezan en octubre hasta diciembre. Es importante mencionar que, además del fotoperiodo, el inicio y la duración de la temporada reproductiva en las cabras depende de varios factores: el clima, la raza, la etapa fisiológica, la presencia de un macho y el manejo reproductivo (Smith y Sherman, 2009).

En las regiones tropicales, la variación entre las horas de luz y oscuridad es muy poca, por lo que la temporada reproductiva es más amplia, habiendo casos de cabras que pueden reproducirse todo el año, tal y como describen Escareño-Sánchez *et al.* (2011), donde especifican que, en el norte de México, existe una estacionalidad reproductiva pronunciada con una visible disminución de la fertilidad, aunque sin anestro. Por lo general en esta región la mayoría de los productores (90 %) aparean a sus animales de junio a septiembre. En estas zonas geográficas influye más la disponibilidad de alimento a lo largo del año, que las variaciones de la duración del día (Smith y Sherman, 2009).

En cambio, en las latitudes más altas (>35°), el comportamiento reproductivo de los animales se divide en una estación reproductiva, donde se da de manera espontánea la actividad ovárica cíclica, y un periodo de anestro profundo, donde no existe actividad ovárica. Durante los periodos de transición, se

pueden observar óvulos anovulatorios u ovulaciones sin manifestación de estro (Smith y Sherman, 2009; Fatet *et al.*, 2011).

La secuencia fotoperiódica decreciente también estimula la actividad reproductora del macho. Aunque la mayoría se aparearán en cualquier momento del año, se han observado reducciones de la libido y la calidad del semen al usarlos fuera de la estación reproductiva. Los machos alcanzan el punto álgido de su actividad reproductora a finales de verano y en otoño (Intervet, 2007).

2.2.3. Fisiología de la gestación en la cabra

La gestación es una condición en la cual una hembra se encuentra desarrollando un nuevo individuo en su útero. El intervalo del período gestacional abarca desde el momento de la fertilización del óvulo hasta el momento del parto. En cabras la duración de la gestación en promedio es de 5 meses, con un intervalo de 147 a 155 días (Pugh, 2002; Frandson *et al.*, 2009).

La fertilización ocurre en la ampolla del oviducto unas pocas horas después de la ovulación. Ya que el apareamiento ocurre momentos antes de la ovulación, los espermatozoides se retienen en el cuello uterino donde las condiciones de conservación son buenas (hasta 3 días) y se liberan de forma continua en el útero donde la supervivencia se limita a aproximadamente 30 h, con el fin de fertilizar al óvulo. El óvulo fertilizado migra por el oviducto mientras experimenta divisiones sucesivas. El embrión llega al útero 4 a 5 días después del estro en una etapa temprana de la mórula. La migración del óvulo es el resultado de movimientos combinados de células epiteliales ciliadas en el oviducto, actividad peristáltica de las capas musculares y una corriente líquida desde el infundíbulo hasta el útero. La implantación del embrión se observa 18 a 22 días después del inicio del estro (Fatet *et al.*, 2011).

2.2.3.1. Reconocimiento materno de la gestación

El trofotodermo de los embriones de los rumiantes segrega de forma paracrina interferones tau (IFN τ) como la señal de reconocimiento del embarazo. La secreción de IFN τ en los días 14-17 de la gestación en las cabras es fundamental para el reconocimiento de la gestación. El IFN τ actúa sobre el epitelio uterino para suprimir la expresión de los genes del receptor de estrógeno y del receptor de oxitocina, que previene la liberación uterina de pulsos luteolíticos de prostaglandina F 2α (PGF). De esta manera no hay regresión del cuerpo lúteo (CL). La progesterona del CL estimula y mantiene las funciones endometriales que son permisivas para el desarrollo embrionario temprano, la implantación, la placentación y el desarrollo fetal-placentario exitoso (Bazer *et al.*, 1996).

2.2.3.2. Mantenimiento endocrino de la gestación

Mientras que, en las ovejas, la placenta se convierte en la principal fuente de progesterona después de 2 meses de gestación, en las cabras, la presencia de un cuerpo lúteo funcional es indispensable durante la gestación, pues la placenta solo proporciona del 8 al 11% de los niveles de progesterona plasmáticos (Ford *et al.*, 1998).

Durante la gestación, la progesterona cumple con diversas funciones. Inicialmente, el desarrollo embrionario está influenciado por los niveles de progesterona producidos por el cuerpo lúteo (CL) que controlan el ambiente del oviducto y del útero. La secreción de progesterona por parte del CL estimula la actividad secretoria de las glándulas endometriales que producen sustancias encargadas de mantener el embrión hasta que se formen los placentomas. Esta secreción, denominada histotrofe, es absorbida por el blastocisto y el saco vitelino y utilizado como nutriente durante la etapa previa a la formación del corioalantoides (Bartolomé, 2009).

Otras funciones de la progesterona (P4) es inhibir el eje hipotálamo-hipófisis-gonadal, cesando de esta forma la actividad ovárica, y con ello inhibiendo la ovulación. En las fases tardías de la gestación la P4 estimula el desarrollo de la glándula mamaria. Se ha descrito también que la P4 tiene efectos inmunosupresores en el útero, siendo esta función muy importante para el mantenimiento de la gestación, debido a que el feto es diferente antigénicamente a la madre. Esta inmunotolerancia permite la retención del alo-injerto fetal, evitando el rechazo de la placenta (Barrera *et al.*, 2007).

La placenta, al igual que en ovinos, es una placenta cotiledonaria, de tipo epiteliocorial (Pugh, 2002). Además de suplir de oxígeno y nutrientes al feto, la placenta funciona como órgano endocrino al producir hormonas como la relaxina o el lactógeno placentario. El Lactógeno Placentario es una hormona peptídica secretada por la placenta, cuya función es estimular el desarrollo de la glándula mamaria, la lactogénesis, la adaptación del metabolismo materno para el desarrollo fetal y la esteroidogénesis de ovarios y placenta (Bartolomé, 2009).

2.2.3.3. Proceso del parto

El parto es el acto de dar a luz a una cría, marcando el fin de la gestación. El parto se puede dividir en tres etapas. La primera etapa consiste en contracciones uterinas que gradualmente obligan al feto y a la membrana fetal a posicionarse sobre el cuello uterino. En la segunda etapa, se produce paso del feto a través del cuello uterino hacia la vagina junto con la ruptura de las membranas fetales. Hay un marcado esfuerzo al realizar las contracciones de los músculos abdominales. La combinación de contracción uterina y contracción abdominal obliga al feto a pasar a través del canal del parto. La tercera etapa del parto consiste en la expulsión de la placenta, que normalmente sigue al feto casi de inmediato (Frandsen *et al.*, 2009).

Para facilitar el parto, los músculos y los ligamentos del canal de parto se relajan poco antes de este evento. La vulva se hincha y puede haber secreción de moco. A medida que el tiempo de parto se vuelve inminente, los animales pueden sentirse inquietos, buscar reclusión y aumentar la frecuencia de los intentos de orinar. Un cambio endocrino importante durante la gestación tardía es la proporción de estrógeno a progesterona. La progesterona es alta en relación con el estrógeno durante la mayor parte de la gestación, pero esta proporción cambia durante la gestación tardía, con el aumento de estrógeno en relación con la progesterona. El estrógeno promueve el desarrollo de proteínas contráctiles en las células musculares lisas del útero y las uniones entre estas células (Frandsen *et al.*, 2009).

El proceso del parto se desencadena a través de una señal endocrina del feto. En las especies dependientes del cuerpo lúteo, como la cabra, la señal del cortisol fetal debe actuar indirectamente para inhibir la producción de progesterona por parte del cuerpo lúteo materno, que está lejos de la influencia de los factores presentes en la circulación fetal. Para ello, se produce un aumento de cortisol antes del parto en la cabra fetal. Este fenómeno es dependiente de la hipófisis fetal, la cual secreta ACTH, provocando la secreción de cortisol en la corteza suprarrenal fetal (Ford *et al.*, 1998).

El aumento de los glucocorticoides fetales afecta a la placenta y al útero materno, aumentando la producción de estrógenos en la placenta, de modo que los estrógenos plasmáticos aumentan en relación con la progesterona. Los glucocorticoides y los estrógenos actúan de forma sinérgica para promover la síntesis uterina de PGF₂ α provocando la luteólisis y la contracción del músculo liso uterino para mover al feto al canal del parto y promueve directamente la dilatación del cuello uterino. La entrada del feto en el canal de parto provoca un aumento exagerado de la secreción de oxitocina, la cual actúa directamente sobre

el músculo liso uterino, mejorando las contracciones uterinas (Frandsen *et al.*, 2009).

2.3. Manipulación del ciclo estral en caprinos

En el medio natural los caprinos presentan su actividad reproductiva durante la época de otoño-invierno, como estrategia evolutiva para asegurar el alimento de sus crías durante la primavera. Sin embargo, en las unidades de producción pecuaria esta particularidad es un problema que provoca que la disponibilidad de productos derivados de la caprinocultura sea por temporadas. Por lo que se han diseñado estrategias para inducir y/o sincronizar el ciclo estral con el fin de aumentar la eficiencia reproductiva del rebaño y así, incrementar las ganancias de los productores (Córdova-Izquierdo *et al.*, 2008).

La inducción y/o sincronización de estros son un conjunto de técnicas y protocolos cuyo propósito consiste en lograr que un alto porcentaje de las hembras de un hato presenten comportamiento estral fuera de la estación reproductiva (inducción) y de manera simultánea (sincronización). De esta manera se pueden utilizar machos mejoradores en un período más breve. Esto es particularmente útil cuando se desea realizar inseminación artificial o también para concentrar la parición a fin de intensificar su atención u obtener lotes homogéneos de crías (Raso y Bottaro, 2005). Debido a que implementar un programa de inducción/sincronización requiere una inversión económica, es importante revisar que las cabras a tratar tengan una condición nutricional adecuada, estén libres de estrés y enfermedades, así como tomar en cuenta la estación del año en la cual se aplica el tratamiento (Córdova-Izquierdo *et al.*, 2008).

Existen tanto métodos naturales (efecto macho) como artificiales (protocolos hormonales) para llevar a cabo un programa de inducción/sincronización (Raso y Bottaro, 2005). Los regímenes hormonales basados en

progestágenos, eCG (gonadotropina coriónica equina) y prostaglandinas permiten la inducción o sincronización de la ovulación y el estro durante o fuera de la temporada reproductiva (Fatet *et al.*, 2011). A continuación, se describen algunos métodos para inducir o sincronizar estros:

Efecto macho:

De acuerdo a Walkden-Brown *et al.* (1999), el efecto macho es un fenómeno donde los estímulos visuales y olfativos de los machos percibidos por las hembras induce el inicio de la actividad ovulatoria en estas. En algunos rebaños este fenómeno es empleado como técnica para inducir la actividad sexual en cabras con anovulación estacional, y consiste en la introducción de un macho sexualmente activo, a un conjunto de hembras que no han tenido contacto previo con otros machos (30 días).

En condiciones óptimas, la interacción de los machos con hembras anovulatorias inicia un ciclo de estimulación que se refuerza a sí mismo y culmina en el inicio sincrónico de la actividad reproductiva fértil. La mayoría de las cabras hembras tienen un ciclo ovárico corto de 5 a 7 días de duración luego de la introducción de los machos, seguidos de un segundo ciclo donde la ovulación es normal y, por lo tanto, la fertilidad es mayor (Redden y Thorne, 2020).

Uno de los principales factores que afectan la eficacia de la respuesta al efecto macho depende de la intensidad de la estacionalidad de las cabras hembras y machos debido a que, en razas con una estacionalidad moderada, la introducción del macho puede inducir una actividad ovárica altamente fértil en las cabras anovulatorias durante todo el año, e inclusive, se ha observado que pueden adelantar la pubertad en ovinos, tal y como lo describe Álvarez y Andrade (2008), quienes observaron que en borregas pelibuey (una raza poco estacional) nacidas en otoño el efecto macho puede adelantar el inicio de la pubertad alrededor de 27 días durante el periodo no estacional (primavera). En contraste,

cuando se usa solo en razas altamente estacionales, el efecto masculino solo puede adelantar el inicio de la temporada reproductiva unas pocas semanas (Walkden-Brown *et al.*, 1999)

Progestágenos:

Otra estrategia para inducir y/o sincronizar estros es la aplicación de progesterona o progestágenos mediante dispositivos intravaginales. Entre los dispositivos más comunes está la esponja vaginal impregnada con acetato de fluorogestona (Chronogest®, 20 a 45 mg por unidad), El CIDR®, que contiene 300 mg de progesterona y la esponjas Repromap®, que contienen 60 mg de medroxiprogesterona. (Redden y Thorne, 2020; Córdova-Izquierdo *et al.*, 2008). La función de estos dispositivos es la de actuar como un cuerpo lúteo, inhibiendo la liberación de GnRH. Estos dispositivos pueden ser aplicados mediante un tratamiento largo (18 a 21 días) o uno corto (11 días). Una vez retirado el dispositivo, se le permite a la hipófisis liberar gonadotrofinas, por lo que el estro aparece en aproximadamente de 24 a 56 horas (Córdova-Izquierdo *et al.*, 2008).

Se suele administrar prostaglandinas y gonadotrofinas exógenas al terminar el protocolo. Si bien suele haber variación entre tratamientos, uno de los más comunes es la aplicación de un análogo de PGF₂α (50 g de cloprostenol) y 250–600 UI de eCG 48 horas antes del retiro del dispositivo intravaginal. La inseminación artificial se lleva a cabo 43–45 h después de retirar el dispositivo, y la monta natural a los dos días del retiro. Este protocolo se puede utilizar en cualquier momento del año, independientemente de la intensidad de la estacionalidad (Fatet *et al.*, 2011).

Prostaglandinas:

Durante la temporada reproductiva regular, la aplicación intramuscular de prostaglandina F₂ alfa (2.5 mg) o la cloprostenol (62 mcg) durante la fase lútea del ciclo normalmente inducen el estro en aproximadamente 48 horas. Si no se sabe

en qué etapa del ciclo se encuentra la cabra, las inyecciones pareadas de prostaglandinas con diez días de diferencia aumentan la probabilidad de respuesta a la prostaglandina en el momento de la segunda inyección. Este método no funciona en animales anéstricos, y en el periodo de transición tendría una respuesta errática (Smith y Sherman, 2009).

Manipulación del fotoperiodo:

Los tratamientos fotoperiódicos son una serie de protocolos donde el animal se expone a la luz para después ser tratado con melatonina. Estos protocolos han sido efectivos para inducir el estro en las hembras, así como para aumentar el tamaño testicular y la actividad sexual (número de montajes y eyaculaciones) en los machos (Redden y Thorne, 2020). El programa de inducción puede dividirse en dos etapas: Una etapa luminosa, y otra oscura. En la etapa luminosa se exponen a los animales a períodos prolongados de luz (16 h por día) que pueden durar 45 días, 60 días o hasta 12 semanas por etapa, dependiendo del protocolo consultado, y luego se exponen a períodos cortos de luz (8 h por día), para ello colocando un implante con melatonina (18 mg), el cual simula los días cortos. Generalmente la etapa oscura dura lo mismo que la luminosa. Una vez concluida estas dos etapas los animales empezaran a ciclar normalmente (Delgadillo, 2005; Gatica *et al.*, 2012; Smith y Sherman, 2009; Redden y Thorne, 2020).

Aunque se suele insertar un implante de melatonina subcutáneo para reemplazar la exposición de días cortos, el tratamiento puede llevarse con solo la manipulación de las horas-Luz. Sin embargo, el uso del implante de melatonina mejora la fertilidad de los animales tratados (Redden y Thorne, 2020). También puede realizarse este tipo de tratamientos combinando el efecto macho (también tratado con luz), mejorando la tasa de éxito (Smith y Sherman, 2009; Gatica *et al.*, 2012).

2.4. Efecto de la nutrición en la eficiencia reproductiva

En las regiones tropicales y subtropicales localizadas entre las latitudes 35° S y 35° N, la capacidad reproductiva de la cabra no solo se ve afectada por la estacionalidad, sino por la disponibilidad de alimento (Lenz-Souza *et al.*, 2014). La nutrición es un poderoso regulador de la función reproductiva, debido a que tiene un efecto positivo sobre la tasa de ovulación, la producción de esperma y la fertilidad durante las transiciones puberal y postparto. La evidencia experimental en rumiantes indica que la deficiencia de energía puede inhibir la función reproductiva en varias etapas del ciclo estral. Esta deficiencia de alimento suele ser común en estas regiones, pues hay temporadas de sequía, donde el alimento disponible en los agostaderos es insuficiente para cubrir las necesidades nutricionales de los animales, ya sea en su etapa reproductiva o gestacional (Walkden-Brown *et al.*, 1999; Lenz-Souza *et al.*, 2014).

2.4.1. Afectaciones nutricionales sobre la cabra en edad reproductiva

El impacto que la nutrición tiene sobre el rendimiento reproductivo puede dividirse entre efectos agudos y estáticos: Los efectos agudos son efectos dinámicos, de corto tiempo, en los cuáles no hay un cambio en la condición corporal del animal, aunque sí una elevación de ciertos metabolitos nutricionales. Los efectos estáticos se correlacionan comúnmente con los cambios de peso y condición corporal (Lenz-Souza *et al.*, 2014).

2.4.1.1. Efectos agudos de la nutrición

El suministro súbito de un excedente de nutrientes en la alimentación de los caprinos tiene un efecto positivo sobre su capacidad reproductiva. Esto es debido al aumento de ciertos metabolitos en la sangre, los cuales por sí solos o en conjunto, mejoran la respuesta reproductiva de los animales a nivel ovárico e

incluso, de manera indirecta, a nivel hormonal (Zabuli *et al.*, 2010). Uno de los metabolitos más importante es la glucosa, pues es el recurso energético más utilizado por las células.

Un aumento de la glucosa en sangre provoca que los niveles séricos de insulina se incrementen. Se ha observado que la insulina por sí sola aumenta la producción de estradiol y progesterona, además de aumentar la probabilidad de que haya partos gemelares (Suguna *et al.*, 2009). El conjunto de estos dos elementos modula la función folicular, provocando que aumenten el número de folículos ovulatorios y la tasa de ovulación, así como un aumento en la frecuencia de la secreción de pulsátil LH y FSH (Lenz-Souza *et al.*, 2014; Zabuli *et al.*, 2010).

El aumento de glucosa e insulina en sangre también parece estar asociada a un aumento en la síntesis del Factor de crecimiento similar a la insulina (IGF-1), la cual es una hormona peptídica producida en diversos órganos del cuerpo, aunque el hígado es el principal sintetizador de esta hormona. Se ha observado que la IGF-1 promueve la proliferación de las células de la granulosa, además de permitir una mayor expresión de receptores de FSH y regular la diferenciación celular (Lenz-Souza *et al.*, 2014). En otros mamíferos se sabe que IGF-1 estimula la actividad mitogénica y esteroideogénica de las células de la teca y de la granulosa amplificando los efectos endocrinos de la FSH y permitiendo una rápida regulación de la producción de estradiol (Souza *et al.*, 2011).

Se han realizado diversos experimentos donde se evidencia los efectos a corto plazo que puede tener una suplementación alimenticia. Zabuli *et al.*, (2010) observó que una suplementación intermitente (4 días/suplementación – 2 días/mantenimiento – 4 días/suplementación) de una dieta alta de energía a partir del día 12 del ciclo estral promueve una mayor tasa de ovulación y un aumento en el número de folículos ovulatorios a partir de la segunda oleada folicular. Se piensa que el mecanismo por el cual se mejoró la eficiencia reproductiva fue

únicamente intrafolicular, pues con este tratamiento no se alteró el perfil hormonal de Estradiol, FSH, ni Progesterona.

En cambio, Haruna *et al.*, (2009) observaron que en cabras suplementadas con alimento alto en energía durante 7 días antes de la fase folicular, había un incremento de pulsos de LH y de secreciones ondulares de FSH, comparado con animales suplementados con una dieta de mantenimiento, aunque no se observó un incremento en la tasa de ovulación. Esto puede deberse a que los niveles de glucosa e insulina solo se mantuvieron elevados por un periodo de tres a cuatro días, para después volver a sus niveles normales, a pesar de que la suplementación continúa por tres días más. Por lo que se sugiere que una suplementación continua de 7 días mejora el desempeño reproductivo de manera cualitativa, y no cuantitativa, puesto que el incremento de insulina, aminoácidos y glucosa estimula la producción de hormonas gonadotrópicas.

Por otra parte, Arikan *et al.*, (2010) determinaron que la adición de alta dosis de ácidos grasos y colesterol estimulan por sí solos la producción de progesterona en las células esteroidogénicas del cuerpo lúteo, por lo que representaría una alternativa interesante la adición de estos componentes a la dieta animal con el fin de mejorar la respuesta del cuerpo lúteo.

2.4.1.2. Efectos estáticos de la nutrición

El estado nutricional de un animal puede determinarse mediante la medición de su condición corporal (Figura 11), el cual mide el nivel de reservas corporales (en forma de tejido adiposo) que tiene un animal. En diversos estudios se ha observado que existe una correlación entre la condición corporal y la respuesta reproductiva.

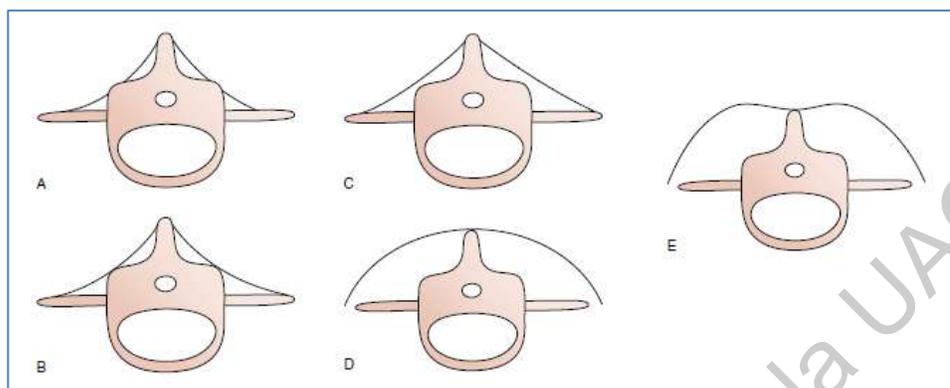


Figura 11: Escala de empleada para medir condición corporal (1-5).

Fuente: Pugh, (2002). *Sheep and Goat Medicine*.

Interpretación (Pugh, 2002):

- A Animal muy emaciado: Crestas y costillas espinales visibles,
1 punto flancos huecos, sin recubrimiento de grasa, con poco o ningún músculo sobre los procesos lumbares transversos.
- B Animal emaciado: La cresta espinal es visible; Hay algo de grasa
2 puntos en las costillas, pero el hueso es palpable; La mitad de los procesos lumbares transversos es visible.
- C Animal normal: La cresta espinal y las costillas son apenas
3 puntos visibles, los procesos transversos son apenas palpables, grasa esternal gruesa
- D Animal con sobrepeso: Procesos espinales y costillas no visibles,
4 puntos la grasa esternal es prominente.
- E Animal obeso: Cresta espinal debajo de la capa de grasa. La
5 puntos grasa cubre las costillas y el esternón.

Se ha observado que, en vacas lecheras bajo condiciones de pastoreo, una baja condición corporal está relacionada con un retraso en la reanudación de la actividad ovulatoria. Esto parece estar relacionado con la cantidad de Ácidos grasos no esterificados (NEFA) presentes en la sangre, los cuales se incrementan cuando hay lipólisis del tejido adiposo, producto de un balance energético negativo. Se sabe que los NEFA tienen un papel directo sobre las neuronas

hipotalámicas encargadas del control energético, por lo que se sugiere que estos metabolitos pueden inhibir parcialmente ciertos mecanismos relacionados con la liberación de GnRH. Este balance negativo suele ser más marcado y prolongado en animales con una baja condición corporal (Giuliodori *et al.*, (2011)

En otro estudio, Al-Azraqi, (2006) observó que, en animales bajo ayuno durante un periodo prolongado, hay una supresión de la producción de hormonas esteroideas, en especial progesterona, a lo largo del ciclo estral. Adicionalmente, hubo una reducción de niveles plasmáticos de leptina, puesto que las reservas de tejido adiposo disminuyeron durante el ayuno. La leptina es otra de las hormonas involucradas en la función reproductiva y asociada a los puntos de condición corporal. Esta hormona se sintetiza en los adipocitos y tiene funciones en la regulación del peso corporal, metabólica y reproductiva del organismo (Walkden-Brown *et al.*, 1999; Al-Azraqi, 2006).

Si bien los niveles de leptina suelen estar asociados a la cantidad de tejido adiposo disponible, su función en la reproducción suele ser indirecta, funcionando más como un indicador de los niveles energéticos del organismo. Se han propuesto diversos mecanismos por el cual la leptina puede influir en la liberación de GnRH, entre ellos destacan dos hipótesis: a través de las neuronas KNDy, aunque las neuronas de kisspeptina parecen contener pocos receptores de leptina. La otra posibilidad es por medio del núcleo premamilar. Las células esta área del hipotálamo expresan abundantes receptores de leptina, y tienen proyecciones tanto en las neuronas de kisspeptina como en las de GnRH (Malik *et al.*, 2019).

El estado nutricional puede también interactuar con la estacionalidad, sobre todo en las regiones cercanas al trópico. Urrutia *et al.*, (2009) observaron que en cabras criollas en el centro-norte de México, una alimentación alta en energía y proteína que mejore la condición corporal de los animales permite

aumentar la proporción de cabras que se encuentran ciclando a lo largo de la temporada no reproductiva. Otro aspecto en el cual la nutrición juega un papel importante es la respuesta al efecto macho, puesto que en animales con una nutrición adecuada se obtiene una respuesta más favorable y rápida de las hembras hacia los machos, ya que pueden inducir respuestas endocrinas rápidas (Walkden-Brown *et al.*, 1999).

Si bien la condición corporal que un animal tenga en un determinado evento es importante (pues se ha observado que animales con baja condición corporal tienen menor respuesta al efecto macho), se ha demostrado que las cabras reaccionan con mayor notoriedad a los cambios positivos o negativos que estas tengan en su estado nutricional, habiendo mayor respuesta al efecto macho en cabras que aumentaron o conservaron su peso, independientemente del peso inicial del animal, debido a que una nutrición subaguda afecta a la amplitud y frecuencia de los pulsos de LH, profundizando los efectos del anestro estacional, interfiriendo así en el desarrollo folicular del animal (Urrutia *et al.*, 2003; Vera-Ávila *et al.*, 2017).

Dicho fenómeno fue corroborado por Gallego-Calvo *et al.*, (2015), quienes observaron que cabras adultas de bajo peso y baja condición corporal (C.C), pero con una ganancia de peso positiva, presentaron una mejor respuesta ovárica y estral que cabras con un peso y C.C iniciales altos, pero con ganancia de peso negativa, además de que en las primeras puede observarse una tendencia positiva en la fertilidad y fecundidad, aunque la tasa de ovulación y la prolificidad no se vieron afectadas.

2.4.2. Afectaciones nutricionales en la gestación y desarrollo fetal de la cabra

Hay diversos estudios que comprueban que una nutrición deficiente puede provocar pérdidas gestacionales en las cabras. Por citar uno de ellos, Agredo-Palechor (2018) observó que en cabras Alpinas y Nubias que consumían solo el 50% de su ración alimenticia, presentaban una tasa de gestación del 55.4%, comparado con cabras que consumían el 100% de su ración, las cuales tenían su tasa de gestación en el 94%; Estas repercusiones en el mantenimiento de la gestación pueden estar asociadas a una falla lútea que se presenta en las cabras cuando las condiciones nutricionales no son adecuadas. Cabe añadir que estas cabras con estrés nutricional tuvieron una pérdida de puntos de IMC. Esto último puede estar relacionado con lo descrito en otro estudio, donde se señala que las cabras tienen una sensibilidad a los cambios en el consumo diario de alimento, observándose que, aunque el IMC influye por sí mismo en la tasa de gestación (60% vs 93.3%, en cabras con bajo y alto IMC, respectivamente), las cabras reaccionaron a los cambios positivos o negativos que tengan en su condición corporal, puesto que también se observó que cabras con bajo IMC, pero con cambios positivos en este, igualan la tasa de gestación a cabras con alto IMC, pero con cambios nutricionales negativos, siendo la tasa de gestación del 80% en ambos casos (Herrera, *et al.*, 2011 citado por Vera *et al.*, 2013).

Esto último es importante para la caprinocultura nacional, puesto que las pérdidas fetales son el principal problema productivo que se presenta en las regiones semiáridas de México. Las pérdidas pueden variar de un 30% a un 70%, siendo la principal causa de ello la deficiencia de alimento característica de estas regiones, además de que los partos se concentran en la temporada de seca, agravando el problema. Las cabras suelen responder a los estímulos sexuales independientemente de su estado nutricional, esto como una estrategia evolutiva de esta especie, pues el organismo de la cabra está “apostando” a que haya

disponibilidad de alimento posteriormente durante la gestación. En caso de no haber suficiente alimento, la cabra aborta con el fin de asegurar el suministro de nutrientes para ella misma (Mellado y Pastor, 2006).

Mellado y Pastor, (2006) sugieren que el aborto en la cabra puede darse a través de los siguientes mecanismos:

- Hipoglucemia
- Aumento de corticoesteroides fetales
- Deficiencia de los minerales (principalmente fósforo)
- Disfunción placentaria

La gestación es un estado fisiológico muy demandante de energía. En cabras gestantes a partir de la segunda mitad de la gestación los niveles plasmáticos de glucosa suelen bajar a valores inferiores de 55 mg/dl, además de que también se incrementa la cantidad de NEFA en la sangre más allá de los 0.19 mmol/L, evidenciando que existe un aumento en la demanda de energía, la cual es redirigida en gran parte hacia el feto, pero también es usada para preparar las glándulas mamarias para el proceso de lactancia (Khan y Ludri, 2002). En animales gestantes sometidos a dietas bajas en energía, se correlaciona los niveles bajos de glucosa y/o los niveles elevados de NEFA con los abortos, si se comparan con animales que llevaron una gestación al término (Hussain *et al.*, 1996). Esta condición de estrés nutricional puede desencadenar un aumento en los niveles de cortisol, el cual estimulará la producción de estradiol y PGF 2α , causando luteolisis y labor de parto, ocasionando que la cabra termine abortando (Romero *et al.*, 1998).

En cuanto a la deficiencia de minerales, es importante mencionar que la cabra gestante crea reservas corporales de minerales durante los primeros 80 días de la gestación (especialmente Calcio, Fósforo y Magnesio), pues durante este periodo la deposición de minerales en los fetos es baja. Estas reservas corporales de

minerales son almacenadas principalmente en tejidos blandos o en la sangre, donde se encuentran disponibles de manera más inmediata. Es después del día 80 de la gestación cuando la cabra moviliza todos estos minerales almacenados en su cuerpo hacia los fetos y la glándula mamaria. En cuanto al sodio y potasio, aparentemente no hay almacenamiento de estos minerales en el cuerpo materno, sino que el animal ajusta la absorción intestinal y excreción endógena de estos minerales en función a lo que el feto vaya requiriendo (Härter *et al.*, 2015).

Durante un proceso de restricción alimenticia, se ha observado que la retención de minerales se ve comprometida. El cuerpo materno caprino puede compensar una restricción del consumo voluntario de hasta un 20%, no habiendo afectaciones en el feto. Sin embargo, si la falta de alimento es mayor al 20% se empezará a observar deficiencias de minerales (fósforo, sodio y potasio) en el feto, ocasionando que este tenga menos masa corporal. Durante la baja alimentación, el cuerpo materno moviliza calcio de sus reservas con el fin de evitar una disminución en la deposición de este elemento hacia el feto. Sin embargo, en los procesos de subnutrición un elemento que suele ser deficiente es el fósforo. Este elemento es importante en la formación de ADN, por lo que su carencia afecta la formación de tejido, sobre todo tejido muscular, ocasionando un bajo peso del feto. Se piensa que la deficiencia de fósforo se da como consecuencia de una medida compensatoria, donde hay un proceso muy activo de gluconeogénesis que necesita cantidades importantes de ATP, el cual requiere fósforo para su formación (Härter *et al.*, 2017).

Adicionalmente, Coniglio *et al.*, (2016) mencionan que cabras nubias sometidas a un estrés nutricional crónico durante su desarrollo puberal, aparentemente presentan una disfunción placentaria durante su gestación derivada de una falla en la interfase materno fetal, ya que se ha observado que en cabras bajo estas condiciones existe un aumento en el perímetro de los vasos sanguíneos placentarios, además de encontrarse una mayor actividad del factor

de crecimiento vascular endotelial (VEFG), como una posible medida compensatoria, puesto que se piensa que la velocidad de transporte de nutrientes es más baja en animales con una alimentación deficiente. Es importante mencionar que el intercambio placentario es más eficiente cuando hay mayor proporción de vasos sanguíneos de pequeño calibre que si hubiera menos vasos sanguíneos de mayor calibre.

Un fenómeno similar fue descrito por Vonnahme *et al.*, (2006), quienes observaron que ovejas adultas (criadas en estabulado y en pastoreo) sometidas a una restricción alimenticia del 50% tuvieron menor número de placentomas en sus gestaciones, indicando una posible disfunción placentaria, además de que los fetos afectados presentaron agrandamiento del corazón. Sin embargo, se observó que las ovejas criadas en estabulado fueron más susceptibles a esta restricción de alimento, pues sus fetos, además de la alteración en el tamaño del corazón, también presentaron una reducción en el tamaño de la cabeza e hipoglucemia. Se piensa que esta diferencia entre ovejas en estabulado y en pastoreo es debido al genotipo, debido a las diferentes condiciones en que se desenvuelven cada grupo de animales, a pesar de ser de la misma raza. Este genotipo les permitiría a las ovejas en pastoreo tener medidas compensatorias más eficientes, pues se observó que en estas se aceleró el desarrollo de los placentomas, incrementando la vascularización de estos para disminuir el impacto nutricional en el feto, además de mantener la concentración plasmática de aminoácidos (Jobgen *et al.*, 2008).

Es por todo lo anteriormente mencionado, que una madre caprina con deficiencias nutricionales tiene bajas posibilidades de tener un parto. sin embargo, en caso de que la gestación llegue a término, el neonato tendrá ciertas alteraciones en su fisiología. Chen *et al.*, (2019) observó que en cabras sometidas a una restricción alimenticia durante la mitad de la gestación produce una disminución en el peso del corazón, además como de un menor desarrollo hepático, el cual puede ocasionar un desbalance de antioxidantes, así como

trastornos en el metabolismo fetal y un retraso en el desarrollo del sistema inmunológico del feto, lo cual concuerda con lo descrito por He *et al.*, (2014), quienes mencionan que en los fetos de cabras restringidas se observa una menor concentración de IgM e IgE, una menor expresión de interleucinas y daños en la mucosa del yeyuno, siendo la deficiencia de energía más determinante que la deficiencia de proteína para que ocurran estas afectaciones. Esta disminución del estatus inmunológico basal afecta la respuesta inmune del cabrito ante los agentes infecciosos de la vida extrauterina.

También es posible que haya problemas en un adecuado reconocimiento entre madre e hijo, pues se ha observado que en ovejas con una restricción de alimento durante la gestación tardía se prolonga el tiempo en el que una madre reconoce a sus crías (Olazábal *et al.*, 2013).

III. JUSTIFICACIÓN

La incidencia de abortos y pérdidas embrionarias en cabras es un problema serio en la ganadería caprina mexicana. No solo repercute en la cantidad de gestaciones del hato, sino que representa una pérdida económica muy significativa.

En condiciones de campo, uno de los mayores problemas es la deficiencia de alimento, puesto que la mayor parte de la ganadería caprina es extensiva y se desarrolla en regiones semiáridas. Esta deficiencia de alimento conduce a un estrés nutricional, el cual afecta de manera negativa la frecuencia de la secreción pulsátil de GnRH, y por lo tanto la maduración del cuerpo lúteo. Este fenómeno puede verse potencializado con estacionalidad de los caprinos.

Uno de los problemas observados en la cabra durante la estación no reproductiva, es que al inducirse el estro, y bajo condiciones de estrés nutricional, el cuerpo lúteo tarda en desarrollarse, y debido a esto no hay una producción adecuada de progesterona, por lo que no hay una estimulación temprana del epitelio glandular del endometrio. Por ello no existen las condiciones adecuadas para la sobrevivencia embrionaria, y con ello cae la tasa de gestación en esta especie.

IV. HIPÓTESIS

La aplicación de acetato de fluorogestona en cabras sometidas a estrés nutricional compensará la deficiencia inicial de progesterona, permitiendo la sobrevivencia del embrión, en lo que se inicia el desarrollo tardío del cuerpo lúteo y este pueda producir por su cuenta esta hormona a los niveles normales; de esta forma, esto permitirá el aumento de la tasa de gestación en caprinos.

Dirección General de Bibliotecas de la UNQ

V. OBJETIVOS

5.1. Objetivo general

- Determinar el efecto que tiene la aplicación de acetato de fluorogestona en el diestro temprano sobre la tasa de gestación en cabras sometidas a estrés nutricional e inducidas al estro durante la estación no reproductiva.

Dirección General de Bibliotecas de la UNQ

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Localización geográfica

El trabajo se realizó en el municipio del Marqués que se localiza en el Noroeste del estado de Querétaro, siendo sus coordenadas entre latitud 20° 31" y 20° 58" Norte y longitud 100° 09" y 100° 24" Oeste. La altura del municipio oscila entre los 1500 a 2000 msnm. En cuanto al clima, este es en su mayor parte semiseco templado, con una porción menor de clima templado subhúmedo con lluvias en verano. La temperatura media anual está comprendida entre los 18 y los 24°C, mientras que para el clima templado-subhúmedo oscila de los 14 a los 16°C. La precipitación pluvial registra de 400 a 500 milímetros cúbicos, siendo los vientos dominantes de Noreste a Suroeste. (INAFED, 2010; INEGI, 2017).

La posta zotécnica de la Universidad Autónoma de Querétaro, Campus Amazcala, se localiza en la localidad del mismo nombre. Estas instalaciones tienen una extensión de 59 hectáreas, distribuidas en áreas de agostadero y cultivos (maíz, cebada, avena y nopal). Entre su infraestructura se encuentran aulas, laboratorios, oficinas, corrales para ovinos, caprinos y bovinos de carne, instalaciones para la clínica y zootecnia de equinos, crianza de conejos y lechones, entre otros (UAQ, 2018).

6.2. Metodología

Se realizó una investigación experimental, donde se emplearon 20 cabras primaras, (9 cabras Nubias y 11 cabras Alpinas) (Figura 12), clínicamente sanas, pertenecientes a la posta zotécnica del campus Amazcala, de la UAQ, localizada en el municipio de El Márques, Querétaro.



Figura 12: Cabras de la raza Alpina y Nubia, en la posta zootécnica, campus Amazcala
Fuente: Propia

Conjuntamente, también se emplearon cuatro machos de las mismas razas que las hembras (2 machos de cada raza), maduros sexualmente y de fertilidad probada, clínicamente sanos, tratados previamente con un tratamiento fotoperiódico (Luz-Melatonina) adaptado del descrito por Gatica *et al.* (2012):

- Exposición de los sementales a 16 horas de luz (Combinación de 12 horas de luz solar y 4 horas de luz artificial) por un periodo de 45 días.
- Colocación de un implante con melatonina a cada uno de los machos por un periodo de 45 días.
- Al final del protocolo los machos presentaron actividad sexual fuera de la estación reproductiva.

Las hembras mencionadas anteriormente se colocaron en corrales que permitieron realizar una alimentación individualizada y una medición del consumo voluntario de alimento de cada animal. Para evaluar el consumo voluntario del rebaño, se les suministró *ad libitum* a los animales un alimento integral formulado para mantenimiento y ganancia moderada de peso (Cuadro 2), de tal forma que el animal deje un excedente de materia, para después pesar diariamente la cantidad de alimento ofrecido y rechazado de cada animal y establecer la cantidad de alimento requerido por animal (Alimento consumido más un 5-10% de residuo).

Cuadro 2. Composición estimada de la dieta empleada durante el experimento

Componentes	Kg en materia seca	Porcentaje de Materia seca por ingrediente	Kg en materia húmeda
Alfalfa	37.5	92.48%	40.5
Maíz molido	22.1	93.63%	23.6
Rastrojo de avena	18.8	92.77%	20.3
Soya	9.4	89.60%	10.5
Melaza	5.6	75.00%	7.5
Salvado de trigo	4.7	88.00%	5.3
Minerales	1.9	95.00%	2.0
Total	100		109.72

En este cuadro se muestra la cantidad de ingredientes requeridos para la elaboración de la dieta balanceada que se suministró en el desarrollo experimental. Se realizó el cálculo del porcentaje requerido de alimento en materia húmeda para asegurarse que la proporción de cada ingrediente en materia seca sea la correcta. Su composición nutrimental estimada es la siguiente: 1.7 Mcal/kg, 8.0% de calcio, 16.0% de proteína cruda, 3.5% de Fósforo, y un 91% de materia seca.

Posteriormente, a todas las hembras se les indujo al estro en la temporada no reproductiva, es decir, en el mes de abril del 2019, adaptando la metodología

mencionada por León-Velasco *et al.* (2016) y Monreal-Duenhas *et al.* (2002). El protocolo de inducción al estro empleado fue el siguiente:

- Día 0: Aplicación del CIDR® (300 mg de progesterona)
- Día 12: Retiro del CIDR®, aplicación 200 UI de eCG y 10 mg de PGF2 α , ambos por vía intramuscular.
- Día 14: a las 48 horas posteriores al retiro del dispositivo, se dio monta natural a las hembras al momento de presentar el estro.

Tras el retiro del CIDR®, a las cabras se les dio monta dirigida, usando para ello dos machos de cada raza (5 hembras por cada macho en promedio). Se aseguró que cada hembra fuera montada dos veces para luego ser retirada del macho.

Paralelamente, al momento de retirar el dispositivo CIDR®, se indujo a las hembras a un estrés nutricional, donde se les proporcionó el 50% de la ración alimenticia, basándose en el consumo voluntario estimado para cada animal. El estrés nutricional se mantuvo hasta los 30 días posteriores al servicio de las hembras. Para evaluar el impacto del estrés nutricional, se midió el índice de masa corporal de cada animal antes y después del experimento siguiendo una escala de 7 a 13 (Pugh, 2002).

Los animales fueron divididos en dos grupos de manera aleatoria, con un número de 10 cabras cada uno, con una proporción racial lo más equilibrada posible entre cada grupo. El primer conjunto es el grupo testigo (T), al cual únicamente se sometió al estrés nutricional mencionado anteriormente. El grupo experimental (E), además de someterse al estrés nutricional, se le aplicó acetato de fluorogestona (20 mg) mediante un dispositivo intravaginal (CHRONOGEST®) al cuarto día posterior a la monta natural, y este se retiró seis días después de su aplicación, con base a los resultados obtenidos por Agredo-Palechor (2018), donde se observó que las cabras bajo estrés nutricional comienzan a tener un

cuerpo lúteo funcional a partir del sexto día del ciclo estral en promedio, extendiéndose hasta el día 10 en algunos casos.

A los 30 días después del servicio, se realizó un ultrasonido en tiempo real para comprobar el número de cabras gestantes. El diagnóstico se confirmó con un examen de ultrasonido a los 45 días post-servicio. Con este dato se observó el efecto que tuvo la aplicación de progesterona natural en relación a la tasa de gestación, siendo este valor la principal variable de respuesta.

Posterior a los 30 días post-servicio, los animales son retirados del estrés nutricional, y se les da alimento *ad libitum*.

6.3. Variables de respuesta:

Las variables de respuestas que se consideraron en este estudio fueron:

- Tasa de gestación a los 45 días.
- Peso e IMC al inicio y final del experimento

6.4. Análisis Estadístico

Las variables se evaluaron mediante regresión logística o ANDEVA para un diseño completamente al azar, usando como factores el grupo de tratamiento y la raza, así como su interacción. Ambas pruebas fueron realizadas en el programa Statgraphics Centurion v.15.02.05 y SPSS Statistics 23.

VII. RESULTADOS

Se determinó el porcentaje de materia seca de la dieta suministrada durante el experimento, el cual fue del 85.93 % en promedio. Con dicho valor, se calculó la cantidad de materia seca consumida antes y durante la restricción alimenticia, dando como resultado los datos mostrados en el Cuadro 3, donde se muestran el porcentaje de restricción al que fueron sometidos los animales, tanto por raza como por grupo experimental, siendo 48.38% el promedio de la restricción total inducida. Además, se calculó el porcentaje de alimento consumido en relación con el peso vivo de los animales, el cual fue de 2.86% en promedio.

Cuadro 3. Consumo diario de materia seca de las unidades experimentales

	Raza		Grupo experimental	
	Alpina	Nubia	Tratado	Control
Consumo voluntario de alimento (kg/día)	1.084	1.097	1.094	1.086
Consumo durante la restricción (kg/día)	0.542	0.549	0.547	0.543
Materia seca consumida (kg/día)	0.947	0.959	0.959	0.946
Materia seca en restricción (kg/día)	0.458	0.464	0.461	0.461
% Restricción MS	48.40%	48.36%	48.07%	48.69%
%PV consumido	2.97%	2.73%	2.87%	2.86%

En la Figura 13 se muestran los resultados del peso al inicio y al final del experimento por raza. Se observó que al inicio del experimento hubo una tendencia de efecto de raza ($P=0.06$), mientras que en el peso final sí hubo dicho efecto ($P=0.018$), siendo la raza Nubia la de mayor peso. Cabe añadir, que tanto las cabras Alpinas y Nubias tenían una edad promedio de 13.67 ± 0.27 y 14.58 ± 0.65 meses, respectivamente, no habiendo diferencia estadística entre ambos grupos ($P=0.18$) Además, no hubo diferencia estadística en el peso entre los grupos experimentales tanto al inicio como al final del experimento ($P>0.05$), y en la interacción raza por tratamiento solo se mostró una tendencia de efecto en el peso final, siendo el subgrupo Nubia-Control quien tenía mejor peso, mientras que los otros tres subgrupos eran más homogéneos ($P=0.07$). En promedio todos los animales perdieron 3.03 ± 0.34 kg de peso si se compara el peso al inicio y al final del estudio ($P=0.051$).

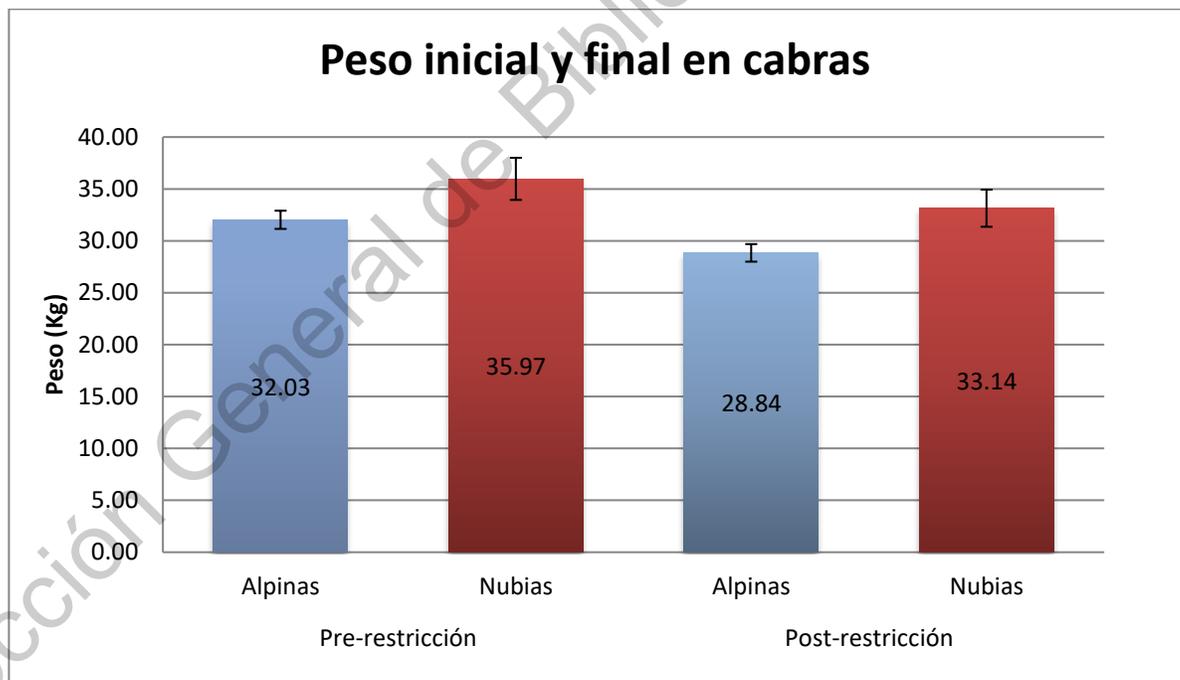


Figura 13: Peso inicial y final de las unidades experimentales por raza.

Para la variable IMC al inicio del experimento (Figura 14) se encontró efecto de raza ($P=0.02$), más no de Tratamiento ($P=0.28$) y se observó una

tendencia en la interacción raza por tratamiento ($P=0.055$), siendo el subgrupo Nubia-Control quien tenía mejor IMC, mientras que los otros tres subgrupos eran más homogéneos.

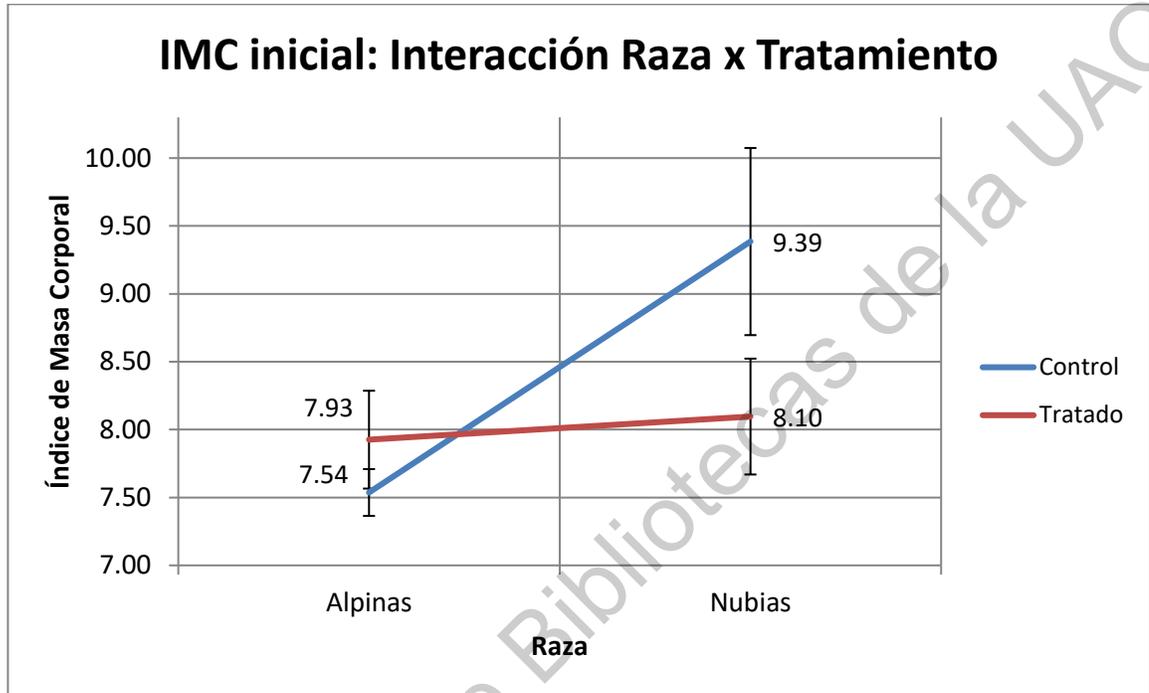


Figura 14: IMC al inicio del experimento (Interacción Raza x Tratamiento).

En la Figura 15 se muestran los resultados del IMC al final del experimento tanto por raza como por grupo experimental. Se observaron efectos de raza ($P=0.01$) y de la interacción raza por tratamiento ($P=0.04$) asimismo el tratamiento mostró solo una tendencia de efecto ($P=0.07$). Al igual que lo observado en el IMC al inicio del estudio, el subgrupo Nubia-Control presentó un mayor IMC, comparado con los tres subgrupos restantes.

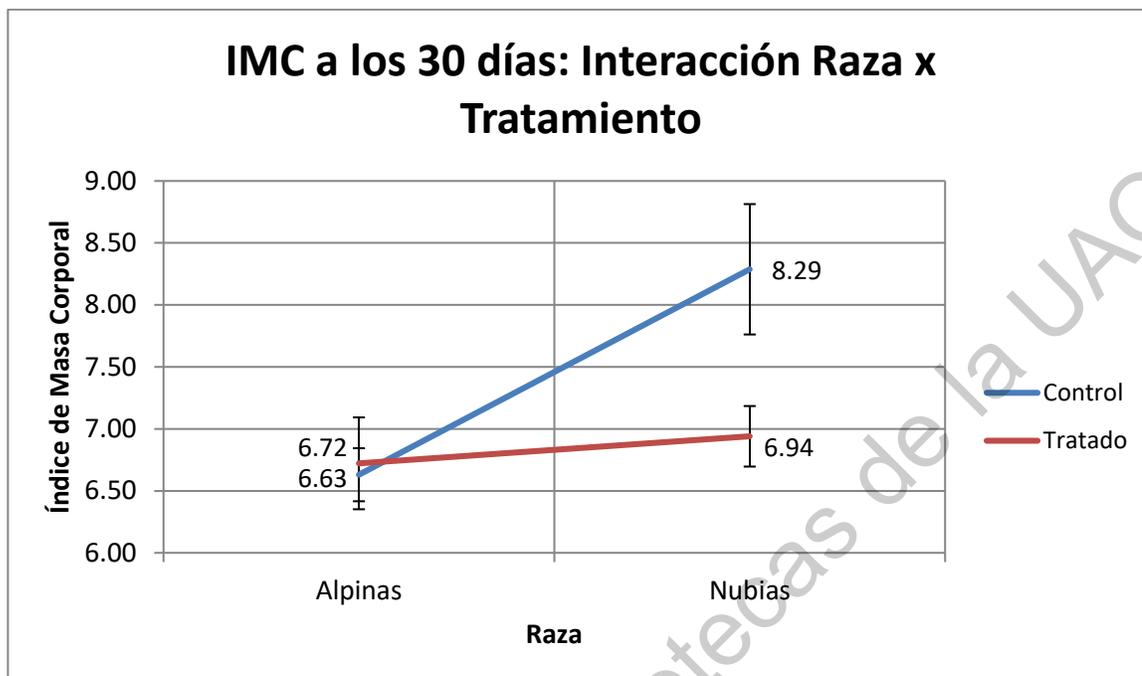


Figura 15: Índice de masa corporal al final del experimento de las unidades experimentales (Interacción Raza x Tratamiento).

Adicionalmente, si se compara la cantidad de IMC perdido (Cuadro 4), no se observaron efectos de tratamiento ($P=0.33$), ni de raza ($P=0.69$) o de su interacción ($P=0.50$); encontrando que en general los animales perdieron 1.08 ± 0.37 puntos de IMC en promedio, como reflejo del estrés nutricional al que fueron sometidos.

Cuadro 4: Comparación del índice de masa corporal inicial y final por raza y grupo experimental

Grupo	IMC inicial		IMC final		IMC perdido		
	Media	Error estándar	Media	Error estándar	Media	Error estándar	
Raza	Alpinas	7.71	0.19	6.67	0.19	1.04	0.085
	Nubias	8.67	0.43	7.54	0.34	1.13	0.159
Grupo experimental	Control	8.28	0.41	7.29	0.35	0.98	0.121
	Tratado	8.01	0.26	6.83	0.21	1.18	0.113

Para la tasa de gestación a 30 días post-servicio (Figura 16), no se observaron efectos de tratamiento ($P=0.63$), aunque sí de raza ($P=0.04$), teniendo mejores resultados la raza Nubia (89%) que la alpina (45%). No se observó interacción entre raza y tratamiento ($P=0.50$). Sin embargo, esta diferencia entre razas desaparece al realizarse el diagnóstico de gestación a los 45 días post-servicio (Figura 17), puesto que no se observaron efectos de raza ($P=0.27$), ni de tratamiento ($P=0.16$), o de su interacción ($P=0.50$). La tasa de gestación global a los 45 días fue del 55%.

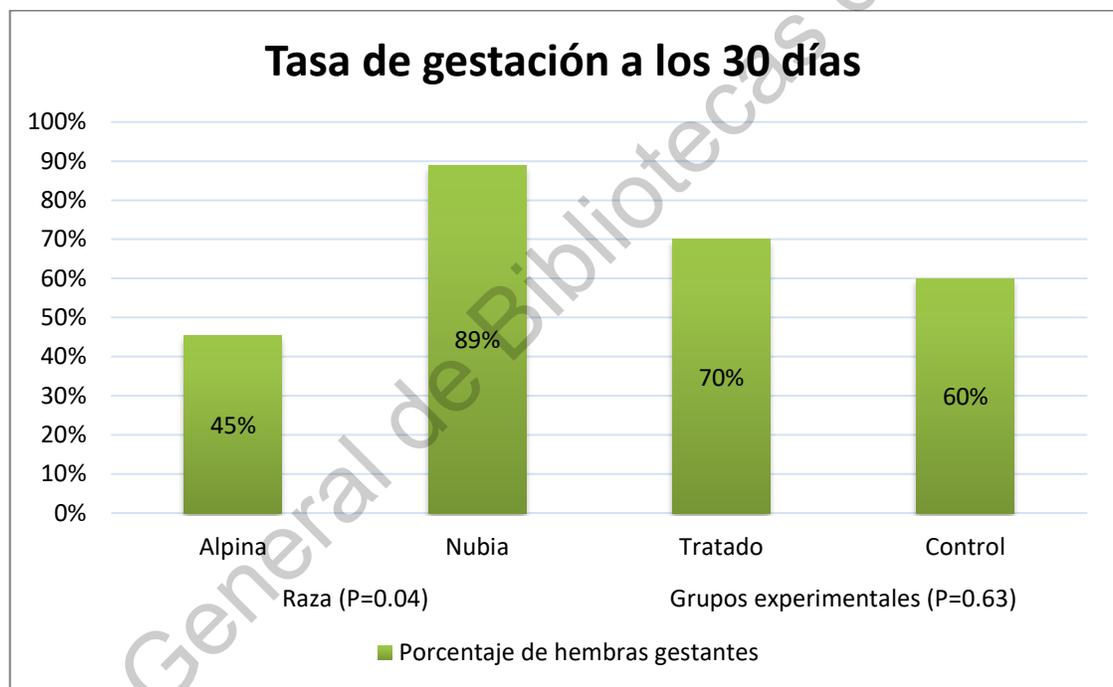


Figura 16: Comparación de la tasa de gestación a los 30 días entre raza y grupos experimentales

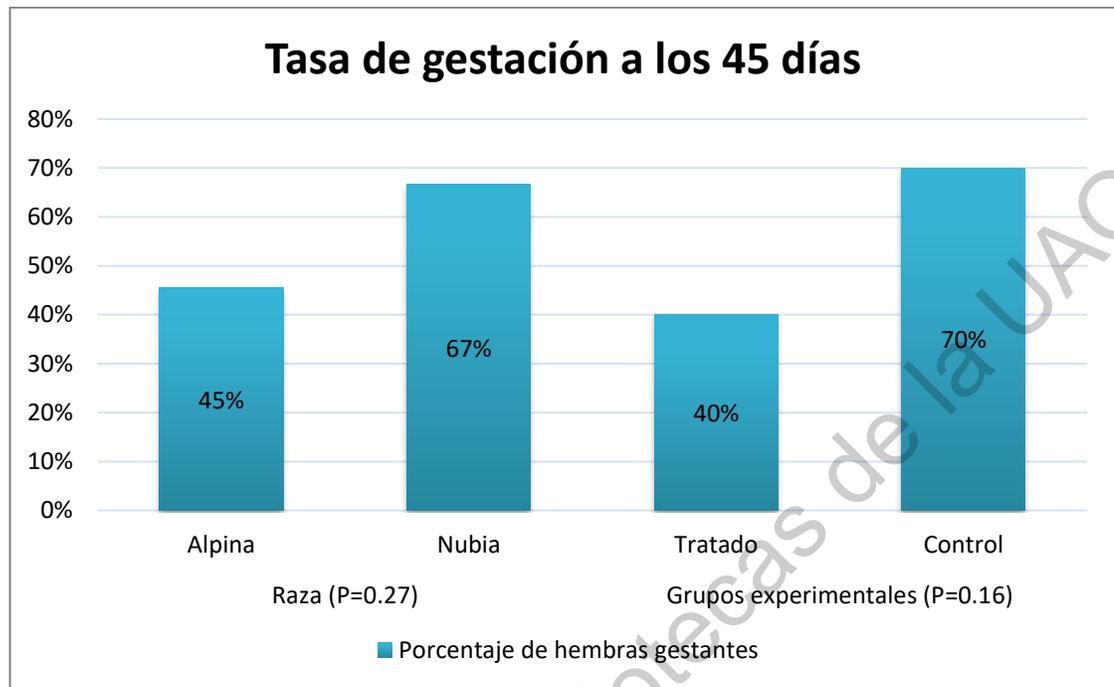


Figura 17: Comparación de la tasa de gestación a los 45 días entre raza y grupos experimentales

VIII. DISCUSIÓN

La reducción del suministro de materia seca al 48.38% del consumo voluntario en el periodo de adaptación, produjo un estrés nutricional que se vio reflejado en una pérdida aproximada del 9% del peso corporal y 1.08 puntos de IMC en promedio. Lo anterior, ya que hay un aumento en la movilización de energía a partir de las reservas corporales (tejido adiposo y muscular) para compensar la deficiencia en el consumo de energía. Se ha reportado este mismo fenómeno en animales sometidos a condiciones similares, donde bajo una restricción determinada de materia seca, los animales pierden entre el 10 al 15% de su peso corporal (Rumball *et al.*, 2009; Härter *et al.*, 2016; Vicente-Pérez *et al.*, 2017; Macías-Cruz *et al.*, 2017) o bien, 1.4 puntos de IMC (Agredo-Palechor, 2018).

Si bien la estacionalidad es un factor condicionante para la eficiencia reproductiva de la cabra, se ha demostrado que el factor nutricional, puede influir en los efectos de la estacionalidad, sobre todo en latitudes tropicales (Urrutia *et al.*, 2009; Agredo-Palechor, 2018). Asimismo, en estas regiones se ha reportado que, aún durante el periodo de anestro, la aplicación de distintos tipos de protocolos de inducción del estro y la ovulación generan tasas de gestaciones que varían del 75 al 95% (Álvaro-Espino *et al.*, 2019; Agredo-Palechor, 2018; Avendaño *et al.*, 2003). Al contrario que en latitudes más alejadas del ecuador, donde si bien el protocolo puede generar respuesta estral fuera de estación, un porcentaje considerable de estos ciclos suelen ser cortos (Chao *et al.*, 2008), o bien puede haber una disfunción lútea (Alaçam *et al.*, 1985), en ambos casos disminuyendo así la tasa de gestación.

En este caso, las condiciones nutricionales eran desfavorables, habiendo un estrés nutricional que provocó pérdida de IMC y repercutió negativamente en la tasa de gestación a los 45 días (55% en general), a pesar que todos los animales

presentaron estros; muy similar a lo observado por Agredo-Palechor (2018), quién bajo condiciones muy similares observó que la tasa de gestación en cabras bajo estrés nutricional, tienen una tasa de gestación del 55.5% a los 45 post-servicio. Este fenómeno concuerda con lo descrito por Mellado y Pastor (2006), quienes mencionan que, a pesar de las condiciones nutricionales, la cabra puede ser inducida el estro en condiciones adversas, aunque posteriormente habrá pérdidas embrionarias y fetales durante la gestación. Estas pérdidas suelen asociarse a las pérdidas de IMC, puesto que las cabras son más sensibles a las variaciones en los puntos de IMC que en el IMC por sí mismo, por lo que los cambios negativos en el consumo diario de alimentos repercuten en la tasa de gestación post-servicio (Vera *et al.*, 2013), además que se ha reportado que en cabras gestantes con una pérdida de peso mayor a 25 g por día tienen 8 veces mayor susceptibilidad de presentar pérdidas gestacionales (Mellado *et al.*, 2006), condición que se cumple en las cabras de este experimento, pues en promedio perdieron 94.6 g de peso vivo diarios.

Además del factor nutricional, otro factor que ocasiona pérdidas gestacionales en cabras es la edad del animal. Se ha descrito que las cabras en crecimiento o primíparas son más propensas a tener pérdidas embrionarias que las cabras adultas o multíparas (Mellado y Pastor, 2006; Alaçam *et al.*, 1985); condición que se cumple en las cabras de este experimento. También se reporta que, en cuanto a raza, las cabras nubias tienen menor probabilidad de abortar que las cabras alpinas (Mellado *et al.*, 2006), condición que se cumple en la tasa de gestación a los 30 días (Nubia 89% vs Alpina 45%), aunque en la tasa de gestación a los 45 días no se reportó diferencia significativa entre los dos grupos (Nubia 66% vs Alpina 45%), un tanto diferente a lo observado por Agredo-Palechor (2018), quien bajo condiciones muy similares encontró que la tasa de gestación tendió a ser mayor en las alpinas que en las nubias (88.2 vs 61.1%, respectivamente). Es importante mencionar en esta diferencia inicial también

puede tener una influencia nutricional, puesto que las cabras nubias tenían mejores puntos de IMC y un mayor peso corporal que las alpinas.

Con los resultados observados, es evidente que la nutrición tiene un papel fundamental en la eficiencia reproductiva. Widiyono *et al.*, (2020) reportaron que en cabras de la raza Kacang, la baja condición corporal de los animales ocasiona que estos no presenten ciclicidad, puesto que, aunque presentan oleadas foliculares, la ovulación no se llega a dar. Además, Urrutia *et al.* (2003) explican que durante un proceso de subnutrición aguda, como el inducido en este trabajo de investigación, se interfiere con el desarrollo folicular debido a que un descenso en el consumo de alimento ocasiona que bajen los niveles de glucosa e insulina en sangre, los cuales tienen un efecto directo sobre los folículos, pues en el líquido folicular se ha encontrado que los niveles de glucosa e insulina son similares a los encontrados en sangre (Widiyono *et al.*, 2020). Esto último es importante, puesto que se ha reportado que estos dos metabolitos influyen en la producción de progesterona y estradiol (Suguna *et al.*, 2009), modulando así la secreción de LH y FSH (Zabuli *et al.*, 2010). En otros mamíferos la insulina tiene varias funciones reproductivas, como participar en el reinicio de la actividad meiótica; aumentar el número de receptores de LH en el folículo y regular la expresión de glucotransportadores, en especial GLUT1 y GLUT4, los cuales promueve la expansión de la matriz extracelular y estimulan la maduración ovárica (Barrios-Expósito, 2016); Por otra parte, los niveles de glucosa e insulina estimula la producción de IGF-1, la cual estimula la actividad mitogénica y esteroidogénica de las células de la teca y de la granulosa amplificando los efectos endocrinos de la FSH y permitiendo una rápida regulación de la producción de estradiol (Souza *et al.*, 2011).

En vacas lecheras bajo estrés nutricional, se reporta que el porcentaje de fertilización es cercano al 90%, aunque la tasa de gestación sea del 55%, por lo que se sugiere que la baja tasa de fertilidad pueda deberse a pérdidas

embrionarias, ocasionadas por el balance energético negativo (Diskin y Morris, 2008). Esto concuerda con diversos estudios, donde se ha asociado que la alteración del desarrollo embrionario temprano por causa de la subnutrición se debe a diversos mecanismos como fallas en el reconocimiento materno de la preñez, a una falla lútea o bien a fases lúteas cortas (Abecia, *et al.*, 2006; Agredo-Palechor, 2018; Chao *et al.*, 2008; Diskin y Morris, 2008).

También es importante mencionar que hubo pérdidas embrionarias entre el día 30 y 45 de gestación, representando una caída del 10% por ciento en la tasa de gestación. Es difícil determinar cuál fue el mecanismo por el cual hubo pérdidas embrionarias en este periodo, sin embargo, en ovejas, a partir del día 30 de la gestación las carúnculas comienzan a tener cambios en su arquitectura microvascular (Reynolds *et al.*, 2005), además de que el número de placentomas que tendrá la placenta se establecen durante el día 40 de la gestación (Vonnahme *et al.*, 2006). Por lo anterior, una posibilidad es que el periodo de subnutrición haya afectado a la capacidad de la placenta de crecer y diferenciarse, pues durante los primeros días de gestación se expresan diversos genes que permitirán que se lleve a cabo un proceso complejo de vascularización donde se desarrollan interdigitaciones y vellosidades maternas/fetales las cuales permitirán un adecuado transporte de nutrientes (Reynolds *et al.*, 2005; Grazul-Bilska *et al.*, 2014). Aunque las condiciones bajo las que se ha estudiado este fenómeno difieren de las inducidas en este trabajo, se ha observado que el grado de afectación que tendrán los animales dependerá del genotipo del animal, es decir, la capacidad de compensar la falta de nutrientes mediante un aumento en la vascularización placentaria (Vonnahme *et al.*, 2006; Coniglio *et al.*, 2016) y de si la gestación es simple o gemelar, siendo estos últimos los más afectados en su desarrollo bajo condiciones de subnutrición preconcepcional (MacLaughlin *et al.*, 2005).

Cabe mencionar, que se observó un porcentaje de abortos de 63.6% en las cabras gestantes después de finalizar el periodo experimental (la mayoría ocurrieron en el último tercio de gestación), obteniendo al final una tasa de pariciones del 20%.

Aunque podría pensarse que esta elevada tasa de abortos fuera producto del estrés nutricional al que los animales fueron sometidos durante la gestación temprana, se ha descrito que para que haya efectos negativos derivados de la subnutrición en el desarrollo de la gestación, la restricción alimenticia debe ser mayor del 20% de los requerimientos nutricionales de las cabras (Härter *et al.*, 2016). Así mismo, que esta se debe de dar en la gestación tardía (Chen *et al.*, 2009; Härter *et al.*, 2016; Sahlú *et al.*, 1992), o de manera crónica durante el desarrollo del animal (Coniglio *et al.*, 2016). Además, se ha observado en ovejas que una subnutrición aguda durante el primer tercio de gestación (restricciones alimenticias hasta los 30-50 días post-concepción) no afecta el desarrollo fetal a largo plazo, debido a que las reservas nutricionales de la madre pueden compensar estas deficiencias iniciales (Vicente-Pérez *et al.*, 2017; Rumball *et al.*, 2009), encontrándose solo efectos negativos cuando la restricción de alimento en la gestación temprana se extiende hasta los 60 días post-concepción, con suministro de alimento al 25% de sus requerimientos nutricionales (Mani *et al.*, 1993).

Sin embargo, Zhang *et al.*, (2013) observaron que una restricción de alimento del 30% en la primera semana post-servicio en ovejas, puede alterar el eje Hipotálamo-Hipófisis-Adrenal del producto. La exposición a la subnutrición materna durante ese periodo puede afectar el crecimiento de la adrenales fetales, incrementándolas de tamaño, y afecta la expresión de receptores a glucocorticoides en la hipófisis anterior, la cual se ve reducida por el estrés nutricional. Esto produce que el feto sea más sensible a diversos factores

estresantes (cambios ambientales, exposición a enfermedades, cambios en el manejo), lo cual podría producir un aborto.

En cuanto al efecto que tuvo la aplicación de acetato de fluorogestona sobre la tasa de gestación, no se observó un efecto del tratamiento. Existen antecedentes de trabajos similares en bovinos de leche y ovinos, donde se suplementa progesterona en los primeros días de la gestación con el propósito de mejorar la sobrevivencia de los embriones en los programas de transferencia de embriones, tanto en las donadoras (Mejía *et al.*, 2000) como en las receptoras (Beckett *et al.*, 1999; Geisert *et al.*, 1991), así como para mejorar la tasa de gestación al intentar mejorar las condiciones del ambiente uterino (Wiltbank *et al.*, 1956; Johnson *et al.*, 1958; Diskin y Niswender, 1989; Robinson *et al.*, 1989; Pope *et al.*, 1995; Satterfield *et al.*, 2006; Carrillo-Díaz *et al.*, 2013; Parr *et al.*, 2014) y disminuir la incidencia de aborto durante el primer tercio tardío (López-Gatius *et al.*, 2004). Los resultados obtenidos en estas investigaciones son diversos, encontrándose desde trabajos con resultados positivos, tanto en vacas como en ovinos, así como resultados negativos o nulos.

Esta variedad de resultados de cada tratamiento puede deberse a que cada experimento presenta muchas variables y métodos diferentes, así como a que la mortalidad embrionaria es multifactorial, por lo que la suplementación de progesterona o sus análogos solo funcionan cuando la deficiencia de esta hormona es el problema (Robinson *et al.*, 1989; Van Cleeff *et al.*, 1991; Nogueira *et al.*, 2004). Diskin y Niswender (1989) mencionan que en hatos y/o rebaños con una fertilidad mayor al 75% este tipo de tratamientos de soporte lúteo podrían no dar resultados, puesto que la mortalidad embrionaria también es afectada por factores genéticos, infecciosos y/o ambientales (Parmar *et al.*, 2017). Aun así, los diversos resultados apuntan a que el problema principal es una alteración en el soporte lúteo, ya sea por deficiencia o exceso de progesterona (Geisert *et al.*,

1991; Nogueira *et al.*, 2004; Satterfield *et al.*, 2006, Diskin y Morris, 2008; Agredo-Palechor, 2018).

La deficiencia de progesterona puede estar asociada a un retraso en la ovulación y/o del desarrollo del cuerpo lúteo. Agredo-Palechor, (2018) determinó que, bajo un estrés nutricional agudo, la fase lútea retrasaba su inicio a 5.71 días post-estro, en comparación con cabras sin problemas nutricionales, en las cuales la fase lútea comenzaba a los 3.86 días, habiendo un desfase de 1.85 días. Este retraso en el inicio de la fase lútea es un escenario recurrente en los programas de transferencia de embriones (Beckett *et al.*, 1999; Lonergan *et al.*, 2015), y también se ha observado en vacas lecheras sometidas a un balance energético negativo y desequilibrios metabólicos (Villa-Godoy *et al.*, 1988; Larson *et al.*, 1997; Mann y Lamming, 2001). Se ha propuesto que el retraso en el desarrollo del cuerpo lúteo puede deberse a una luteinización tardía por una inadecuada expresión de receptores de LH (Robinson *et al.*, 1989), falta de LH (Larson *et al.*, 1997), y/o un retraso en la ovulación (Mann y Lamming, 2001). Este retraso o asincronía por parte del cuerpo lúteo se considera grave si es superior a las 48 horas (Lonergan *et al.*, 2015).

En este tipo de escenario la principal causa de muerte embrionaria es el desfase entre el útero receptor y el embrión (Beckett *et al.*, 1999; Lonergan *et al.*, 2015), debido a que en un útero asíncrono los niveles de progesterona aún no son lo suficientemente elevados como para estimular al endometrio. Se sabe que la progesterona modifica el transcriptoma de las células glandulares endometriales, induciendo a que estas produzcan histotrofe, una secreción rica en glucosa y aminoácidos, de las cuáles depende el embrión hasta el momento de su adhesión, por lo que una insuficiente cantidad de progesterona produciría la muerte del embrión de manera indirecta por una insuficiencia de nutrientes (Lonergan *et al.*, 2015). También existe la posibilidad de que sí el embrión sobrevive, la falta de progesterona produciría que el desarrollo embrionario se encuentre atrasado, lo

que lleva a que este no pueda realizar a tiempo la señalización a través de IFN tau, desencadenándose la luteolisis (Geisert *et al.*, 1991; Satterfield *et al.*, 2006).

Por lo que se ha planteado que el suministro de progesterona exógena durante los primeros días de la gestación proporcionaría soporte lúteo al embrión y permitiría su supervivencia hasta que el cuerpo lúteo produzca la cantidad de progesterona necesaria para mantener a la gestación, habiendo experimentos donde dicha hipótesis se ha cumplido (Robinson *et al.*, 1989; Geisert *et al.*, 1991; Satterfield *et al.*, 2006). Otro aspecto interesante es que se ha reportado que este tipo de tratamientos en razas de ovejas prolíficas aumenta la prolificidad, aunque no necesariamente la fertilidad del rebaño (Pope *et al.*, 1995; Carrillo-Díaz *et al.*, 2012), mientras que en vacas lecheras gestantes la aplicación de progesterona durante el primer tercio de gestación reduce el riesgo de aborto (López-Gatius *et al.*, 2004).

También otro problema recurrente que se presenta en cabras son las fases lúteas cortas (Fatet *et al.*, 2011; Alaçam *et al.*, 1985), cuya incidencia puede ser del 11.1% en cabras inducidas a ovular fuera de la estación reproductiva (Agredo-Palechor, 2018) o de hasta 27% en condiciones de estrés nutricional (Espinosa *et al.*, 2013). En las fases lúteas cortas, el cuerpo lúteo sobrevive por 4 o 5 días, para después tener una luteolisis temprana, debido a una secreción prematura de PGF2 α . En este escenario, la aplicación de progesterona exógena sería inútil, puesto que, aunque se pueda mantener al embrión después de la luteolisis, en cuanto se retire el suministro de progesterona el embrión morirá sin duda alguna. Battye *et al.*, (1998) demostraron que es posible evitar que haya una luteolisis temprana mediante la aplicación de Flunixin Meglumina, la cual inhibe la secreción de prostaglandinas, entre ellas la PGF2 α , además de que Sánchez-López *et al.*, (2017) observaron que la aplicación de este fármaco aparentemente aumenta la tasa de gestación en cabras bajo estrés nutricional, por lo que una posible estrategia para aumentar la tasa de gestación en cabras sería suministrar

Flunixin Meglumina, a la vez que se suministra progesterona exógena, pues de esta manera se protegería al embrión de un desfase en el útero causado por un retaso en la secreción de progesterona y una luteolisis temprana, aumentando las probabilidades de sobrevivencia embrionaria.

Por otra parte, se ha reportado que el suministro exógeno de progesterona ha dado resultados negativos (Zimbelman *et al.*, 1961; Pope *et al.*, 1995; Menchaca y Rubianes, 2001; Parr *et al.*, 2014; Nogueira *et al.*, 2004), debido a una alteración de la dinámica uterina, pues se sugiere que se puede adelantar el proceso de luteolisis, dando lugar a una fase lútea corta. Se han propuestos diversos mecanismos por los cuales puede darse este escenario, entre los cuales destacan: Un bloqueo de la secreción de LH, y por lo tanto una luteinización incompleta, solo si se suministra progesterona en los primeros 4 días post-servicio (Zimbelman *et al.*, 1961; Gaston-Parry *et al.*, 1988; Menchaca y Rubianes, 2001); La progesterona exógena acelera la regulación a la baja de los receptores PGR en el endometrio, acelerando su desaparición, lo cual desencadena el proceso de luteolisis (Okumu *et al.*, 2010). Puede haber un posible efecto tóxico de la progesterona si se aplica más de 12 mg de esta hormona vía intramuscular (Pope *et al.*, 1995); O bien, la causa de la mortalidad embrionaria no está relacionada con los niveles de progesterona (Van Cleeff *et al.*, 1991; Diskin y Niswender, 1989), por lo que en estos casos los resultados de los tratamientos no son ni positivos ni negativos.

Derivado de todo lo anterior, es necesario estandarizar un método que permita mejorar la tasa de gestación mediante el uso de progestágenos, por lo que tendría que realizarse investigación al respecto, tomando en cuenta diversas variables como:

- El estado nutricional de los animales: si los animales tienen un estado nutricional bajo, es probable que no respondan al tratamiento (Mellado y Pastor, 2006; Widiyono *et al.*, 2020)

- El tipo de progestágeno y/o dispositivo que lo contiene: Si bien no se ha encontrado diferencias en la efectividad entre los principales progestágenos actuales (Progesterona natural, Acetato de Fluorogestona y Medroxiprogesterona) (Robinson, 1967), si se ha encontrado que las esponjas vaginales pueden desencadenar vaginitis, lo cual puede llevar a una baja en la fertilidad (Cortés-López *et al.*, 2015; Manes *et al.*, 2014; Penna *et al.*, 2013). También se tiene que revisar la estructura de las esponjas, pues si el material es más denso, la absorción será más lenta (Morgan *et al.*, 1967), y revisar si la curva de liberación no afectaría al resultado, pues las esponjas de FGA suelen liberar mayor cantidad de progestágeno (3 ng/ml de FGA en sangre las primeras 24 horas) que el CIDR® (2 ng/ml de progesterona en sangre en las primeras 24 horas) (Gaston-Parry *et al.*, 1988; Wheaton *et al.*, 1993).
- Edad de los animales: En cabras en crecimiento los tratamientos hormonales suelen tener menor eficiencia reproductiva comparada con las cabras adultas (Alaçam *et al.*, 1985).

Finalmente, es evidente que el factor nutricional es fundamental para el adecuado desempeño reproductivo de las cabras, pues en esta investigación se observó que la reducción en el suministro de materia seca produce un estrés nutricional que desencadenó problemas reproductivos; una situación muy similar a la que podrían enfrentarse los animales bajo las condiciones de pastoreo extensivo que se dan en las regiones áridas del centro y norte de México. En estas regiones la vegetación predominante es matorral xerófilo (Aréchiga *et al.*, 2008) y los problemas nutricionales representan el 26% de las causas de enfermedad en el rebaño, siendo la principal causa no infecciosa de problemas reproductivos (Escareño-Sánchez *et al.*, 2011), además que muchos productores se limitan a suministrar subproductos agrícolas, basados únicamente en su disponibilidad y bajo costo (Hernández *et al.*, 2000). Es por ello que se debe prestar mucha importancia al diseño de estrategias nutricionales que permitan cumplir con las

condiciones necesarias para alcanzar la máxima eficiencia reproductiva del rebaño.

Dirección General de Bibliotecas de la UAQ

IX. CONCLUSIONES

Se concluye que la administración de acetato de fluorogestona mediante esponjas vaginales durante la fase lútea temprana no logró mejorar la tasa de gestación en cabras que fueron inducidas a ovular en la estación no reproductiva y que además fueron sometidas a un estrés nutricional temporal.

Dirección General de Bibliotecas de la UAG

X. REFERENCIAS

- Abe, H., Onodera, M., Sugawara, S. (1993). Scanning electron microscopy of goat oviductal epithelial cells at the follicular and luteal phases of the oestrus cycle. *Journal of anatomy*, 183(2), 415.
- Abe, H., Onodera, M., Sugawara, S., Satoh, T., Hoshi, H. (1999). Ultrastructural features of goat oviductal secretory cells at follicular and luteal phases of the oestrous cycle. *Journal of Anatomy*, 195(4), 515-521.
- 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.
- Agredo-Palechor, J.A. *Efecto del estrés nutricional sobre la función lútea post-servicio en cabras inducidas a ovular durante el anestro estacional*. [Tesis de Maestría]. México, Querétaro: Universidad Autónoma de Querétaro; 2018
- Alaçam, E., Öszar, S., Kilicoglu, C., Güven, B., Izgür, H., Tekeli, T., Glatzel, P. (1985). Induction of oestrus in Saanen goats at early breeding season by intravaginal progesterone sponges (MAP) or by prostaglandin F_{2α} injections. Effect on different age groups. *Theriogenology*, 24(3), 283-291.
- Al-Azraqi, A.A. (2006). Effect of fasting on luteal function, leptin and steroids concentration during oestrous cycle of the goat in natural photo-status. *Anim Reprod Sci*, 98, 343-349.
- Alvarado-Espino, A.S., Menchaca, A., Meza-Herrera, C.A., Carrillo-Moreno, D.I., Zúñiga-García, S., Arellano-Rodríguez, F., Mellado, M., Véliz, F.G. (2019). Ovarian response is not affected by the stage of seasonal anestrus or breed of goats when using a progesterone injection plus human chorionic gonadotropin-based protocol. *Animal reproduction science*, 204, 60-65.
- Álvarez, L., Andrade, S. (2008). El efecto macho reduce la edad al primer estro y ovulación en corderas Pelibuey. *Archivos de zootecnia*, 57(217), 91-94.
- Andrade-Montemayor, H.M. (2017). Producción de Caprino en México. *VIII Foro Nacional del caprino(18)*, 24-27.
- Aréchiga, C.F., Aguilera, J.I., Rincón, R.M., Méndez de Lara, S., Bañuelos, V.R., Meza-Herrera, C.A. (2008). Situación actual y perspectivas de la producción caprina ante el reto de la globalización. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 9(1), 1-14.
- Arikan, S., Kalender, H., Simsek, O. (2010). Effects of Cholesterol on Progesterone Production by Goat Luteal Cell Subpopulations at Two Different Stages of the Luteal Phase. *Reprod Dom Anim*, 45, 434-439.

- Arrighi, S., Bosi, G., Frattini, S., Coizet, B., Groppetti, D., Pecile, A. (2016). Morphology and Aquaporin immunohistochemistry of the uterine tube of Saanen goats (*Capra hircus*): comparison throughout the reproductive cycle. *Reproduction in Domestic Animals*, 51(3), 360-369.
- Arroyo-Ledezma, J., Gallegos-Sánchez, J., Villa-Godoy, A., Valencia-Méndez, J. (2006). Sistemas neurales de retroalimentación durante el ciclo reproductivo anual de la oveja: Una revisión. *Interciencia*, 31(1), 8-15.
- Ávalos-Castro, R., Chávez-Ruíz, M.G. (2008). Guía para el manejo de rebaños caprinos en Baja California Sur. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Regional del Noroeste Campo experimental Todos Santos. La Paz, B.C.S: *INIFAP - Baja California Sur*.
- Avendaño, L., Álvarez, D., Correa, A. (2003). Induction of estrus and fertility using subcutaneous implants in anestrus dairy goats. *Interciencia*, 28(4), 225-228.
- Balaro, M.F.A., Brandão, F.Z., Maia, A.L.R.S., Souza-Fabjan, J.M.G., Cueto, M.I., Gibbons, A.E., Fonseca, J.F. (2016). Pre-Selection Test to Identify High Responder Donor Goats. *Reproduction in Domestic Animals*, 51(3), 386-391.
- Barrera, D., Avila, E., Díaz, L. (2007). Papel inmunológico de la gestación en el mantenimiento del embarazo. *Rev Invest Clin*, 59(2), 139-145.
- Barrios-Expósito, M.J. *Influencia de las gonadotropinas y la insulina en la incorporación de glucosa por el complejo ovocito-cumulus porcino durante la maduración in vitro*. [Tesis de Doctorado]. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Veterinarias. 2016.
- Bartolomé, J.A. (2009). Endocrinología y fisiología de la gestación y el parto en el bovino. Curso de Postgrado de Manejo Reproductivo en Bovinos Lecheros (págs. 20-28). Buenos Aires: *Facultad de Ciencias Veterinarias de la UNCPBA*.
- Battye, K.M., Fairclough, R.J., Cameron, A.W.N., Trounson, A.O. (1988). Evidence for prostaglandin involvement in early luteal regression of the superovulated nanny goat (*Capra hircus*). *Reproduction*, 84(2), 425-430.
- Bazer, F.W., Spencer, T.E., Ott, T.L. (1996). Placental Interferons. *Am. J. Reprod. Immunol.*, 35(4), 297-308.
- Beckett, D.M., Oppenheim, S.M., Moyer, A.L., BonDurant, R.H., Rowe, J.D., Anderson, G.B. (1999). Progesterin implants can rescue demi-embryo pregnancies in goats: a case study. *Theriogenology*, 51(8), 1505-1511.

- Burvenich, C. (1980). Variations of mammary artery blood flow and milk yield under normal conditions and during the oestrous cycle of the dairy goat. *Z Tierphysiol Tierernahr Futtermittelkd*, 43(1), 18-27.
- Bustos-Obregón, E., Torres-Díaz, L. (2012). Reproducción Estacional en el Macho. *International Journal of Morphology*, 30(4), 1266-1279.
- Carrillo-Díaz, F., Escalera-Valente, F., Martínez-González, S., Aguirre-Ortega, J., Barajas-Cruz, J., Romo-Javier, A.R., Oropeza-Bautista, G. (2013). La aplicación pos-monta del acetato de fluorogestona en la fertilidad y prolificidad de ovejas Pelibuey. *AbanicoVet*, 3(1), 12-17.
- Chao L.M., Takayama, K., Nakanishi, Y., Hamana, K., Takagi, M., Kubota, C., Kojima, T. (2008). Luteal lifespan and fertility after estrus synchronization in goats. *J. Vet. Sci.* 9(1):95-101.
- Chen, W., Yan, Q., Yang, H. (2019). Effects of restrictions on maternal feed intake on the immune indexes of umbilical cord blood and liver Toll-like receptor signaling pathways in fetal goats during pregnancy. *J Animal Sci Biotechnol* 10(29).
- Coniglio, M.V., Merkis, C.I., Diaz, T., Romanini, M.C., Turiello, M.P., Bozzo, A.A., Cots, D.S., Rolando, A.N. (2016). Efectos de la restricción alimentaria sobre el desarrollo de los vasos sanguíneos placentarios en cabras. *InVet*, 18(1),29-37
- Córdova-Izquierdo, A., Córdova-Jiménez, M.S., Córdova-Jiménez, C.A., Guerra-Liera, J.E. (2008). Procedimientos para aumentar el potencial reproductivo en ovejas y cabras. *Revista Veterinaria*, 19(1), 67-79.
- Cortés-López, N.G., Abad-Zavaleta, J., Bravo-Delgado, H.R., Meza-Villalvazo, V.M., Sachman-Ruiz, B., García-Arellano, C., del Moral Ventura, S.T. (2013). Efecto del acetato de fluorogestona en la microbiota vaginal de borregas pelibuey en la cuenca del Papaloapan. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 16(3), 309-314.
- Delgadillo, J.A. (2005). Inseminación artificial en caprinos. *Editorial Trillas*. México, D.F. ISBN 968-24-6242-8
- Diskin, M.G., Morris, D.G. (2008). Embryonic and early foetal losses in cattle and other ruminants. *Reproduction in Domestic Animals*, 43, 260-267.
- Diskin, M.G., Niswender, G.D. (1989). Effect of progesterone supplementation on pregnancy and embryo survival in ewes. *Journal of Animal Science*, 67(6), 1559-1563.
- Ducoin-Watty, A. (s.f.). Zootecnia de Caprinos. (UNAM, Editor) Obtenido de Apuntes de Zootecnia: http://www.fmvz.unam.mx/fmvz/p_estudios/apuntes_zoo/unidad_%205_zootecniadecaprinos.pdf

- Elizondo-Salazar, J.A. (2008). Requerimientos nutricionales de cabras lecheras. I. Energía metabolizable. *Agronomía Mesoamericana*, 19(1), 115-122.
- Elizondo-Salazar, J.A. (2008). Requerimientos nutricionales de cabras lecheras. II. Proteína metabolizable. *Agronomía Mesoamericana*, 123-130.
- Elizondo-Salazar, J.A. (2008). Requerimientos nutricionales de cabras lecheras. III. Minerales y vitaminas. *agronomía mesoamericana*, 19(2), 303-308.
- Escareño-Sánchez, L.M., Wurzinger, M., Pastor-López, F., Salinas, H., Sölkner, J., Iñiguez, L. (2011). La cabra y los sistemas de producción caprina de los pequeños productores de la Comarca Lagunera, en el norte de México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 17(Especial), 235-246.
- Espinosa M.M.A., Vera A.H.R., Villagómez A.M.E., Jiménez S.H., Herrero S.I.M., Villa G.A. (2013). Actividad lútea post-servicio en cabras con diferente condición nutricional. *XLIX Reunión nacional de investigación pecuaria*. Veracruz, Ver., México.
- FAO. (2018). FAOSTAT. Recuperado el 23 de septiembre de 2018, de Food and Agriculture Organization of the United Nations: <http://www.fao.org/faostat/en/#data>
- Fatet, A., Pellicer-Rubio, M.T., Leboeuf, B. (2011). Reproductive cycle of goats. *Animal Reproduction Sci.*, 124, 211–219.
- Ford, M.M., Young, I.R., Caddy, D.J., Thorburn, G.D. (1998). Fetal and Maternal Endocrine Changes Approaching Parturition in the Goat: Lack of Evidence for Prostaglandins E2 and F2 alpha as Signals for Luteolysis. *Biol. Reprod.*, 58, 1065-1070.
- Frandsen, R.D., Wilken, W.L., Fails, A.D. (2009). Anatomy and physiology of farm animals (Seventh ed.). Fort Collins, Colorado: *Wiley-Blackwell*.
- Gallego-Calvo, L., Gatica, M.C., Guzmán, J.L., Zarazaga, L.A. (2015). Reproductive performance response to the male effect in goats is improved when doe live weight/body condition score is increasing. *Animal Reproduction Sci*, 156, 51–57.
- Gaston-Parry, O., Heasman, K., Nemorin, J. K., Robinson, T.J. (1988). A radioimmunoassay for fluorogestone acetate (FGA) and its application to the measurement of plasma FGA and progesterone in ewes treated with FGA-impregnated intravaginal sponges. *Australian journal of biological sciences*, 41(1), 57-68.
- Gatica, M., Celi, I., Guzman, J.L., Zarazaga, L.A. (2012). Utilización de fotoperiodo e implantes de melatonina para el control de la reproducción en caprinos Mediterráneos. *REDVET*, 13(10), 1-15.

- Geisert, R.D., Fox, T.C., Morgan, G.L., Wells, M.E., Wettemann, R.P., Zavy, M.T. (1991). Survival of bovine embryos transferred to progesterone-treated asynchronous recipients, *Reproduction*, 92(2), 475-482.
- Giuliodori, M.J., Delavaud, C., Chilliard, Y., Becú-Villalobos, D., Lacau-Mengido, I., de la Sota, R.L. (2011). High NEFA concentrations around parturition are associated with delayed ovulations in grazing dairy cows. *Livestock Science*, 141(2-3), 123-128.
- Grazul-Bilska, A.T., Johnson, M.L., Borowicz, P.P., Bilski, J.J., Cymbaluk, T., Norberg, S., Reynolds, L.P. (2014). Placental development during early pregnancy in sheep: effects of embryo origin on vascularization. *Reproduction (Cambridge, England)*, 147(5), 639.
- Guerrero-Cruz, M.M. (2010). La Caprinocultura en México, una estrategia de Desarrollo. (UNAM, Editor) Recuperado el 20 de septiembre de 2018, de Revista Universitaria Digital de Ciencias Sociales: <http://virtual.cuautitlan.unam.mx/rudics/?p=403>
- Gurung, N.K., Solaiman, S.G. (2010). Goat Breeds. En S. G. Solaiman, Goat Science and Production (págs. 21-37). Iowa, USA: *Blackwell Publishing*.
- Härter, C.J., Castagnino, D.S., Rivera, A.R., Lima, L.D., Silva, H.G., Mendonça, A.N., Bonfim, G.F., Liesegang, A., St-Pierre, N., Teixeira, I.A. (2015). Mineral Metabolism in Singleton and Twin-pregnant Dairy Goats. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, 28(1), 37–49.
- Härter, C.J., Lima, L.D., Castagnino, D.S., Rivera, A.R., Nunes, A.M., Sousa, S.F., Liesegang, A., Resende, K.T., Teixeira, I.A.M.A. (2016). Mineral metabolism of pregnant goats under feed restriction. *Animal Production Science*.
- Härter, C.J., Lima, L.D., Castagnino, D.S., Silva, H.O., Figueiredo, F.O.M., St-Pierre, N.R., Resende, K.T., Teixeira, I.A.M.A. (2017). Net mineral requirements of dairy goats during pregnancy. *Animal*, 11(09), 1513–1521.
- Haruna, S., Kuroiwa, T., Lu, W., Zabuli, J., Tanaka, T., Kamomae, H. (2009). The Effects of Short-Term Nutritional Stimulus Before and After the Luteolysis on Metabolic Status, Reproductive Hormones and Ovarian Activity in Goats. *J. Reprod. Dev.*, 55(1), 39-44.
- He, Z.X., Sun, Z.H., Yang, W.Z., Beauchemin, K.A., Tang, S.X., Zhou, C.S., Han, X.F., Wang, M., Kang, J.M., Tan, Z.L. (2014). Effects of maternal protein or energy restriction during late gestation on immune status and responses to lipopolysaccharide challenge in postnatal young goats. *Journal of Animal Science*, 92(11), 4856–4864.

- Hernández, J.S., Pérez, A.R., Ramírez, H.R., Rivera, A.G., Reséndiz, M.R. (2012). Estrategias del Manejo del recurso Genético Caprino en Puebla, México. *Actas Iberoamericanas de Conservación Animal*, 2, 143-146.
- Hernández, Z.J.S. (2000). La caprinocultura en el marco de la ganadería poblana (México): contribución de la especie caprina y sistemas de producción. *Archivos de zootecnia*, 49(187), 341-352.
- Herrero, S.I.M., Vera, A.H.R., Jiménez, S.H., Castañeda, R.V., Montiel, O.L.J., Huerta, L.C., Villagómez-Amezcu, M.E., López, D.E.P., Espinoza, M.M.A., Montoya, F.M.D., Villa, G.A. (2011). Efecto de la condición nutricional pre y post-servicio sobre la gestación temprana en caprinos. *XXVI Reunión Nacional sobre Caprinocultura*, Querétaro, Qro, México.
- Hussain, Q., Havrevoll, Ø., Eik, L.O., Ropstad, E. (1996). Effects of energy intake on plasma glucose, non-esterified fatty acids and acetoacetate concentration in pregnant goats. *Small Ruminant Research*, 21(2), 89–96.
- INAFED. (2010). Enciclopedia de los municipios y delegaciones de Querétaro. (SEGOB, Editor) Recuperado el 20 de septiembre de 2018, de Instituto para el Federalismo y el Desarrollo Municipal: <http://siglo.inafed.gob.mx/enciclopedia/EMM22queretaro/index.html>
- INEGI. (2017). Anuario estadístico y geográfico de Querétaro 2017. Aguascalientes, México: *Instituto Nacional de Estadística y Geografía*.
- Intervet. (2007). Compendio de reproducción animal (Novena ed.). (M. Ptaszynska, J. J. Molina, Edits.) Uruguay: *Intervet*.
- Jobgen, W.S., Ford, S.P., Jobgen, S.C., Feng, C.P., Hess, B.W., Nathanielsz, P.W., Wu, G. (2008). Baggs ewes adapt to maternal undernutrition and maintain conceptus growth by maintaining fetal plasma concentrations of amino acids. *Journal of Animal Science*, 86(4), 820–826.
- Johnson, K.R., Ross, R.H., Fourt, D.L. (1958). Effect of Progesterone Administration on Reproductive Efficiency. *Journal of Animal Science*, 17(2), 386–390.
- Khan, J., Ludri, R. (2002). Changes in Blood Glucose, Plasma Non-esterified Fatty Acids and Insulin in Pregnant and Non-pregnant Goats. *Tropical Animal Health and Production*, 34, 81–90.
- Klein, B.G. (2013). *Cunningham's Textbook of Veterinary Physiology* (Fifth ed.). St. Louis, Missouri, United States: Elsevier Inc. ISBN: 978-1-4377-2361-8
- Larson, S.F., Butler, W.R., Currie, W.B. (1997). Reduced fertility associated with low progesterone postbreeding and increased milk urea nitrogen in lactating cows. *Journal of dairy science*, 80(7), 1288-1295.

- Lenis, Y., Ramón, N., Restrepo, J., Olivera, M., Tarazona, A. (2010). Interferón tau en la ventana de reconocimiento materno embrionario bovino. *Revista U.D.C.A Actualidad Divulgación Científica*, 13(1), 17-28.
- Lenz-Souza, M.I., Gressler, L., Alexandrino, M., Uribe-Velásquez, L.F. (2014). Interrelationships of nutrition, metabolic hormones and reproduction of female sheep. *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 9(2), 248-261.
- León-Velasco, H., Ruiz-Hernández, H., Ruiz-Moreno, A. (2016). Biotecnología Reproductiva en Rumiantes (Tercera ed.). Tuxtla Gutiérrez: *Universidad Autónoma de Chiapas*.
- Lonergan, P., Forde, N. (2015). The Role of Progesterone in Maternal Recognition of Pregnancy in Domestic Ruminants. *Advances in Anatomy, Embryology and Cell Biology*, 87–104.
- López, L. (2013). Caprinocultura y sustentabilidad en el semidesierto de Coahuila, México. Acta Científica XXIX Congreso de la Asociación Latinoamericana de Sociología 2013. Grupo de Trabajo 15, págs. 1-10. Chile: *Asociación Latinoamericana de Sociología*.
- López-Gatius, F., Santolaria, P., Yániz, J.L., Hunter, R.H.F. (2004). Progesterone supplementation during the early fetal period reduces pregnancy loss in high-yielding dairy cattle. *Theriogenology*, 62(8), 1529–1535.
- Macías-Cruz, U., Vicente-Pérez, R., Correa-Calderón, A., Mellado, M., Meza-Herrera, C.A., Avendaño-Reyes, L. (2017). Undernutrition pre-and post-mating affects serum levels of glucose, cholesterol and progesterone, but not the reproductive efficiency of crossbred hair ewes synchronized for estrus. *Livestock Science*, 205, 64-69.
- MacLaughlin, S.M., Walker, S.K., Roberts, C.T., Kleemann, D.O., McMillen, I.C. (2005). Periconceptional nutrition and the relationship between maternal body weight changes in the periconceptional period and feto-placental growth in the sheep. *The Journal of Physiology*, 565(1), 111-124.
- Malik, I.A., Durairajanayagam, D., Singh, H.J. (2019). Leptin and its actions on reproduction in males. *Asian journal of andrology*, 21(3), 296–299.
- Manes, J., Hozbor, F., Alberio, R., Ungerfeld, R. (2014). Intravaginal placebo sponges affect negatively the conception rate in sheep. *Small Ruminant Research*, 120(1), 108–111.
- Mani, A.U., Watson, E.D., McKelvey, W.A.C. (1993). The effects of subnutrition on the components of the gravid uterus in the doe. *Theriogenology*, 40(2), 287-294.
- Mann, G.E., Lamming, G.E. (2001). Relationship between maternal endocrine environment, early embryo development and inhibition of the luteolytic mechanism in cows. *Reproduction -Cambridge-*, 121(1), 175-180.

- Mejía, V.O., Murcía, M.J., Valencia, M.J., Espinosa, A.F. (2000). Administración posmonta de acetato de fluorogestona en ovejas donadoras de embriones. *Vet Mex*, 31(2), 129-135.
- Mellado, M., Pastor, F.J. (2006). Aborto no infeccioso en caprinos. *Ciência Animal Brasileira*, 7(2), 167-175.
- Mellado, M., Valdéz, R., García, J.E., López, R., Rodríguez, A. (2006). Factors affecting the reproductive performance of goats under intensive conditions in a hot arid environment. *Small Ruminant Research*, 63(1-2), 110–118.
- Menchaca, A., Rubianes, E. (2001). Effect of high progesterone concentrations during the early luteal phase on the length of the ovulatory cycle of goats. *Animal Reproduction Science*, 68(1-2), 69–76.
- Migaud, M., Dardente, H., Keller, M., Batailler, M., Meurisse, M., Pillon, D. (2016). Contrôle neuroendocrinien de la reproduction chez les mammifères. *INRA Productions Animales*, 29(4), 255-266.
- Monreal-Duenhas, A.C., Toniollo, H.G., Zorzatto, J.R., Bicudo, S.D. (2002). Cabras sincronizadas con CIDR en la latitud de 20°28'S. *Arch. Zootec*, 51, 453-456.
- Morgan, J., Lack, R., Robinson, T.J. (1967) The rate of absorption of SC-9880 from impregnated sponges inserted intravaginally in cyclic crossbred ewes. In: *The Control of the Ovarian Cycle in the Sheep*, Sydney University Press. Pág. 195-207.
- Nakao, N., Ono, H., Yoshimura, T. (2008). Thyroid hormones and seasonal reproductive neuroendocrine interactions. *Reproduction*, 136(1), 1.
- Nogueira, M.F.G., Melo, D.S., Carvalho, L.M., Fuck, E.J., Trinca, L.A., Barros, C.M. (2004). Do high progesterone concentrations decrease pregnancy rates in embryo recipients synchronized with PGF2 α and eCG? *Theriogenology*, 61(7-8), 1283–1290.
- Okumu, L.A., Forde, N., Fahey, A.G., Fitzpatrick, E., Roche, J.F., Crowe, M.A., Lonergan, P. (2010). The effect of elevated progesterone and pregnancy status on mRNA expression and localisation of progesterone and oestrogen receptors in the bovine uterus. *Reproduction*, 140(1), 143-153.
- Olazábal, F.A., Vera-Ávila, H.R., Serafín-López, N., Medrano-Hernández, J.A., Sánchez-Saucedo, H., Terrazas-García, A. M. (2013). Reconocimiento mutuo madre-cría en ovinos Columbia con restricción nutricional durante la gestación. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 4(2), 127-147.
- Parmar, S.C., Dharni, A.J., Hadiya, K., Parmar, C.P. (2017). Early embryonic death in bovines: An overview. *Raksha Tech. Review*, 4(1).
- Parr, M.H., Crowe, M.A., Lonergan, P., Evans, A.C.O., Rizos, D., Diskin, M.G. (2014). Effect of exogenous progesterone supplementation in the early

- luteal phase post-insemination on pregnancy per artificial insemination in Holstein–Friesian cows. *Animal Reproduction Science*, 150(1-2), 7–14.
- Penna, B., Libonati, H., Director, A., Sarzedas, A.C., Martins, G., Brandão, F.Z., Lilienbaum, W. (2013). Progestin-impregnated intravaginal sponges for estrus induction and synchronization influences on goats vaginal flora and antimicrobial susceptibility. *Animal reproduction science*, 142(1-2), 71-74.
- Pope, W., Cárdenas, H., Wiley, T., McClure, K., (1995). Dose-response relationships of exogenous progesterone shortly after ovulation on estrous cycle length, blastocyst development and fertility in sheep. *Animal Reproduction Science*, 38(1-2), 109–117.
- Pugh, D.G. (2002). *Sheep and Goat Medicine* (Primera edición ed.). Filadelfia, Estados Unidos: Saunders.
- Raso, M., Bottaro, H. (2005). Manejo Reproductivo caprino. *Ganadería, INTA*, 18, 75-80.
- Redden, R., Thorne, J.W. (2020). Reproductive management of sheep and goats. *Animal Agriculture*, 211–230.
- Reynolds, L.P., Biondini, M.E., Borowicz, P.P., Vonnahme, K.A., Caton, J.S., Grazul-Bilska, A.T., Redmer, D.A. (2005). Functional significance of developmental changes in placental microvascular architecture. *Endothelium*, 12(1-2), 11-19.
- Robinson, N.A., Leslie, K.E., Walton, J.S. (1989). Effect of treatment with progesterone on pregnancy rate and plasma concentrations of progesterone in Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 72(1), 202-207.
- Robinson, T.J. (1967). Control of the ovarian cycle in the sheep. In *Reproduction in the female mammal* (pp. 373-418). Springer, Boston, MA.
- Romero, R.C.M., López, G., Luna, M.M. (1998). Abortion in goats associated with increased maternal cortisol. *Small Ruminant Research*, 30(1), 7–12.
- Rumball, C.W., Bloomfield, F.H., Oliver, M.H., Harding, J.E. (2009). Different periods of periconceptional undernutrition have different effects on growth, metabolic and endocrine status in fetal sheep. *Pediatric Research*, 66(6), 605-613.
- Sahlu, T., Fernandez, J.M., Lu, C.D., Potchoiba, M.J. (1992). Influence of Dietary Protein on Performance of Dairy Goats During Pregnancy. *Journal of Dairy Science*, 75(1), 220–227.
- Sánchez-López, R.A., Vera-Ávila, H.R., Andrade-Montemayor, H.M., Urrutia-Morales, J. (2017). Estrategias farmacológicas para mejorar la fertilidad en cabras bajo estrés nutricional. *Memorias del 5º Encuentro de Jóvenes Investigadores del Estado de Querétaro*. Querétaro, Qro., México.

- Satterfield, M.C., Bazer, F.W., Spencer, T.E. (2006). Progesterone regulation of preimplantation conceptus growth and galectin 15 (LGALS15) in the ovine uterus. *Biology of reproduction*, 75(2), 289-296.
- Smith, M.C., Sherman, D.M. (2009). *Goat Medicine* (Segunda ed.). Iowa, USA: Wiley-Blackwell. ISBN: 978-0-781-79643-9
- Souza, F.A., Osorio, J.P., Abisai, D., do Vale Filho, V.R.R., Marc, H., Jaramillo, L.C., Arias, S.A. (2011). Foliculogénesis y ovulación en la especie equina. *Revista de Medicina Veterinaria*, (22), 43-50.
- Stocco, C., Telleria, C., Gibori, G. (2007). The molecular control of corpus luteum formation, function, and regression. *Endocrine reviews*, 28(1), 117-149.
- Suguna, K., Mehrotra, S., Agarwal, S.K., Hoque, M., Shanker, U., Singh, S.K., Varshney, V.P. (2009). Effect of exogenous insulin administration on ovarian function, embryo/fetal development during pregnancy in goats. *Animal Reproduction Science*, 111(2-4), 202–213.
- Torres-Carreón, S. *Caracterización de la caprinocultura en la región centro-sureste del municipio de Parras de la Fuente, Coahuila*. [Tesis de licenciatura] Saltillo, Coahuila, México: Univerisdad Autónoma Agraria Antonio Narro. 2015
- UAQ. (2018). Campus Amazcala - Posta Zootécnica. Obtenido de Facultad de Ciencias Naturales UAQ: <http://fcn.uaq.mx/index.php/programas/licenciaturas/medicina-vet-zoo/campus-amazcala?showall=&start=1>
- Urrutia, J.M., Vázquez, H.G.G., Andrade, B.M.R. (2003). Influencia del pastoreo restringido en el efecto macho en cabras en baja condición corporal durante la estación de anestro. *Técnica Pecuaria en México*, 41(3), 251-260.
- Urrutia, J.M, Meza-Herrera, C.A., Escobar-Medina, F.J., Gamez-Vazquez, H.G., Ramirez-Andrade, B.M., Diaz-Gomez, M.O., Gonzalez-Bulnes, A. (2009). Relative roles of photoperiodic and nutritional cues in modulating ovarian activity in goats. *Reproductive Biology*, 9(3), 283-294.
- Van Cleeff, J., Drost, M., Thatcher, W.W. (1991). Effects of postinsemination progesterone supplementation on fertility and subsequent estrous responses of dairy heifers. *Theriogenology*, 36(5), 795–807.
- Vera, H.R., Urrutia, M.J., Espinosa, M.M., Estrada, C.E., Jiménez, S.H. (2013). Nutrición, estacionalidad reproductiva y mantenimiento de la gestación en caprinos (Vol. Libro técnico núm. 21). Ajuchitlán, Querétaro, México: INIFAP-CENID Fisiología y mejoramiento animal. ISBN: 978-607-37-0221-8
- Vera-Avila, H.R., Urrutia-Morales, J., Espinosa-Martinez, M.A., Gamez-Vazquez, H.G., Jimenez-Severiano, H., Villagomez-Amezcu, E. (2017). Body condition and stage of seasonal anestrus interact to determine the ovulatory

- response after male biostimulation in anovulatory Criollo Nubian goats. *Animal Science Journal*, 88(6), 841-846.
- Vicente-Pérez, R., Osorio-Marín, Y., López-Baca, M.A., Avendaño-Reyes, L., Correa-Calderón, A., Mellado, M., Lara-Rivera, A.L., Meza-Herrera, C.A., Macías-Cruz, U. (2017). Peri-Conceptional undernutrition in twin bearing ewes: Effect on early fetal growth and birth weight. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 4(12), 419-429.
- Villa-Godoy, A., Hughes, T. L., Emery, R. S., Chapin, L. T., Fogwell, R. L. (1988). Association between energy balance and luteal function in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 71(4), 1063-1072.
- Vonnahme, K.A., Hess, B.W., Nijland, M.J., Nathanielsz, P.W., Ford, S.P. (2006). Placentomal differentiation may compensate for maternal nutrient restriction in ewes adapted to harsh range conditions. *Journal of Animal Science*, 84(12), 3451-3459.
- Walkden-Brown, S.W., Martin, G.B., Restall, B.J. (1999). Role of male-female interaction in regulating reproduction in sheep and goats. *J. Reprod. Fertil.*, 52, 243-257.
- Wheaton, J.E., Carlson, K.M., Windels, H.F., Johnston, L.J. (1993). CIDR: A new progesterone-releasing intravaginal device for induction of estrus and cycle control in sheep and goats. *Animal Reproduction Science*, 33(1-4), 127-141.
- Widiyono, I., Sarmin, S., Yanuartono, Y. (2020). Influence of body condition score on the metabolic and reproductive status of adult female Kacang goats. *Journal of Applied Animal Research*, 48(1), 201-206.
- Wiltbank, J.N., Hawk, H.W., Kidder, H.E., Black, W.G., Ulberg, L.C., Casida, L.E. (1956). Effect of progesterone therapy on embryo survival in cows of lowered fertility. *Journal of Dairy Science*, 39(4), 456-461.
- Zabuli, J., Tanaka, T., Lu, W., Kamomae, H. (2010). Intermittent nutritional stimulus by short-term treatment of high-energy diet promotes ovarian performance together with increases in blood levels of glucose and insulin in cycling goats. *Animal Reproduction Science*, 122(3-4), 288-293.
- Zhang, S., Williams-Wyss, O., MacLaughlin, S.M., Walker, S.K., Kleemann, D.O., Suter, C.M., McMillen, I.C. (2013). Maternal undernutrition during the first week after conception results in decreased expression of glucocorticoid receptor mRNA in the absence of GR exon 1 7 hypermethylation in the fetal pituitary in late gestation. *Journal of developmental origins of health and disease*, 4(5), 391-401.
- Zimbelman, R.G., Loy, R.G., Casida, L.E. (1961). Effect of exogenous progesterone on the bovine corpus luteum of early pregnancy. *Journal of Animal Science*, 20(1), 106-108.

XI. ANEXOS

11.1. Requerimientos nutricionales para cabras lecheras en etapas de crecimiento (hasta los 18 meses).

Energía metabolizable (EM):

- EM de Mantenimiento: $0.128 \text{ Mcal/ Kg PV}^{0.75}$
- EM para ganancia de peso: $0.00552 \text{ Mcal/ g GDP}$

Donde:

- $PV^{0.75}$: Peso metabólico
- g GDP: Ganancia diaria de peso (gramos)

(Elizondo-Salazar, 2008^a)

Proteína metabolizable (PM):

- PM de mantenimiento: $3.07 \text{ g/ Kg PV}^{0.75}$
- PM para ganancia de peso: 0.29 g/ g GDP

Nota: Para convertir PM en proteína cruda (PC), se divide la cantidad de PM entre los factores de 0.64 a 0.8 para obtener el valor aproximado de PC. Esto es así puesto que estos factores representan la fracción de PC que es aprovechada por el animal, la cual oscila entre el 64 y 80% de la PC presente en las dietas (Elizondo-Salazar, 2008^b).

Minerales y vitaminas:

Mantenimiento:

- Calcio (g): $\frac{(0.623 \times CMS) + 0.228}{0.45}$
- Fósforo (g): $\frac{0.081 + (0.88 \times CMS)}{0.65}$
- Vitamina A (ER): $31.40 \times PV$
- Vitamina E (UI): $5.3 \times PV$

Ganancia de peso:

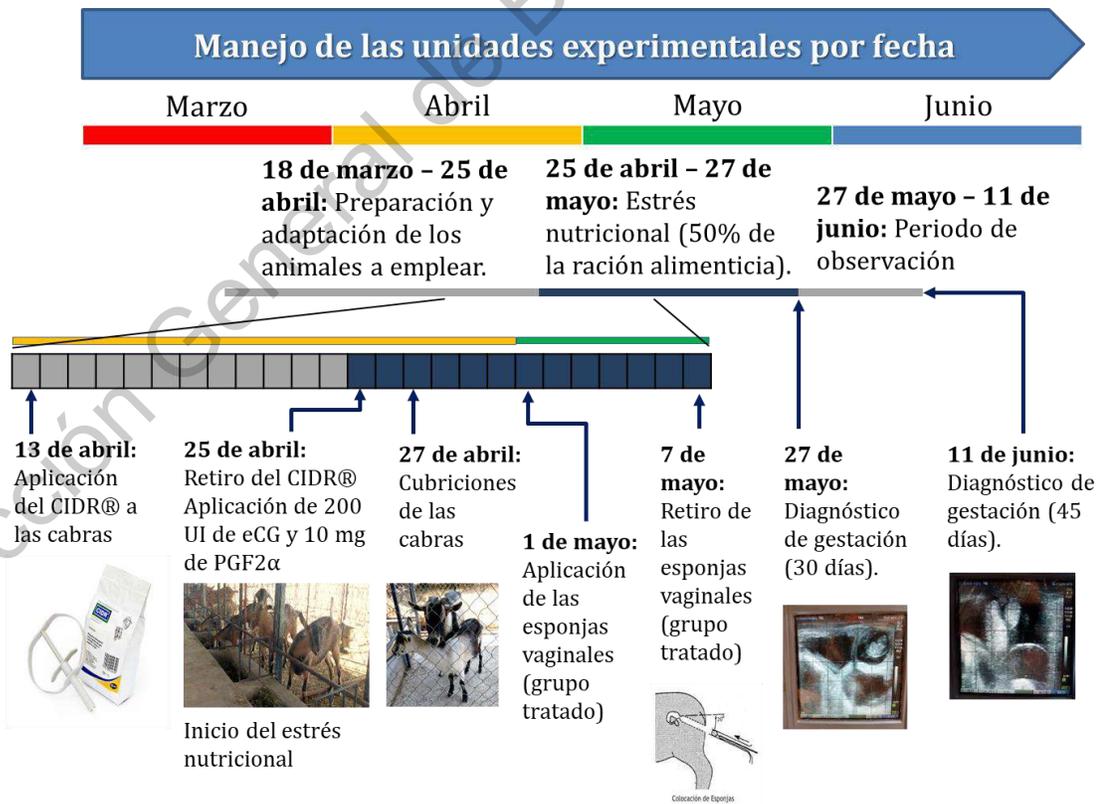
- Calcio (g): $11 \times \text{g GDP} / 0.45$
- Fósforo (g): $6.5 \times \text{g GDP} / 0.65$
- Vitamina A (ER): $100 \times \text{PV}$
- Vitamina E (UI): $10 \times \text{PV}$

Donde:

- CMS: Consumo de materia seca
- PV: Peso vivo
- g: Gramos
- ER: Equivalentes a retinol
- UI: Unidades internacionales

(Elizondo-Salazar, 2008^c)

11.2. Manejo de las unidades experimentales



11.3. Proceso de activación sexual de los machos (Tratamiento fotoperiódico)

