

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



Testosterona plasmática en machos cabríos durante el primer contacto socio-sexual
con hembras anéstricas

Por:

Jasiel Bartolo Salvera

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Torreón, Coahuila, México
Junio 2025

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

Testosterona plasmática en machos cabríos durante el primer contacto socio-sexual
con hembras anéstricas

Por:

Jasiel Bartolo Salvera

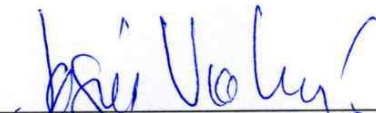
TESIS

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

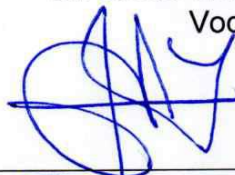
MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Aprobada por:


Dra. Ilda Graciela Fernández García
Presidente


Dr. Jesús Vielma Sifuentes
Vocal


Dr. José Alfredo Flores Cabrera
Vocal


Dr. Juan Carlos Martínez Alfaro
Vocal suplente


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



Torreón, Coahuila, México
Junio 2025

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS MÉDICO VETERINARIAS

Testosterona plasmática en machos cabríos durante el primer contacto socio-sexual
con hembras anéstricas

Por:

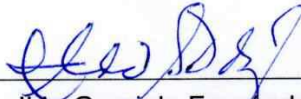
Jasiel Bartolo Salvera

TESIS

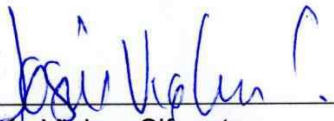
Presentado como requisito parcial para obtener el título de:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dra. Ilda Graciela Fernández García
Asesor Principal



Dr. Jesús Vielma Sifuentes
Coasesor



Dr. José Alfredo Flores Cabrera
Coasesor



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



Torreón, Coahuila, México
Junio 2025

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por cuidarme y acompañarme durante todo mi proceso académico, agradezco los conocimientos brindados y las fuerzas de seguir adelante en aquellos momentos difíciles, además de poner en mi camino a personas tan especiales.

A mis padres, Jorge Bartolo Garay y Maribel Salvera Rojas, por el apoyo constante para alcanzar mis objetivos académicos y personales, proporcionando cariño, motivación y recursos económicos que fueron necesarios para culminar mis estudios.

A mis hermanos, Oscar Bartolo Salvera e Idanelly Bartolo Salvera, por formar parte de mis estudios al brindarme apoyo emocional principalmente y consejos sobre cómo afrontar la carrera.

A mi tutora, la Dra. Ilda Graciela Fernández, expresó mi agradecimiento por la dedicación, guía y consejos recibidos, fundamentales para alcanzar esta instancia en mi futuro profesional.

A mi *Alma Mater*, la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, que me ha exigido tanto, pero al mismo tiempo por ser la Institución Formadora de Profesionales que merecen todo el reconocimiento institucional.

A mis docentes, les doy gracias por formar parte de mi futuro profesional, al brindarme su guía, conocimientos y dedicación, que me dio la motivación necesaria para culminar la carrera.

DEDICATORIA

A Dios, quien me dio la dicha de vivir, para lograr mis sueños y lograr este tipo de metas que en la vida son únicas.

A mis padres, Jorge Bartolo Garay y Maribel Salvera Rojas, por todo el apoyo emocional, por confiar en mí y por todo el amor que me dieron a lo largo de estos años, sin su apoyo y sacrificios no podría lograr este triunfo.

A mi abuelo, Valentín Bartolo Vilchis, por darme el gusto y la pasión por los animales, por confiar en que culminaría la carrera y que me esperaba un futuro prometedor, un abrazo hasta el cielo.

A mis profesores y mentores, por todos sus conocimientos brindados además de la pasión por enseñar que tuvieron durante cada semestre.

A mi querida *Alma Mater*, que sin esta institución no pudiese estar celebrando este triunfo.

A mis amigos, Cristian, Uriel, Nico y Luis, por las risas y el apoyo que nos brindamos durante mucho tiempo. Por aquellas pláticas de motivación y por todos esos momentos de diversión que pasamos juntos.

RESUMEN

La finalidad de esta investigación fue comprobar que los machos cabríos colocados en corrales individuales disminuyen la concentración de testosterona plasmática en comparación de aquellos situados en un mismo corral, al primer encuentro socio-sexual con hembras anéstricas. Diez machos cabríos se utilizaron, los cuales percibieron durante 2.5 meses (Nov 1 – Ene 15) un tratamiento lumínico de días artificiales largos (luz 16 h/día y oscuridad 8 h/día). Los animales experimentales se dividieron en 2 grupos ($n = 5$) a los 11 meses de edad. El primer grupo permaneció en el mismo corral (5 x 8 m), y en el segundo se colocaron los machos individualmente (corrales de 2 x 2 m). Cada macho de un grupo fue puesto en un grupo de hembras anéstricas ($n = 10$). Durante las 20 semanas que se realizó el muestreo sanguíneo no se encontró diferencia de los niveles plasmáticos de testosterona entre los 2 grupos de machos, los machos colocados en el mismo corral registraron 4.37 ± 0.28 ng/ml y en los colocados individualmente fue de 4.08 ± 0.38 ng/ml ($P > 0.05$). Se demuestra que los machos cabríos sin experiencia sexual fotoestimulados colocados en corrales individuales y los situados en un mismo corral exhibieron concentraciones similares de testosterona plasmática.

Palabras clave: Machos cabríos, Testosterona plasmática, Aislamiento social, Experiencia sexual, Efecto macho

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	i
DEDICATORIA	ii
RESUMEN.....	iii
ÍNDICE GENERAL.....	iv
INDICE DE CUADROS	vi
INDICE DE FIGURAS	vii
I. INTRODUCCIÓN	1
HIPÓTESIS	3
OBJETIVOS	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1 Estacionalidad y su relación con el fotoperiodo en cabras y ovejas	4
2.1.1 Características reproductivas en latitudes templadas y tropicales	4
2.1.2 Los pequeños rumiantes como reproductores de días cortos	7
2.2 Actividad sexual en caprinos en latitudes subtropicales de México.....	9
2.3 El papel de la melatonina en la reproducción de cabras y ovejas	11
2.4 Neuroendocrinología de la reproducción	13
2.4.1 En machos	14
2.4.2 En hembras	16
2.5 Efecto macho.....	18
2.5.1 Comportamiento sexual del macho cabrío.....	21
2.5.2 Respuesta de los machos al tratamiento fotoperiódico	23
2.5.3 Respuesta de las hembras anéstricas al efecto macho	25
2.6 Factores que influyen en el efecto macho	26

2.7 La experiencia sexual como factor que influye en el efecto macho	29
2.7.1 Experiencia sexual en machos	29
III. MATERIALES Y MÉTODOS	31
3.1 Localización del área del estudio	31
3.2 Descripción y manejo de los grupos experimentales	31
3.3 Inducción de la actividad sexual a los machos cabríos mediante tratamiento lumínico	31
3.4 Hembras anéstricas	33
3.5 Efecto macho	34
3.6 Variables a determinar	34
3.6.1 Machos	34
3.7 Nota ética	35
3.8 Análisis estadístico	35
IV. RESULTADOS	36
4.1 Concentración plasmática de testosterona	36
4.2 Comportamiento sexual de los machos cabríos	37
V. DISCUSIÓN	39
VI. CONCLUSIÓN	42
VII. LITERATURA CITADA	43

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1 Porcentaje de estros y ovulaciones en cabras criollas recibiendo 2 niveles de alimentación durante la época de cría en 2 periodos. (Tomado de Rosales-Nieto et al., 2006).	10
Cuadro 2 Conducta sexual del macho cabrío (Tomado de Espinosa-Cervantes et al., 2014).	22
Cuadro 3 Interacciones entre la raza y la edad (experiencia sexual) de los carneros, que influyen en su comportamiento sexual [medias por mínimos cuadrados ($\pm$ s.e.); modificado de Simitzis et al., 2006].	30

INDICE DE FIGURAS

Figura 1	Actividad ovulatoria estacional de cabras locales del subtrópico mexicano (26°N) bien alimentadas y expuestas al fotoperiodo natural (Modificada de Duarte et al., 2008).....	5
Figura 2	Variaciones estacionales (media $\pm$ ee) del peso testicular (a) y las concentraciones plasmáticas de testosterona (b) de los machos cabríos locales del norte de México mantenidos en estabulación (Modificada de Delgadillo et al., 1999).....	6
Figura 3	Regulación en la reproducción estacional en la oveja. Acción del fotoperiodo para sincronizar un proceso interno (~); acción del fotoperiodo para inhibir la actividad reproductiva (-); acción del fotoperiodo para mantener la actividad reproductiva (mediante efectos estimulantes (+/~) (Tomado de Malpaux et al., 1989).....	8
Figura 4	Niveles de secreción de melatonina durante los días largos y cortos mediante el tracto neuroendocrino (Tomado de Revel et al., 2009).	11
Figura 5	Eje de regulación neuroendocrina del macho. Las neuronas de los núcleos hipotalámicos secretan GnRH, estimulando las gonadotropinas de la adenohipófisis (Tomado de Arellano-Lezama, 2017).....	15
Figura 6	Las hormonas esteroideas secretadas por el ovario regulan las células GnRH a través de intermediarios neuronales en el cerebro (Tomada de Clarke y Pompolo, 2005).....	17
Figura 7	Proporción de hembras anestricas que responden al efecto macho; (a) grupo de hembras en estro expuestas a machos sexualmente inactivos (SI + E); (b)	

grupo de hembras en estro en contacto con machos sexualmente activos (SA + E) (Modificado de Véliz et al., 2002).....	19
Figura 8 Conducta sexual de machos cabríos en contacto con hembras anéstricas; machos sexualmente inactivos (SI); machos sexualmente inactivos, el grupo de hembras contenía 3 en estro (SI+E); machos sexualmente activos (Tomado de Véliz et al., 2002).....	21
Figura 9 Variaciones de los niveles de testosterona plasmática de (promedio $\pm$ EEM) en 2 grupos de machos cabríos locales del norte de México (26°N) expuestos a variaciones naturales del fotoperiodo (testigo $\circ$), y a 2.5 meses de días artificiales largos (16 h de luz/día) iniciando en noviembre (DL $\blacksquare$) (Modificado de Delgadillo et al., 2002).....	24
Figura 10 Proporción de hembras anéstricas mostrando estros después de la introducción de machos sexualmente activos (tratados con 2.5 meses de días artificiales largos, $\bullet$); no se observó estro en el grupo de hembras expuestas a machos sexualmente inactivos ($\circ$) (Tomado de Flores et al., 2000).	26
Figura 11 Las señales responsables del efecto macho sobre la secreción de GnRH son principalmente odoríferas ajustándose a la definición de feromona. Las señales pueden influir en los centros reproductores del cerebro a través de vías que comienzan en la mucosa olfativa y el bulbo olfativo principal (líneas discontinuas), o en el órgano vomeronasal y el bulbo olfativo accesorio (líneas continuas), o en ambos (Tomado de Delgadillo et al., 2009).	28

Figura 12 Corral de machos cabríos colocados en un mismo corral. Los machos experimentaron comunicación social total entre ellos mediante señales individuales, auditivas, táctiles y olfativas.....	32
Figura 13 Corral de machos cabríos colocados individualmente. Estos machos se restringieron de contacto visual, olfativo, auditivo y táctil, ya que los separaba dos tarimas de madera con el corral adyacente.	33
Figura 14 Concentraciones de testosterona plasmática (media $\pm$ ee) en machos cabríos sexualmente inexpertos fotoestimulados colocados en un mismo corral (■) y machos sexualmente inexpertos fotoestimulados colocados en corrales individuales (□), durante el primer encuentro socio-sexual con hembras anéstricas. (* $P>0.05$) (** $P<0.001$).	37
Figura 15 Comportamiento sexual (media $\pm$ ee) en machos sexualmente inexpertos fotoestimulados colocados en un mismo corral (■) y machos sexualmente inexpertos fotoestimulados colocados individualmente en corrales (□), durante el primer encuentro socio-sexual con hembras anéstricas. (* $P>0.05$) (** $P<0.0001$).	38

I. INTRODUCCIÓN

Se considera que el poblamiento a nivel global de caprinos es de 720 millones. Distribuidos de cómo se indica a continuación: Asia (55.4%), África (29.8%), Sudamérica (7.3%), Europa (4.4%), Norte y Centro América (3%), Islas del Pacífico (0.1%) (Aréchiga *et al.*, 2008). Esto indica que la mayoría de la producción de pequeños rumiantes (95%), en particular los caprinos se encuentran en aquellos países en vías de desarrollo, siendo su función principal la producción de doble propósito, es decir producir carne y leche. En cambio, en los países desarrollados, estos aportan en muy poca medida a la producción caprina (5%), y su objetivo es la producción lechera (Bidot-Fernández, 2017).

En la república mexicana se encuentra el 1.33% de la población mundial caprina (Aréchiga *et al.*, 2008); sin embargo, se caracteriza por ser un país importante en la producción caprina en Centro América y América del Sur, ya que, actualmente cuenta con una población estimada de 8,824,664 animales (SIAP, 2022). La Comarca Lagunera, comprende cinco municipios de Coahuila y diez de Durango, es una región agrícola y ganadera, situada en el norte del país, siendo la zona más significativa en la obtención de leche caprina (Hoyos y Salinas, 1994; Escareño-Sánchez *et al.*, 2011), contando con una población de 406,054 caprinos. También los estados con alta densidad de caprinos son: Puebla (1,118,730), Oaxaca (1,099,863), San Luis Potosí (769,530), Zacatecas (754,203) y Coahuila (707,697) (SIAP, 2022).

Un aspecto a considerar en el desarrollo de los caprinos es la estacionalidad que presentan en su reproducción afectando la rentabilidad del hato caprino, debido a los largos periodos restringidos de producción de leche y a los intervalos prolongados entre partos que reducen la cantidad de crías para la reposición del rebaño (Mellado y Hernández, 1996). Una opción para suprimir la estacionalidad en la reproducción del macho y en la hembra es mediante el uso del efecto macho, esta técnica requiere poca inversión y mano de obra, siendo la mejor opción para productores de sistemas extensivos (Luna-Orozco *et al.*, 2011). La técnica del efecto macho se basa en llevar un macho sexualmente activo a un grupo de hembras anovulatorias, donde el semental estimula los mecanismos que participan en los procesos sexuales de dichas hembras en pocos días (Delgadillo *et al.*, 2001; Bedos *et al.*, 2010, 2012).

La experiencia sexual es un aspecto que puede variar la función reproductiva de las hembras ovinas y caprinas (Gelez *et al.*, 2004; Fernández *et al.*, 2011). Encontrándose que las ovejas vírgenes, parecen estar temerosas cuando tienen la primera interacción con el macho (Gelez *et al.*, 2004). Asimismo, los carneros vírgenes durante la primera interacción con las hembras también exhiben un comportamiento sexual de menor intensidad (Katz *et al.*, 1988; Price *et al.*, 1991).

Entonces, la presente investigación se elaboró con el fin de comprender la respuesta fisiológica, mediante la medición de testosterona plasmática y conductual a través de pruebas de comportamiento sexual, de machos cabríos durante el primer encuentro socio-sexual con hembras caprinas anéstricas.

HIPÓTESIS

La concentración plasmática de testosterona es menor en aquellos machos cabríos que se mantuvieron en corrales individuales al primer encuentro con hembras anéstricas.

OBJETIVOS

Comprobar si en los machos cabríos colocados en corrales individuales disminuyen la concentración de testosterona plasmática comparados con los machos colocados en un mismo corral durante la primera interacción socio-sexual con hembras anéstricas.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Estacionalidad y su relación con el fotoperiodo en cabras y ovejas

Una frecuente distinción en un alto número de especies silvestres son las actividades reproductivas se llevan a cabo en ciertas épocas del año con el objetivo de que en la mejor época del año sucedan los partos, permitiendo que el recién nacido crezca bajo condiciones favorables de calor y acceso de alimento (Thiéry *et al.*, 2002). Es importante destacar que la reproducción estacional ocurre principalmente en especies silvestres como resultado de la selección natural, de esta manera la domesticación animal y la selección artificial han contribuido a minimizar los efectos de la estacionalidad en la actividad de los procesos reproductivos (Rosa y Bryant, 2003).

Diversas causas ambientales de mayor relevancia para la reproducción en mamíferos es el ciclo día y de la noche (fotoperiodo), el acceso al alimento, la lluvia, así como una gran variedad de señales sensoriales como es el caso de la presencia de individuos de género opuesto (López-Vargas *et al.*, 2011). El fotoperiodo son las horas luz durante el día a través del año (Robinson *et al.*, 1985; Gallegos-Sánchez, 2013), en los pequeños rumiantes se considera la principal señal que influye en el ritmo circanual endógeno de la reproducción, para hacerle frente a los recursos ambientales disponibles, mejorando así su éxito reproductivo y la perpetuación de dichas especies estacionales (Delgadillo *et al.*, 2014). Los cambios en el fotoperiodo regulan la estacionalidad reproductiva que presentan los ovinos y caprinos (Flores-Nájera *et al.*, 2021).

2.1.1 Características reproductivas en latitudes templadas y tropicales

Las variaciones que existen en las horas diaria de luz (fotoperiodo), son más evidentes a medida que aumenta la latitud (Nuñez-Favre *et al.*, 2013), de este modo, las hembras y machos de caprinos como de ovinos que son originarios de regiones templadas (latitudes medias o altas), son reproductores estacionales que utilizan la variación anual del fotoperiodo para cronometrar su ciclo reproductivo anual, en cambio, razas originarias de regiones tropicales y subtropicales (latitudes bajas), su actividad reproductiva no es estacional presentando ciclicidad reproductiva la mayor parte del año, siendo la calidad y disponibilidad del alimento quienes dictan dicha actividad reproductiva

(Rosa y Bryant, 2003). De hecho, en poblaciones de ovinos criados cerca de la línea ecuatorial, el intervalo entre 2 partos consecutivos es cercano a 250 días, es decir, el periodo de anestro posparto es corto; sin embargo, a medida que incrementa la latitud de igual manera incrementa el intervalo entre partos, alcanzando casi 1 año de intervalo entre partos en latitudes superiores a 30° (Delgadillo *et al.*, 1997).

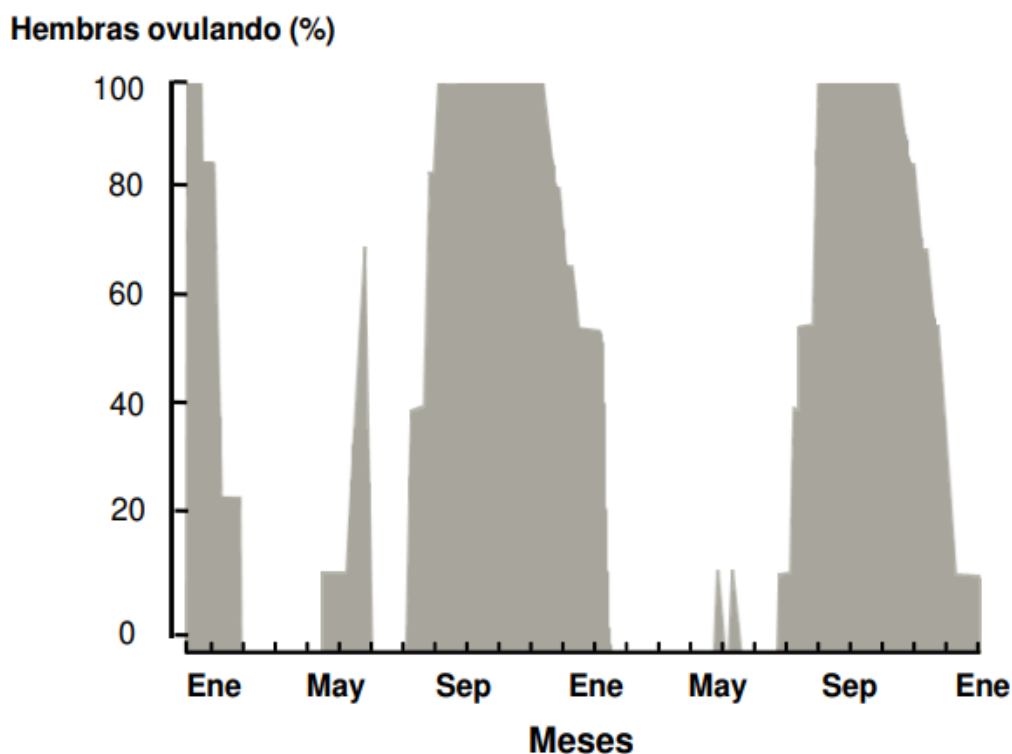


Figura 1 Actividad ovulatoria estacional de cabras locales del subtrópico mexicano (26°N) bien alimentadas y expuestas al fotoperiodo natural (Modificada de Duarte *et al.*, 2008).

En regiones frías y templadas el periodo de nacimientos de los pequeños rumiantes ocurre a finales de marzo (inicio de la primavera) o a finales de junio (inicio del verano), mientras que en regiones de climas cálidos y áridos coincide con la temporada de lluvias (Rosa y Bryant, 2003; Nuñez-Favre *et al.*, 2013), siendo así que, en las regiones templadas las hembras tienen una sucesión de estro y ovulación durante los días cortos (menguentes) de otoño e invierno y un intervalo de anestro estacional y anovulación durante los días crecientes de primavera y verano (Duarte *et al.*, 2008;

Figura 1), en esta temporada de anestro estacional se caracteriza por una ausencia casi total de los mecanismos ovulatorios (Chemineau y Delgadillo, 1994), por lo tanto, las hembras dejan de ciclar cada año durante aproximadamente 5 meses (Delgadillo *et al.*, 2014). Mientras que en los sementales durante la temporada reproductiva el peso de los testículos, los niveles plasmáticos de la testosterona, las conductas sexuales, así como, la producción del esperma tanto calidad como en cantidad se aumenta. En cambio, estos indicadores durante el intervalo de inactividad sexual se encuentran en un nivel basal o bajos (Delgadillo *et al.*, 2002; Figura 2). Además, en las regiones tropicales las razas locales de cabras pueden reproducirse durante todo el año, pero los factores medioambientales, especialmente la alimentación, pueden provocar un descenso en el rendimiento reproductivo (Delgadillo *et al.*, 1997).

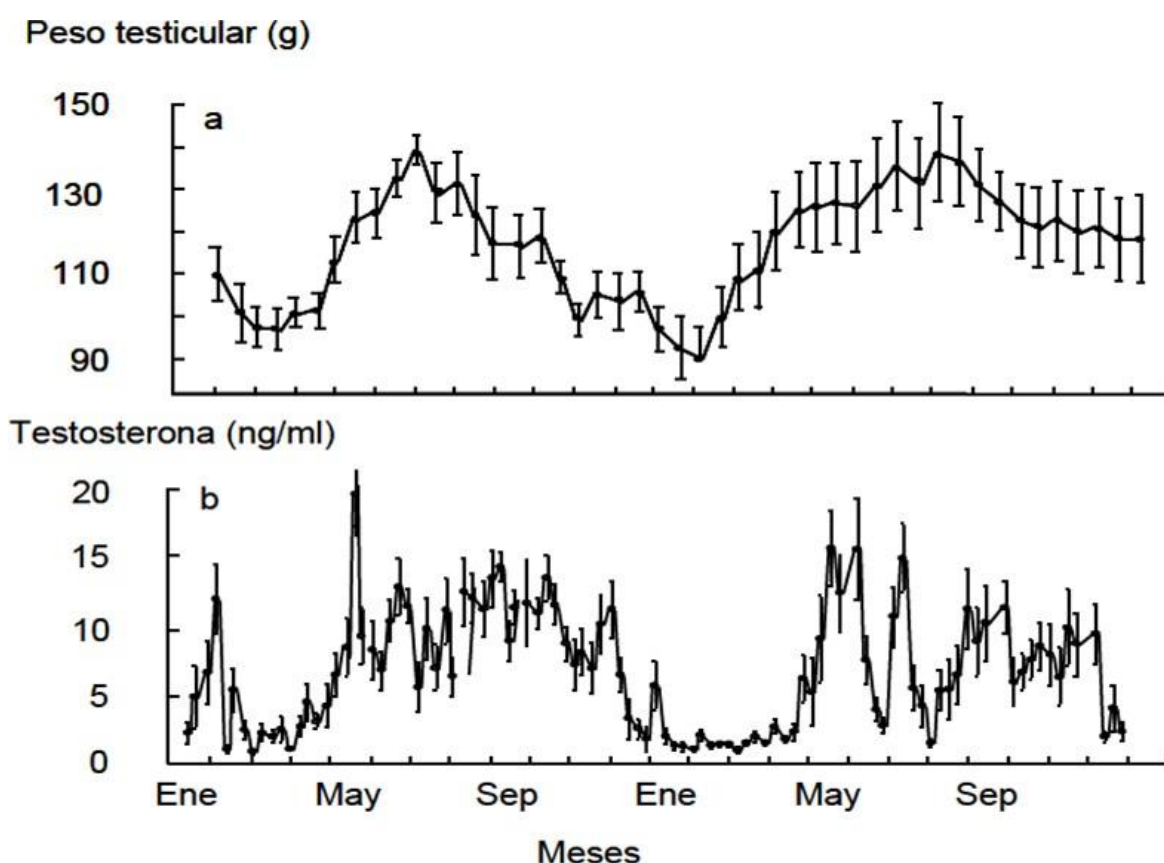


Figura 2 Variaciones estacionales (media $\pm$ ee) del peso testicular (a) y las concentraciones plasmáticas de testosterona (b) de los machos cabríos locales del norte de México mantenidos en estabulación (Modificada de Delgadillo *et al.*, 1999).

2.1.2 Los pequeños rumiantes como reproductores de días cortos

La variación de especies que dependen del fotoperiodo para armonizar su ciclo reproductivo se clasifica comúnmente en 2 categorías diferentes y son los reproductores de días largos y aquellos de días cortos (Rosa y Bryant, 2003). Los pequeños rumiantes son reproductores de días cortos, como ya se había mencionado anteriormente, sus procesos reproductivos inician cuando las horas luz disminuyen (Thiéry *et al.*, 2002), en regiones templadas este periodo corresponde a otoño e invierno (Delgadillo *et al.*, 1997). Sin embargo, si un pequeño rumiante se expone a un fotoperiodo estable por largos periodos de tiempo, pierde la función reproductiva a ese fotoperiodo y se dice que es fotorefractario, las ovejas también pueden ser refractarias a los días largos y cortos (Rosa y Bryant, 2003). De esta manera, las ovejas comienzan a reproducirse porque se vuelven insensibles a las acciones inhibitorias de los días largos (fotorefractarias a los días largos), no porque sean inducidas activamente a reproducirse mediante días cortos o decrecientes, y el inicio del anestro no se debe a la llegada de los días largos, más bien, las ovejas cesan la actividad reproductiva porque se vuelven insensibles a los días cortos (Robinson *et al.*, 1985; Malpaux *et al.*, 1989; Rosa y Bryant, 2003). De igual manera, la variación estacional en la actividad reproductiva observada en condiciones naturales se altera profundamente cuando los animales son expuestos a cambios de 3 meses de días cortos y después 3 meses de días largos (Delgadillo *et al.*, 2001).

Es por ello, que la reproducción estacional en ovejas y cabras es generada por un ritmo o mecanismo circanual endógeno de la actividad neuroendocrina reproductiva y el papel del fotoperiodo es concordar dicho ritmo, pero no crearlo (Malpaux *et al.*, 1989; Rosa y Bryant, 2003; Figura 3). Según Robinson *et al.* (1985), el aporte fotoperiódico no es necesario para la estacionalidad en la oveja, ya que las alternancias entre la época reproductiva y el anestro pueden ser por un proceso endógeno, ya que se ha observado que en varias razas de ovejas mantenidas con días de duración invariables durante 2-3 años, se alternan periodos entre actividad reproductiva y quiescencia (anestro).

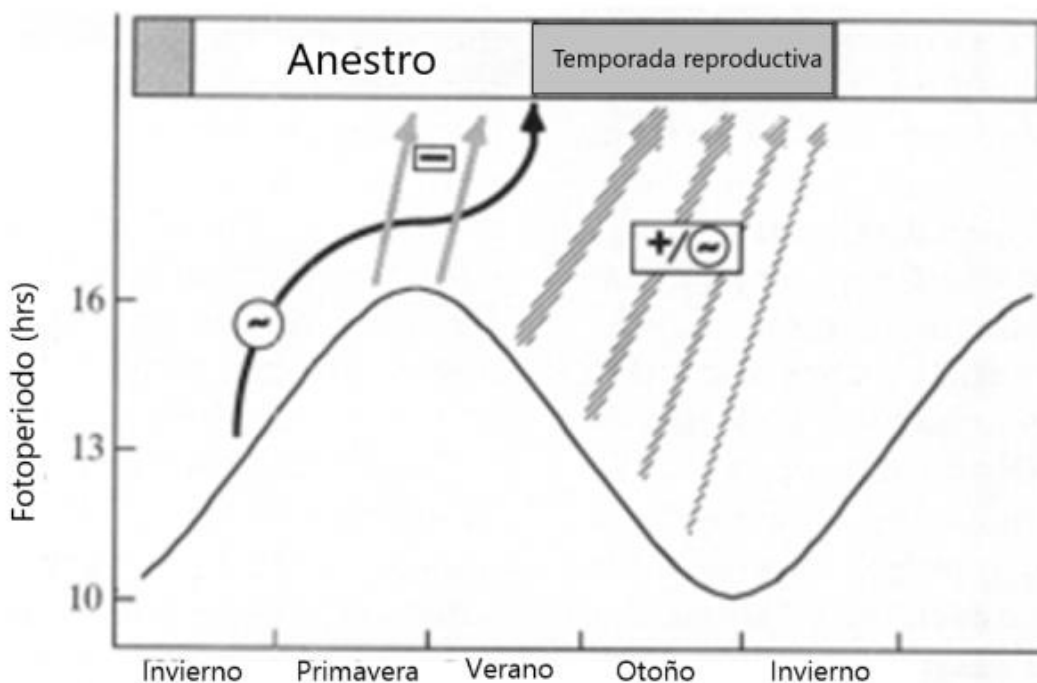


Figura 3 Regulación en la reproducción estacional en la oveja. Acción del fotoperiodo para sincronizar un proceso interno (~); acción del fotoperiodo para inhibir la actividad reproductiva (-); acción del fotoperiodo para mantener la actividad reproductiva (mediante efectos estimulantes (+/-)) (Tomado de Malpaux et al., 1989).

La función del fotoperiodo se observa cuando se incrementa las horas luz en el día después del solsticio de invierno ya que sincroniza el proceso interno, que conduce a que empiece la actividad sexual, una vez iniciada la estación reproductiva, es necesaria la acción adicional del fotoperiodo decreciente después del solsticio de verano para conservar dicha actividad sexual con duración normal, es decir, las horas de luz diaria deben disminuir, prolonga la estación reproductiva que fue iniciada por el proceso endógeno, es por esto, los días cortos proporcionan una señal que sostiene la actividad reproductiva. Se ha observado que la exposición a días cortos artificiales prolonga la estación reproductiva en la oveja, de igual manera, los días largos (con más luz) del solsticio de verano parecen ser necesarios para adelantar la actividad sexual hasta principios de otoño, por ello, la borrega debe percibir los días largos del final de invierno y primavera, en ausencia a la exposición de estos días largos, el aumento de LH no se observa en otoño, de esta manera la temporada de reproducción se retrasa en lugar de bloquearse, pero el retraso es crucial (Malpaux et al., 1989).

Por todo lo anterior, las características reproductivas de razas de cabras de altitudes de zonas templadas y subtropicales son: estación reproductiva, ritmo endógeno circanual y periodos fotorefractarios en condiciones de duración del día constante y alta sensibilidad a los cambios fotoperiódicos para el control de su actividad reproductiva (Delgadillo *et al.*, 2014).

2.2 Actividad sexual en caprinos en latitudes subtropicales de México

Las latitudes subtropicales son regiones geográficas limitadas por el Trópico de Cáncer (23.5° N) y el Trópico de Capricornio (23.5° S). Estas regiones se distinguen por presentar como mínimo ocho meses con una temperatura ambiental media de 10°C o superior, así como con patrones de lluvia con variabilidad, aquí incluyen los desiertos cálidos hasta los bosques húmedos (Delgadillo, 2011).

En latitudes subtropicales de México se caracteriza por una acentuada estacionalidad en el ciclo reproductivo de los machos cabríos locales de la Comarca Lagunera; estos machos cabríos están confinados y bien alimentados durante todo el año (Delgadillo *et al.*, 2001). De hecho, el fotoperiodo es la señal fundamental que establece el momento de la temporada de la actividad sexual a lo largo del año, por lo que, la variación que existe en la temperatura ambiental, al igual que la disponibilidad de alimento no juegan un papel importante a este respecto (Delgadillo *et al.*, 2004), es así que, una disminución en las reservas de los alimentos durante el anestro no es el factor responsable de la reducción de la sexualidad y actividades endocrinas en machos subtropicales (Delgadillo, 2011). Sin embargo, la alimentación si tiene una función relevante en la reproducción, ya que, la temporada sexual comienza antes en machos bien nutridos que en machos desnutridos (Delgadillo *et al.*, 2001). Se ha observado que una reducción del 25% de las necesidades nutricionales para el mantenimiento influye negativamente las funciones reproductivas en las hembras, pero solo durante el momento de cambio a la estación reproductiva, sugiriendo que el nivel nutricional puede ejercer de cierta manera alguna influencia para que reinicie la actividad ovárica. Sin embargo, durante los meses de actividad reproductiva no se encontró efecto negativo de la reducción nutricional sobre el porcentaje de hembras que desplegaron comportamiento estral o que ovularon (Rosales-Nieto *et al.*, 2006; Cuadro 1).

Cuadro 1 Porcentaje de estros y ovulaciones en cabras criollas recibiendo 2 niveles de alimentación durante la época de cría en 2 periodos. (Tomado de Rosales-Nieto et al., 2006).

	Periodo 1 (Sep 26 - Oct 17)		Periodo 2 (Nov 7-28)	
	T-100	T-75	T-100	T-75
Peso inicial (kg)	36.1 ± 6.85	35.8 ± 5.97	36.2 ± 6.67	35.6 ± 7.21
Peso final (kg)	36.5 ± 6.71	36.3 ± 6.58	35.7 ± 7.07	35.1 ± 7.03
Estro (%)	77.7 (7/9) ^{ab}	44.4 (1/9) ^b	88.8 (8/9) ^a	88.8 (8/9) ^a
Ovulación (%)	66.6 (6/9) ^{ab}	44.4 (4/9) ^b	88.8 (8/9) ^a	88.8 (8/9) ^a

Entre paréntesis aparece el número de animales con respecto al total

T-100= 100% requerimientos de mantenimiento T-75= 75% requerimientos de mantenimiento

Superíndice **ab** los valores son diferentes (P<0.062)

En cambio, Rosa y Bryant (2003) indican que en latitudes subtropicales la actividad reproductiva no es estacional, ya que, razas cuyos orígenes se sitúan entre 35° N y 35° S tienen tendencia a reproducirse en todo momento del año, mientras que en latitudes superiores a 35° es normal encontrar a ovejas con una época estacional de reproducción que inicia con la disminución de las horas del día. Esto puede deberse a que en los caprinos, machos y hembras, nacidos localmente en las latitudes subtropicales de México, en especial las de la región de la Comarca Lagunera de México, derivan de razas españolas como la Granadina, Murciana y Malagueña, estas se sometieron a cruza con machos de raza Alpina, Saanen, Toggenburg y Anglo-nubia, que durante las últimas 6 décadas se han utilizado para incrementar la producción cárnica y lactea (Delgadillo, 2011), por lo tanto, al ser razas de origen templado, es decir, estacionales, es probable que muestren esta estacionalidad en esta latitud, de hecho, las cabras que fueron criadas en regiones templadas y son alojadas en regiones tropicales y subtropicales, existe una consecuencia estacional sobre la actividad sexual (Delgadillo *et al.*, 1997). Así mismo, el mantenimiento de caprinos Alpinos bajo un régimen de fotoperiodo tropical simulado (11-13 horas de luz al día, en los solsticios de invierno a verano) no modificó la estacionalidad reproductiva (estro y actividad ovárica; Chemineau *et al.*, 1992). Entonces, la temporada

reproductiva inicia más temprano en los subtrópicos en comparación con las razas adaptadas a altitudes más altas, lo que sugiere que esta adaptación puede haber ocurrido a través del cambio en el arrastre del ritmo circanual propio del animal en la reproducción influido por el fotoperiodo (Delgadillo *et al.*, 2004).

2.3 El papel de la melatonina en la reproducción de cabras y ovejas

Es a través de la producción de melatonina lo que influye para que los animales distingan el lapso de un día y respondan a las variaciones fotoperiódicas (Chemineau y Delgadillo, 1994; Thiéry *et al.*, 2002). En cabras y ovejas originarias de regiones templadas, la percepción de la duración del día se hace a través de la retina, que, a su vez conduce por vía del sistema nervioso central la información a la epífisis (glándula pineal), este último lleva a cabo la síntesis y secreción de la melatonina hacia la circulación general durante la oscuridad (Chemineau y Delgadillo, 1994; Espinosa-Cervantes *et al.*, 2014; Figura 4).

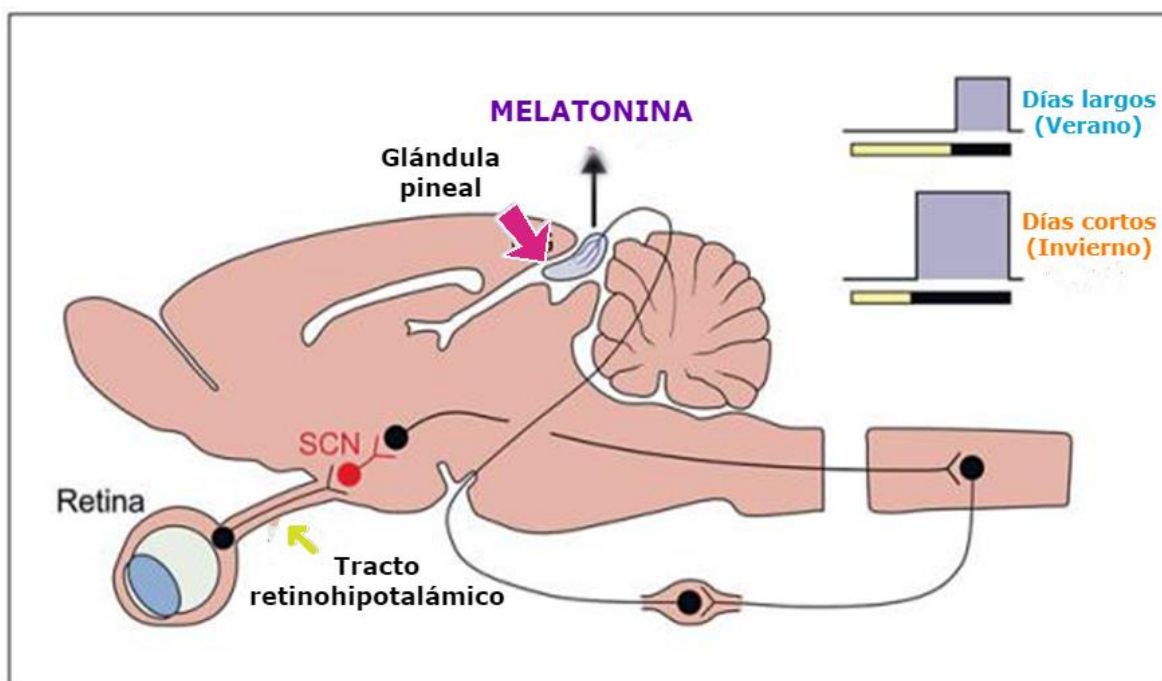


Figura 4 Niveles de secreción de melatonina durante los días largos y cortos mediante el tracto neuroendocrino (Tomado de Revel *et al.*, 2009).

Los mecanismos de secreción de la melatonina están bajo control de un ritmo circadiano con secreción significativa que se produce solo durante el periodo oscuro del día y la luz actúa como supresor (Rosa y Bryant, 2003; Espinosa-Cervantes *et al.*, 2014). De esta manera, las concentraciones en la glándula pineal y en el torrente circulatorio de la melatonina se incrementan en la noche y disminuyen durante el día (Chemineau y Delgadillo, 1994; Rosa y Bryant, 2003).

Los estímulos fóticos son recibidos por la retina, que contiene los fotorreceptores necesarios para el control fotoperiódico, después la información fótica se envía a los núcleos supraquiasmáticos (SCN) del hipotálamo ubicado en el cerebro a través de un tracto monosináptico (tracto retino-hipotalámico). Así, los núcleos supraquiasmáticos funcionan como un reloj biológico preciso e interno que regula los ritmos circadianos endógenos, después de recibir la información del sistema circadiano (estímulos fóticos), el mensaje fotoperiódico se transmite a la glándula pineal a través de su inervación simpática designada por los ganglios cervicales superiores (SCG). La glándula pineal funciona como un transductor o transformador que cambia la comunicación neuronal relativa al ciclo de luz y oscuridad en una transmisión hormonal en un ritmo o ciclo circadiano de secreción de melatonina. El patrón de esta señal de melatonina que puede ser impulsiva o supresora, ya que fija la frecuencia del sistema generador de pulsos de LH y determina su capacidad para responder al efecto de retroalimentación negativa del estradiol (Rosa y Bryant, 2003)

El uso de micro-implantes de melatonina ha indicado que las áreas premamilar y mediobasal, pero no la preóptica del hipotálamo son los lugares fisiológicos de acción de la melatonina que son implicados en el control de la reproducción estacional, ya que, en estas áreas (premamilar y mediobasal) modulan la secreción pulsátil o pulsos (con amplitud y frecuencia) de la GnRH (Thiéry *et al.*, 2002). Sin embargo, el pars tuberalis a pesar de ser reconocida como un sitio importante de acción de la melatonina, no se considera como un objetivo crucial para la acción reproductiva (Rosa y Bryant, 2003).

2.4 Neuroendocrinología de la reproducción

El equilibrio y la regulación de la reproducción en los animales son procesos fisiológicos que dependen de una interacción compleja y coordinada entre los diferentes neurotransmisores, hormonas hipotalámicas e hipofisiarias, esteroides producidos por las gónadas, factores de crecimiento, así como el sistema nervioso central y las propias gónadas (Chemineau y Delgadillo, 1994; Espinosa-Cervantes *et al.*, 2004). El hipotálamo regula la hipófisis, donde algunas áreas de esta se encuentran específicamente implicados en la liberación de la LH (hormona luteinizante), así como de la FSH (hormona folículo estimulante), mediante la regulación de la GnRH (González *et al.*, 2021); la producción de la GnRH es el principal impulsor del eje reproductivo (Delgadillo *et al.*, 2009). Por ello, la liberación de la LH depende de la estimulación pulsátil de los gonadotropos hipofisiarios por parte de la GnRH, así el dominio fotoperiódico de la actividad sexual en ovejas resulta del control de las neuronas que liberan la GnRH (Thiéry *et al.*, 2002).

En ambos sexos, la GnRH controla la glándula pituitaria anterior, que a su vez se encarga de secretar las hormonas gonadotrópicas: LH y FSH. Dichas hormonas son las encargadas directamente de estimular las gónadas (testículo y ovario), estas últimas sintetizan los esteroides que participan significativamente en el funcionamiento de la espermatogénesis y foliculogénesis, así como, en la presentación y mantenimiento de la conducta apetitiva sexual, así como la manifestación de las características secundarias del macho y la hembra. Otra función importante de los esteroides es que también ejercen retroalimentación negativa y positiva, evitando así un descontrol del sistema neuroendocrino (Chemineau y Delgadillo, 1994).

La reproducción en el caprino y en el ovino presenta una temporada de actividad reproductiva que se alterna con una temporada de anestro o inactividad reproductiva, la cual se asocia a la falta de ciclicidad ovulatoria en la hembra y en la temporada reproductiva se identifica por la presentación actividad estral (González *et al.*, 2021). En las hembras no expresan estro y ni ovulan durante el anestro, y en los machos, la espermatogénesis y su actividad sexual disminuyen a los valores mínimos de referencia durante el reposo sexual (Rosa y Bryant, 2003). La frecuencia del pulso de LH aumenta

a medida que los días se acortan y disminuye a medida que aumenta la duración del día, por lo tanto, el fotoperiodo ejerce influencia directa en la generación de impulsos de la LH, independientemente de la acción de los esteroides (Rosa y Bryant, 2003), de este modo, los mecanismos neuroendocrinos observados durante el anestro difieren del registrado durante la temporada de actividad sexual (Chemineau y Delgadillo, 1994).

2.4.1 En machos

La LH no se libera continuamente a través de la glándula pituitaria, los episodios secretorios repentinos (época reproductiva), son controlados por la acción de las neuronas GnRH ubicadas en el hipotálamo, las cuales se alternan con intervalos de disminución durante los cuales se manifiesta por una secreción mínima (reposo sexual). Esta frecuencia o episodios secretorios repentinos se denominan pulsos y se evidencian por su amplitud, la cual está estrechamente ligada a la cantidad de LH liberada hacia la circulación general (Chemineau y Delgadillo, 1994). La LH regula la síntesis de testosterona, por lo tanto, estas variaciones repentinas en la cantidad plasmática de la LH dan como resultado una acelerada inducción a estimular las células Leydig en los testículos, cuya respuesta es la liberación de la testosterona a la sangre, la cual es de suma significancia en el sostenimiento de la espermatogénesis (Chemineau y Delgadillo, 1994; González *et al.*, 2021; Figura 5).

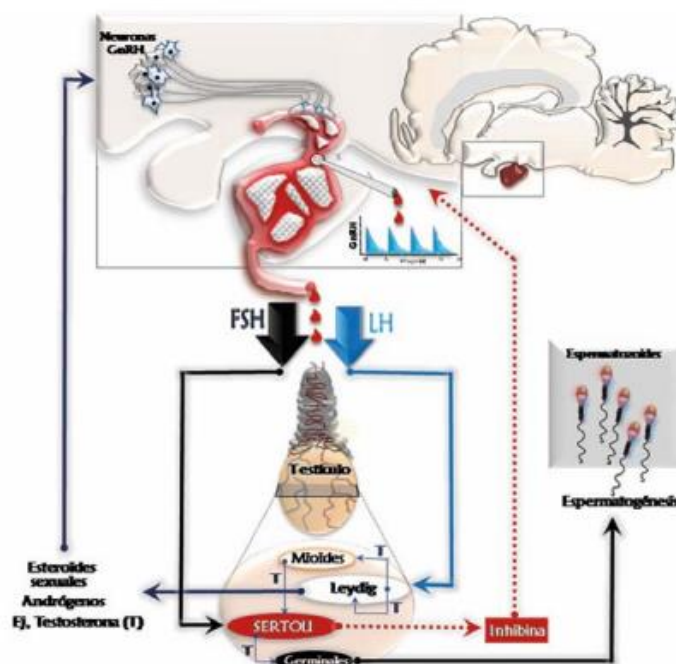


Figura 5 Eje de regulación neuroendocrina del macho. Las neuronas de los núcleos hipotalámicos secretan GnRH, estimulando las gonadotropinas de la adenohipófisis (Tomado de Arellano-Lezama, 2017).

En los machos caprinos la actividad espermatogénica, que se describe como la serie de pasos que llevan a la producción de espermatozoides, la cual está bajo dependencia de la LH y de la FSH. Estas hormonas no solo intervienen en la diferenciación y proliferación de las células germinales, sino que también regulan la producción de testosterona por parte de las células Leydig en los testículos (Chemineau y Delgadillo, 1994). Si la espermatogénesis no continúa por diversas causas como fisiológicas (fotoperiodo) o patológicas, la participación de la FSH vuelve a ser otra vez necesaria para reiniciar la espermatogénesis, después su secreción parece ser no tan necesaria para el sostenimiento de la espermatogénesis (González *et al.*, 2021). De esta manera la testosterona contribuye en el sostenimiento de la espermatogénesis. Además, desencadena participa en la expresión del comportamiento sexual y, además ejerce un mecanismo de retroalimentación en las hormonas gonadotrópicas (Chemineau y Delgadillo, 1994). Reportes previos indican de la existencia de un sistema de retroalimentación que muestra sensibilidad tanto a la LH y la testosterona, donde los incrementos en la secreción de LH son seguidos por la concentración plasmática de la

testosterona es alta, y posteriormente se inhibe la secreción de LH debido a la retroalimentación negativa por parte de la testosterona, con ello se induce una baja considerable en la síntesis de dicha hormona (González *et al.*, 2021).

Como se ha mencionado anteriormente los días cortos inducen la secreción pulsátil de la LH, mientras que los días largos la inhiben, entonces, bajo el mando de dichos cambios se ha observado que el peso de los testículos, así como su actividad endocrina (secreción de testosterona) presenta un patrón alternativo entre niveles altos y bajos, de este modo, el aumento en la actividad pulsátil de la LH (amplitud en junio-julio y frecuencia en septiembre) provoca el inicio del desarrollo testicular (que ocurre de julio-agosto), luego la secreción de la testosterona (septiembre) induce la expresión de la conducta sexual y calidad seminal (octubre) (Chemineau y Delgadillo, 1994). En cambio, la falta de LH lleva a la falta en la producción de la hormona testosterona, así como a una disminución en la talla de las células de Leydig, por ello, la disminución testicular (González *et al.*, 2021). También se ha observado que los niveles de testosterona comienzan a aumentar a partir de cuarta semana después de la exposición a días cortos, y luego disminuyen durante la segunda semana tras el inicio de los días largos (Chemineau y Delgadillo, 1994).

2.4.2 En hembras

Bajo la influencia de los días cortos de la estación reproductiva, hay una gran estimulación por el generador de pulsos de LH que provoca descargas de GnRH de alta frecuencia desde el hipotálamo, entonces, inicia el incremento tónico en la producción de LH, lo que inicia la secuencia de eventos preovulatorios que conducen al primer pico de LH y estas diferencias en la producción de LH ocurren en menos de una semana (Rosa y Bryant, 2003; Figura 6). Durante el ciclo estral normal en cabras, la periodicidad de pulsos de GnRH/LH se producen posterior a la luteólisis, cuando se lleva a cabo la fase folicular (Delgadillo *et al.*, 2009). Así, la FSH impulsa el desarrollo y madurez de los folículos ováricos, siendo la principal causa para provocar el desarrollo del ovario, de esta manera los folículos permiten el desarrollo del ovocito previo a la ovulación. Posterior a la ovulación, la pared del folículo da origen al cuerpo lúteo. La LH funciona en unión a la FSH para provocar la producción de estrógenos en los folículos, además

de participar en la ruptura de la pared folicular durante el proceso de ovulación. El principal estrógeno es el estradiol, encargado de la conducta sexual, permite la monta, así como, del desarrollo de la ubre durante la gestación y también actúa para permitir el parto, por lo tanto, la FSH y LH regulan el crecimiento folicular, así como la ovulación y el desarrollo del cuerpo lúteo en el ovario y son controladas mediante mecanismos de retroalimentación por los estrógenos y la progesterona (González *et al.*, 2021). En la oveja y cabra la ovulación es espontánea, lo que quiere decir, que es la disminución de la hormona progesterona lo que induce el pico o aumento de LH, ya que al bajar la progesterona hay una retroalimentación positiva de GnRH/LH y estrógenos. Entonces, cuando ocurre cada pulso de GnRH, la hipófisis responde a un pulso de LH, y el folículo responde a la LH produciendo estrógenos, estos mecanismos inducen a que se produzca otro pulso de LH, induciendo un nuevo aumento de estrógenos, de esta manera, se produce una producción intensa de LH (pico de LH) (González *et al.*, 2021).

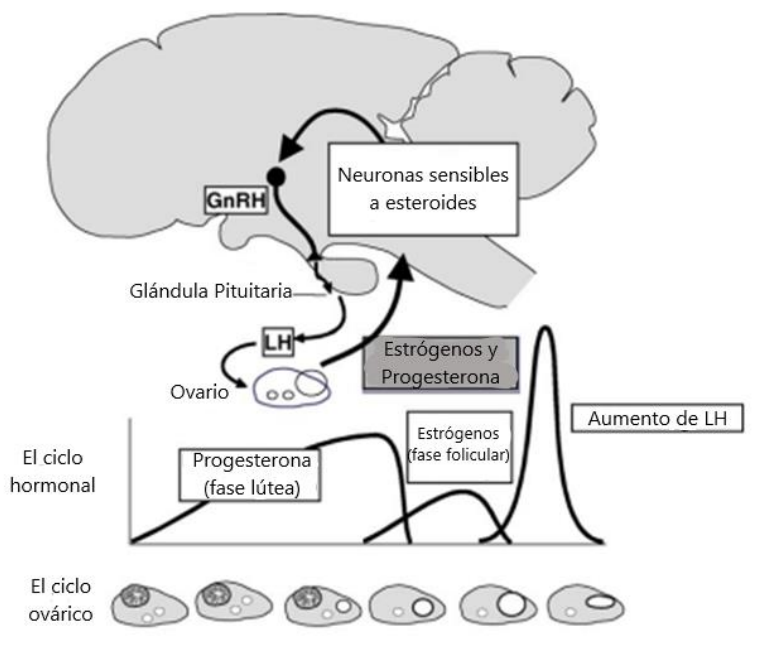


Figura 6 Las hormonas esteroideas secretadas por el ovario regulan las células GnRH a través de intermediarios neuronales en el cerebro (Tomada de Clarke y Pompolo, 2005).

Las variaciones estacionales en los pulsos de la hormona luteinizante (LH) están reguladas por cambios en la retroalimentación negativa de esteroides, especialmente del estradiol (Chemineau y Delgadillo, 1994; Thiéry *et al.*, 2002). La regulación de la

retroalimentación negativa del estradiol sobre la hormona luteinizante (LH) causada por las variaciones en el fotoperiodo, es el factor principal que explica la reducción de los mecanismos neuroendocrinos durante el anestro, periodo que coincide con los días largos de primavera y verano (Chemineau y Delgadillo, 1994; Thiéry *et al.*, 2002). Durante la estación reproductiva, cada aumento preovulatorio del estradiol se acompaña por un aumento paralelo sostenido de la LH, mientras que durante el anestro el aumento inducido de estradiol se acompaña por una caída pronunciada en los niveles de LH, estas acciones opuestas del estradiol sugieren que en el anestro este esteroide tiene altas consecuencias en la presentación de la retroalimentación negativa sobre la LH (Rosa y Bryant, 2003)

En condiciones de las acciones inhibitoras de los días largos naturales en la temporada de anestro hay un bajo impulso para generar pulsos de LH, y además muestra sensibilidad a la acción de retroalimentación negativa del estradiol, como resultado, no se puede mantener un aumento contante de estradiol ni se produce la secuencia preovulatoria, de esta manera se detiene la ciclicidad del estro (Rosa y Bryant, 2003), por el contrario, bajo la influencia de días cortos hay un gran estímulo para generar pulsos de LH, por eso el efecto de retroalimentación negativa del estradiol no es suficientemente fuerte para suprimir la LH (Rosa y Bryant, 2003).

2.5 Efecto macho

Los caprinos, son pequeños rumiantes que se crían en diferentes zonas ecológicas (áridas, semiáridas, húmedas y elevadas) y en distintos sistemas de producción, estos rumiantes son especialmente interesantes para mejorar la producción ganadera de estas zonas por su rápida adaptación al medio, además, es deseable que la fecundación se pueda llevar a cabo durante el periodo de anestro, para ello, es necesario inducir el comportamiento estro, así como la ovulación, de ahí que diversas técnicas se pueden considerar para controlar la reproducción, éstas deben ser eficaces, pero también sencillas y poco costosas para que puedan integrarse fácilmente en los procesos de producción animal existentes (Delgadillo *et al.*, 1997). El uso de hormonas sintéticas para provocar que ovulen las cabras en anestro no está al alcance de productores de cabras ya que en su mayoría dichos productores son de bajos ingresos

económicos en los ecosistemas tropicales y subtropicales de países en desarrollo (Luna-Orozco *et al.*, 2011). El efecto macho abre una nueva vía no farmacéutica para controlar la reproducción fuera de temporada reproductiva. Además, esta técnica es un procedimiento exitoso para que ovulen las cabras en anestro estacional y esta técnica requiera una mínima cantidad de mano de obra y costo, siendo la mejor alternativa para los ganaderos de la especie caprina que se llevan a cabo en los de sistemas extensivos (Delgadillo *et al.*, 2014).

Por ejemplo, en algunas razas de borregos y caprinos, las hembras que cursan por un periodo de anestro estacional, la introducción de un semental desplegando intensa actividad sexual a un conjunto de hembras en anestro puede activar su comportamiento sexual en un plazo de 72 horas (Walkden-Brown *et al.*, 1994; Bedos *et al.*, 2010, 2012; Figura 7)

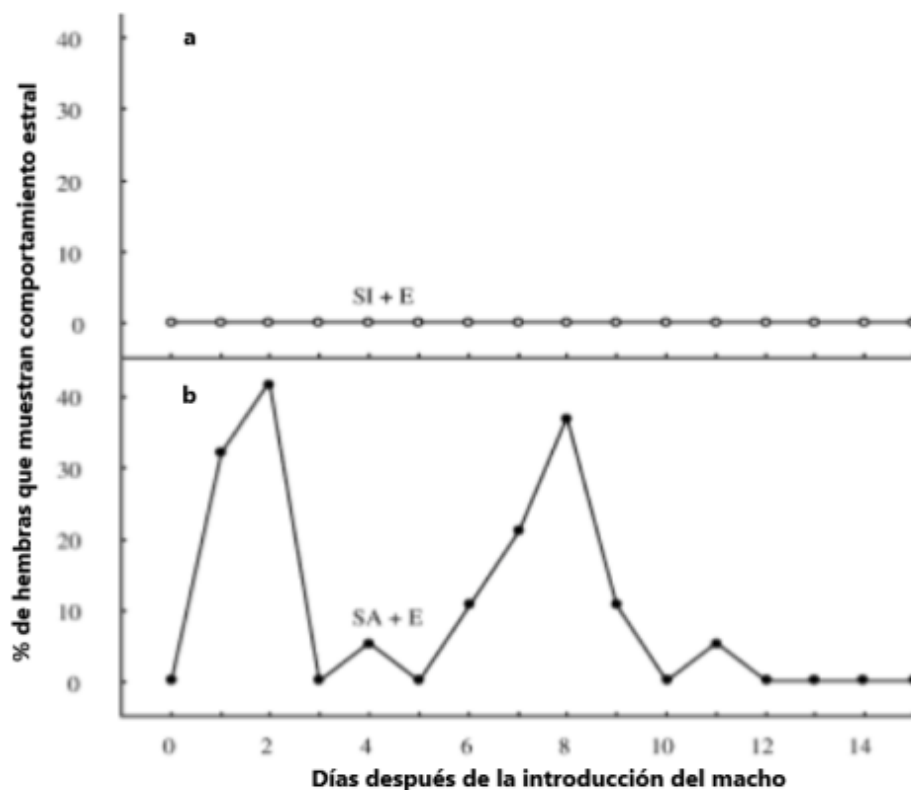


Figura 7 Proporción de hembras anestrícas que responden al efecto macho; (a) grupo de hembras en estro expuestas a machos sexualmente inactivos (SI + E); (b) grupo de hembras en estro en contacto con machos sexualmente activos (SA + E) (Modificado de Véliz *et al.*, 2002).

Estudios previos se llevaron a cabo para que los machos se activen sexualmente durante los meses de quietud sexual se sometido a un tratamiento lumínico, el cual consta, de percibir días artificiales largos seguido de la utilización de un tratamiento de melatonina exógena (Delgadillo *et al.*, 2001; Véliz *et al.*, 2002). Posteriormente en dichos estudios se demostró que el uso de melatonina exógena no demuestra estimular la actividad endocrina en machos que reciben el tratamiento de días artificiales largos (Delgadillo *et al.*, 2002). Este tratamiento lumínico de días artificiales largos es necesario que pasen de 45 a 60 días para inducir un resultado estimulante en los mecanismos reproductivos del macho (Bedos *et al.*, 2010). Para simular un día largo las luces son encendidas de 6:00 a 8:00 h y de las 18:00 a 22:00 h, para obtener así un total de 16 h de luz al día, mencionando que la energía de la luz debe cuando menos de 300 luxes medido lateralmente a la altura de los ojos de los machos (Delgadillo *et al.*, 2001; Delgadillo *et al.*, 2002). Por lo tanto, la exposición de 75 días (2.5 meses) artificiales largos (16 h de luz/día y 8 h de oscuridad/día), seguido de la exposición a variaciones fotoperiódicas naturales (Muñoz *et al.*, 2017), estimula la producción de la testosterona desde inicios de marzo hasta inicios de mayo, obteniendo resultados donde se incrementa el olor del semental y la actividad sexual de los sementales machos en los meses que corresponden normalmente a la temporada de bajo comportamiento o en reposo sexual, por esta razón, los machos tratados se utilizan en marzo y abril (Delgadillo *et al.*, 2001; Bedos *et al.*, 2012; Muñoz *et al.*, 2017; Figura 8). Además, se induce un aumento en el peso testicular mejorando los componentes cualitativos del semen producido en los meses de reposo sexual, por lo tanto, se activa el comportamiento sexual de los sementales (intenso comportamiento sexual, altas concentraciones plasmáticas testosterona, intenso olor a macho y vocalizaciones), con ello, se estimula la actividad ovulatoria en aquellas hembras caprinas que están en anestro estacional (Delgadillo *et al.*, 2001).

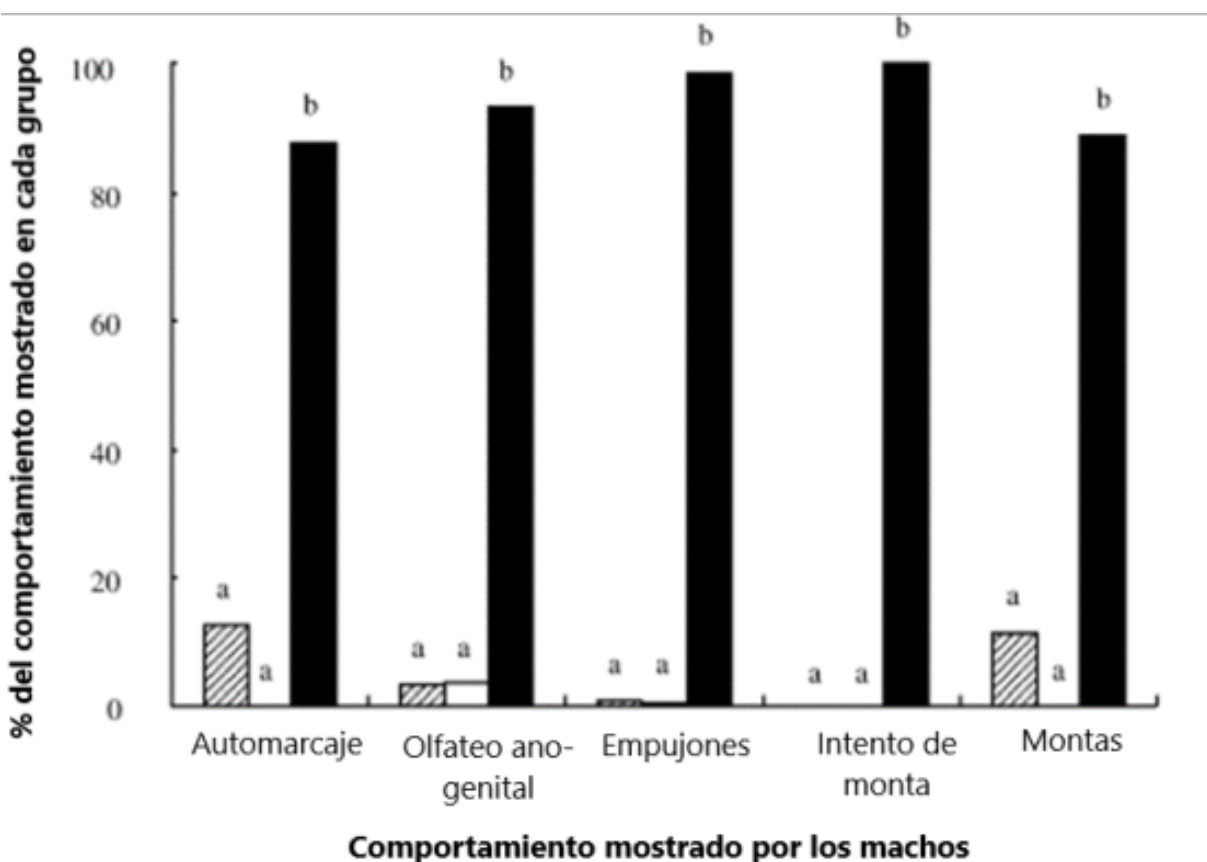


Figura 8 Conducta sexual de machos cabríos en contacto con hembras anéstricas; machos  sexualmente inactivos (SI); machos  sexualmente inactivos, el grupo de hembras contenía 3 en estro (SI+E); machos  sexualmente activos (Tomado de Véliz et al., 2002).

2.5.1 Comportamiento sexual del macho cabrío

La actividad sexual del semental se conforma por una etapa apetitiva de deseo sexual y otra etapa de consumación, esto es, monta con eyaculación, específica en cada especie animal. En los pequeños rumiantes la etapa apetitiva sexual manifiesta la búsqueda de la potencial pareja sexual, entonces el macho cabrío realiza los movimientos dirigidos a la hembra para acercarse y tener contacto táctil con la hembra en estro, también utiliza las diversas vías sensoriales como la olfativa, para olfatear la vulva, además de la orina de la cabra. De esta manera el macho responde con una conducta estereotipada denominada flehemen. Posteriormente, dirige sus conductas sexuales a la hembra e inicia las aproximaciones laterales o manoteos, ligeros golpes con la cabeza a la hembra, realiza vocalizaciones o balidos, así como intentos de monta a la hembra en

estro, montas sin penetración, y el automarcaje, el cual consta en que el semental se orine las barbas (conducta posterior al flehmen). En esta fase el macho realizará intentos para montar a la hembra y ésta lo permanecerá quieta para permitir la monta, dicha actividad también llamada proceptiva en la hembra. Por lo tanto, las conductas proceptivas en la hembra consiste en el conjunto de conductas sexuales que la hembra en estro muestra hacia el macho con el propósito de iniciar y sostener la actividad sexual. Este comportamiento se mide a través del número de acercamientos, olfateos, intentos de monta y montas completas realizadas por el macho, así como por los movimientos caudales que la hembra dirige hacia él (Beach, 1976; Espinosa-Cervantes *et al.*, 2014; Loya-Carrera *et al.*, 2017; Cuadro 2).

Cuadro 2 Conducta sexual del macho cabrío (Tomado de Espinosa-Cervantes *et al.*, 2014).

Golpes con la cabeza	Un golpe cabeza-cabeza, o un golpe en cualquier parte del cuerpo del otro animal. El contacto puede variar de un empujón suave a un audible choque de cabezas (topeteo).
Olfateos ano-genitales	Un macho o una hembra olfatea el área ano-genital de otra cabra.
Micción	Los machos adultos se orinan en su propia cara y barbas con el pene extendido; mientras que la hembras podrían orinarse en respuesta al olfateo ano-genital.
Flehmen	En los caprinos se observa la boca abierta, el labio superior levantado y exposición de las encías, por lo general con la cabeza y el cuello extendido. Generalmente se produce después de olfatear la orina o los genitales de él mismo o de otro animal.
Cortejo	El macho da pasos hacia adelante, haciéndole cabriolas al otro animal, con la lengua de fuera, la cabeza extendida y haciendo vocalizaciones.
Manoteos	Durante la conducta del cortejo el macho toca a la hembra con su extremidad delantera. Por lo general lo realiza después del olfateo ano-genital.
Movimiento de cola	Una hembra en estro meneas la cola de lado a lado. Puede ocurrir con o sin estimulación de otra cabra.
Monta	Un macho coloca sus patas delanteras y la parte superior del dorso a otra cabra. Puede haber o no movimientos pélvicos.

En cambio, la fase de consumación de la aceptación del macho por la hembra en estro facilita el apareamiento y abarca modificaciones en la postura, como la inmovilidad de la hembra durante la monta y copulación por parte del macho. Este tipo de comportamiento se conoce también como conducta receptiva. Este rasgo característico del comportamiento receptivo es la adopción de una postura que permita la penetración y eyacula en la vagina de las hembras, también esta fase es conocida como quietud activa, por lo tanto, es una postura inmóvil que estimula al macho a montar (Beach, 1976; Gelez *et al.*, 2004; Espinosa-Cervantes *et al.*, 2014). Además, un estudio reportó que la edad del animal es un aspecto considerable para que se realice la fase receptiva, ya que, las hembras adultas son menos asustadizas que las jóvenes y se quedan más quietas con más frecuencia (Gelez *et al.*, 2004).

2.5.2 Respuesta de los machos al tratamiento fotoperiódico

En condiciones de latitud subtropical del norte de México (26° N), como es el caso de la Comarca Lagunera, los machos que no reciben tratamiento de días largos artificiales. la concentración de testosterona plasmática comienza a aumentar a finales de mayo a junio, hasta alcanzar una meseta en julio y, comienza a disminuir en noviembre a diciembre para a un nivel basal a finales de diciembre-enero (Delgadillo *et al.*, 2001, 2004). En una latitud más alta como el sur de Inglaterra (51° N), las concentraciones de testosterona plasmática disminuyen entre octubre y diciembre, persistiendo los valores bajos hasta julio, siendo los valores más bajos en junio, y el incremento en los valores plasmáticos de la testosterona se observó en agosto alcanzando valores máximos en septiembre, de igual manera, existe una disminución gradual y menor de la circunferencia escrotal desde octubre hasta enero, seguido por un aumento lento hasta junio, y un fuerte aumento en julio y agosto, es decir, los valores de circunferencia escrotal son mayores durante el verano y el otoño en comparación a los valores de invierno y primavera (Ahmad y Noakes, 1995). En el sur de Inglaterra se observó que el mayor número de montas se registró en octubre, y el valor más bajo fue en junio (Ahmad y Noakes, 1995).

En machos que son tratados con días largos artificiales al final de la época reproducción (1 de noviembre al 15 de enero) incrementan testosterona,

aproximadamente 4 semanas posterior al cambio de recibir los días artificialmente largos a los días cortos, es decir, cuando finalizaron los días largos artificiales (Delgadillo *et al.*, 2002; Delgadillo *et al.*, 2004; Figura 9). De este modo, se observan 2 periodos de aumento en la concentración de testosterona, el primero corresponde a febrero, marzo y abril (meses donde se presenta el reposo sexual), y el segundo de mediados de agosto hasta noviembre (estación reproductiva natural) (Delgadillo *et al.*, 2001; Fernández *et al.*, 2020). Asimismo, el peso testicular se incrementa a finales de enero, donde alcanza su máximo peso (tamaño) el 30 de marzo; posteriormente disminuye bruscamente a finales de mayo (Delgadillo *et al.*, 2001; Delgadillo *et al.*, 2002). También, la intensidad del olor es más intenso de marzo a mayo en machos tratados con días largos artificiales comparados con los machos sin tratar (Delgadillo y Vélez, 2010).

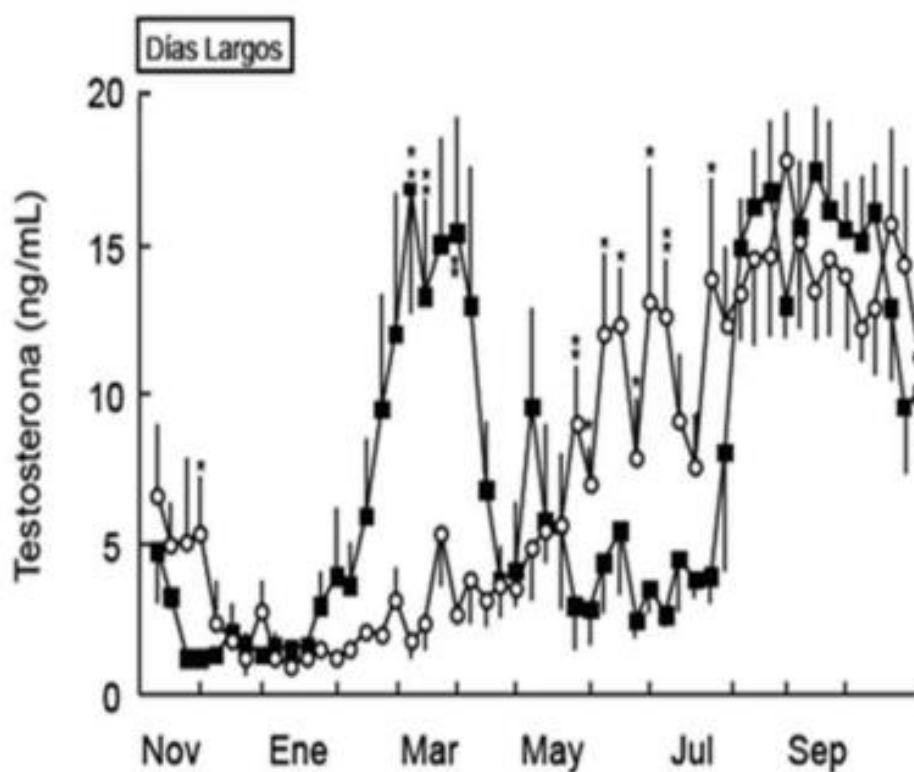


Figura 9 Variaciones de los niveles de testosterona plasmática de (promedio $\pm$ EEM) en 2 grupos de machos cabríos locales del norte de México (26°N) expuestos a variaciones naturales del fotoperiodo (testigo $\circ$), y a 2.5 meses de días artificiales largos (16 h de luz/día) iniciando en noviembre (DL $\blacksquare$) (Modificado de Delgadillo *et al.*, 2002).

2.5.3 Respuesta de las hembras anéstricas al efecto macho

Aquellas hembras estimuladas fuera de temporada reproductiva tardan más días para presentar estro después del contacto con los machos, comparadas con las cabras estimuladas en la estación reproductiva (Mellado y Hernández, 1996). Sin embargo, las hembras anéstricas son capaces de responder a los machos sexualmente activos, al momento de la exposición al macho sexualmente activo (Véliz *et al.*, 2002). Un alto porcentaje de las hembras (80%) se activan en los 80 minutos posteriores al ingreso de los machos, experimentando un pulso de LH de frecuencia media, este aumento en la actividad hormonal promueve el crecimiento folicular intraovárico e induce un pico preovulatorio de LH que dará como resultado que la hembra ovule (Chemineau, 1987). De esta manera el lapso que ocurre al ingreso de los machos y al momento de la expresión del comportamiento del estro es de 3.5 ± 0.2 días, en otros casos las hembras responden más tarde donde el intervalo es de 9.1 ± 0.4 días (Figura 10), esto indica, que la ovulación se asocia con la conducta estral en aproximadamente el 60% de las hembras, y también se observa la presentación de un alto porcentaje (75) de ciclos ováricos cortos de 5-7 días de duración aproximadamente, este ciclo ovárico corto está asociado con la disminución con carácter transitorio de la progesterona plasmática producida por el cuerpo lúteo procedente (Mellado y Hernández, 1996). De hecho, este ciclo ovárico corto siempre es seguido por una vez más de ovulación, es lo que se conoce como segunda ovulación, esto es, el cuerpo lúteo tiene una duración normal, y en esta segunda ovulación está asociada en un 90% de estros en las hembras, además, este constituye el segundo pico de estro observado de 7-12 días después del ingreso de los machos (Chemineau, 1987; Flores *et al.*, 2000).

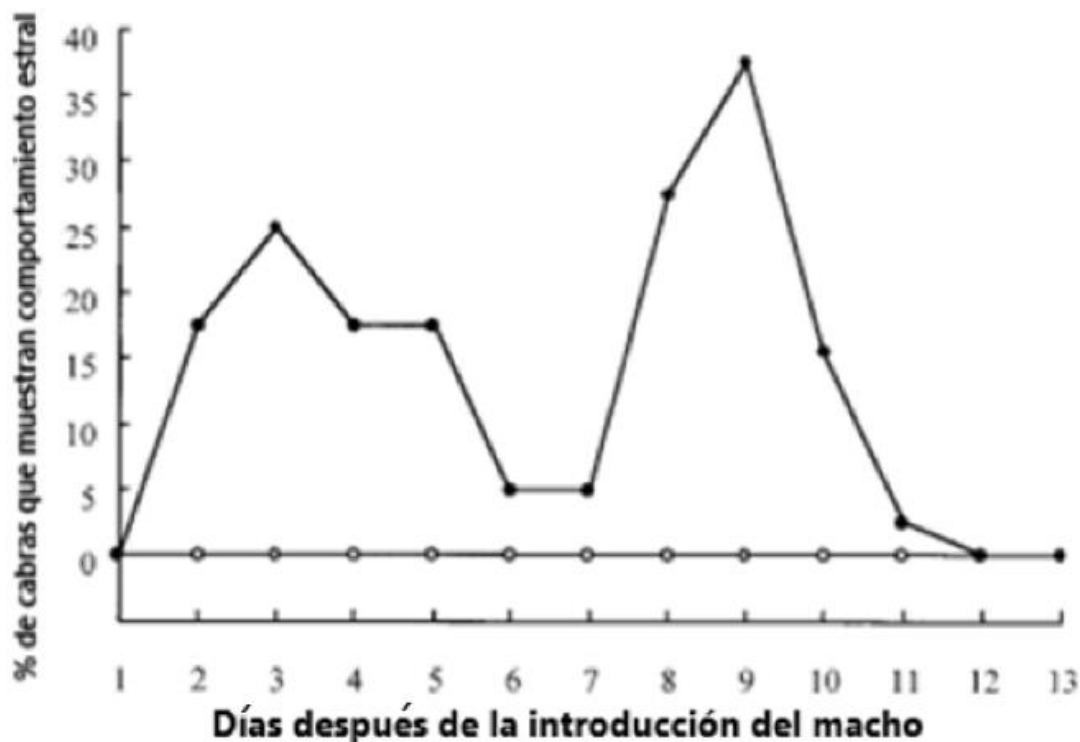


Figura 10 Proporción de hembras anéstricas mostrando estros después de la introducción de machos sexualmente activos (tratados con 2.5 meses de días artificiales largos, ●); no se observó estro en el grupo de hembras expuestas a machos sexualmente inactivos (○) (Tomado de Flores et al., 2000).

El ciclo ovárico en la segunda ovulación permite que las hembras tengan aceptable tasa de concepción y tamaño de crías similares a las logradas durante la época natural de reproducción (Chemineau, 1987; Flores et al., 2000).

2.6 Factores que influyen en el efecto macho

Son diversas las causas que modifican la respuesta de las hembras expuestas a la técnica conocida como efecto macho, entre las cuales está la duración del contacto entre ambos sexos, las señales olfativas proporcionadas por el macho, así como a la eficacia de la expresión de las conductas sexuales (Bedos et al., 2010).

En primer lugar, el tiempo del contacto permanente entre hembras anovulatorias y machos con intenso vigor sexual activos no es fundamental para que el efecto macho se logre, ya que, no encontraron diferencias dependiendo del tiempo (24 horas) del contacto diario con el macho, ya que se encontró que el porcentaje de hembras que

ovularon, la presencia de ciclos cortos, la tasa de preñez y la fertilidad fueron similares, sin importar si el contacto con el macho duro 24 horas continuas o solo 4 horas al día (Bedos *et al.*, 2010). Así los machos con alta libido pueden inducir la actividad ovárica en dos grupos de hembras anovulatorias con solo 4 horas diarias de interacción, de manera similar a lo que ocurre cuando se mantiene contacto con un solo grupo de hembras anovulatorias durante 12 horas al día (Bedos *et al.*, 2012). También, el espacio en exceso parece no restringir el contacto entre ambos sexos, en primer lugar, por el instinto gregario de la especie y, en segundo lugar, aunque las ovejas comiencen a dispersarse los carneros siguen buscándolas probablemente más que si están confinados (Rosa *et al.*, 2003). De este modo, el efecto macho también es útil en sistemas de pastoreo, donde los machos con intenso líbido se mantienen pastoreando junto con las hembras a lo largo de día, por lo que, no únicamente el efecto macho sirve en condiciones de confinamiento (Rivas-Muñoz *et al.*, 2007).

Se ha comprobado que el contacto físico como el comportamiento sexual del semental son factores clave y necesarios para lograr una alta tasa de respuesta en las hembras expuestas al efecto macho (Chemineau, 1987). De hecho, su olor del macho representa un papel primordial en el inicio de la ovulación en la hembra (Delgadillo *et al.*, 2009). Por ejemplo, los compuestos odoríferos pueden ser transportados hacia el cerebro y desembocar a los sitios que regulan la activación de la GnRH por medio de 2 vías: 1) a partir de la mucosa olfativa y el bulbo olfatorio principal, y 2) mediante el órgano vomeronasal y el bulbo olfatorio accesorio (Espinosa-Cervantes *et al.*, 2014; Figura 11). Sin embargo, el olor no es la única señal sensorial que utilizan las hembras para percibir a los machos con intenso líbido (Chemineau, 1987). Es por ello, que se necesitan de todos los estímulos socio-sexuales del macho para obtener una respuesta ovulatoria máxima, indicando que las señales no olfativas desempeñan un papel complementario a las señales químicas del macho (Delgadillo *et al.*, 2009). La expresión intensa de las conductas sexuales de los sementales es, probablemente, la clave para incrementar la concentración de LH para provocar la ovulación (Bedos *et al.*, 2010).

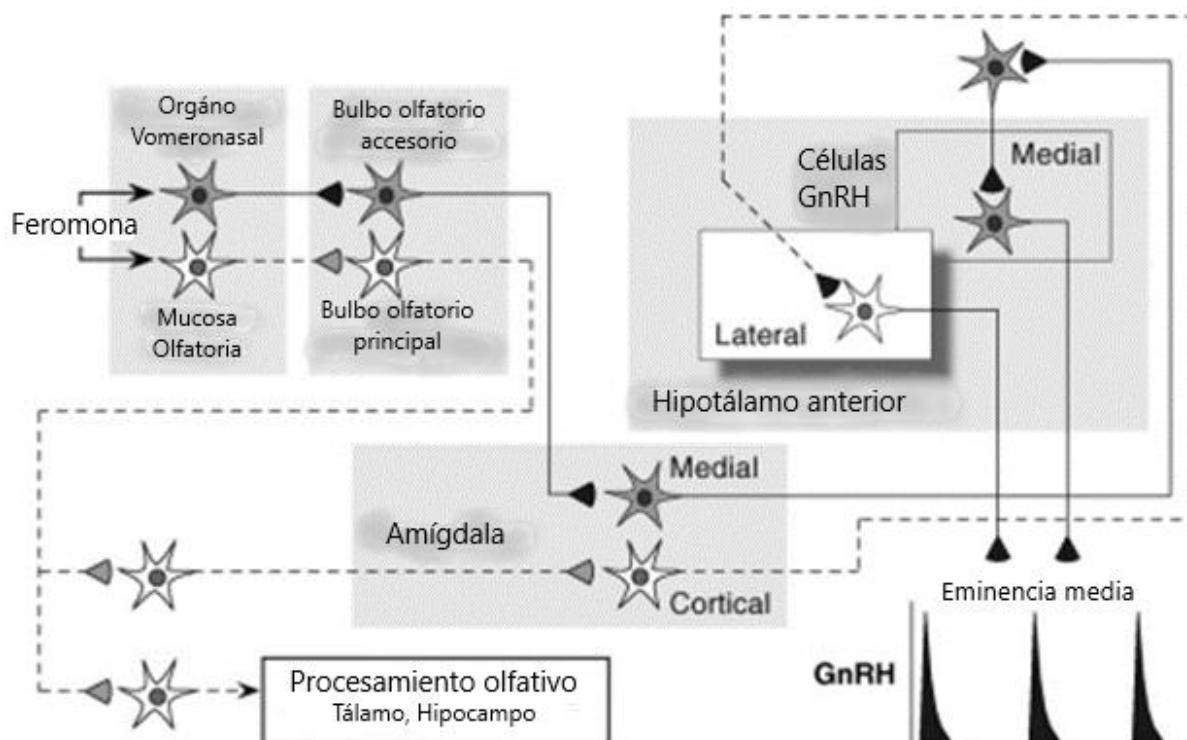


Figura 11 Las señales responsables del efecto macho sobre la secreción de GnRH son principalmente odoríferas ajustándose a la definición de feromona. Las señales pueden influir en los centros reproductores del cerebro a través de vías que comienzan en la mucosa olfatoria y el bulbo olfativo principal (líneas discontinuas), o en el órgano vomeronasal y el bulbo olfativo accesorio (líneas continuas), o en ambos (Tomado de Delgadillo et al., 2009).

Aunque otros estímulos participan, entre ellos se mencionan a las condiciones ambientales, como la disponibilidad del alimento y las interacciones sociales pueden actuar conjuntamente y modificar la calidad de la respuesta de los machos al tratamiento fotoperiódico (Flores-Nájera *et al.*, 2021). Por ejemplo, se sabe que las ovejas jóvenes responden menos o son menos sensibles al efecto macho comparadas con las ovejas adultas (Rosa *et al.*, 2003). Otra consideración importante se basa en la observación que el inicio de la actividad sexual de los sementales se despliega con mayor intensidad en las mañanas, que al medio día o por la tarde, esto posiblemente se debe a que los machos descansan por la noche, otra posibilidad es que la temperatura ambiental es más favorable durante la mañana, ya que, cuando la temperatura se eleva gradualmente

desde 26°C a 43°C, la actividad reproductiva de los carneros comienza a inhibirse a partir de los 32°C (Rosa *et al.*, 2003).

2.7 La experiencia sexual como factor que influye en el efecto macho

En los mamíferos varios factores están involucrados en el control del comportamiento reproductivo siendo la experiencia sexual uno de ellos que pueden alterar la actividad sexual y/o parámetros reproductivos tanto en las hembras ovinas y caprinas, así como en los carneros y machos cabríos (Gelez *et al.*, 2004; Fernández *et al.*, 2011, 2020).

2.7.1 Experiencia sexual en machos

Los machos ovinos sin experiencia sexual, es decir, todos los individuos que nunca han tenido interacción sexual con hembras, frecuentemente muestran menor número de actividades sexuales como lo son: aproximaciones laterales, flehmen, olfateos ano-genital y monta con intromisión comparados con los experimentados sexualmente (Price y Smith, 1984; Simitzis *et al.*, 2006; Cuadro 3). Cuando los machos de algunas especies animales son inexpertos sexualmente y son puestos en contacto con hembras por primera vez, también exhiben menos conductas sexuales, ejemplos de dichas conductas incluyen a los pataleos y flehmen que muestran los garañones (McDonell, 1986), el flehmen en toros y verracos (Hemsworth *et al.*, 1977; Price, 1985), aproximaciones, flehmen, olfateo ano-genital y monta en machos cabríos y carneros (Price y Smith, 1984; Simitzis *et al.*, 2006). Además, cuando los carneros inexpertos son puestos en contacto con ovejas, su actividad sexual en estos machos se retrasa varios días y, además, un porcentaje considerable (30%) de ellos permanecen sexualmente inactivos (Price *et al.*, 1994). También se ha observado que un porcentaje similar de carneros muestra inactividad sexual cuando son criados dentro de un grupo unisexual, es decir, solo machos (Katz *et al.*, 1988; Price *et al.*, 1991).

Cuadro 3 Interacciones entre la raza y la edad (experiencia sexual) de los carneros, que influyen en su comportamiento sexual [medias por mínimos cuadrados ($\pm$ s.e.); modificado de Simitzis et al., 2006].

	Carnero			
	Karagouniki		Chios	
	Joven	Maduro	Joven	Maduro
Olfateando (min/h)	4.0 $\pm$ 0.2 ^a	5.5 $\pm$ 0.2 ^b	3.5 $\pm$ 0.2 ^a	4.6 $\pm$ 0.2 ^c
Empujones (min/h)	2.1 $\pm$ 0.5 ^a	2.6 $\pm$ 0.4 ^a	3.5 $\pm$ 0.4 ^b	4.8 $\pm$ 0.4 ^c
Flehemen (min/h)	0.6 $\pm$ 0.1 ^a	1.7 $\pm$ 0.1 ^b	1.0 $\pm$ 0.1 ^c	1.8 $\pm$ 0.1 ^b
Aproximaciones (min/h)	4.7 $\pm$ 0.7	4.2 $\pm$ 0.7	4.9 $\pm$ 0.7	4.4 $\pm$ 0.6

Superíndices **a-c** los valores son significativamente diferentes ($P < 0.05$)

Entonces, la experiencia sexual mejora las habilidades copulatorias del macho, como la capacidad de montar, de realizar la intromisión y eyacular, y se reduce la latencia para exhibir dichas conductas (Gelez *et al.*, 2004). Por ejemplo, durante la época natural cuando se reproducen los carneros con experiencia sexual muestran mayor tasa de eyaculación que los carneros sin experiencia sexual, así como, más intentos de monta, por ello, los carneros deben de recibir experiencia heterosexual en su primer año de vida para que exhiban un buen desempeño sexual (principalmente en la tasa de eyaculación) y se puedan comparar con los carneros de más años que experimentados sexualmente (Price *et al.*, 1994). Además, el aislamiento social temprano de machos como en verracos (Hemsworth *et al.*, 1977), en carneros (Price, 1985) y toros (Price y Wallach, 1990) también disminuye su comportamiento sexual a diferencia de aquellos machos que se criaron en grupo social.

Por esta razón, la presente investigación se realizó con el objetivo de evaluar si los machos cabríos sin experiencia sexual expuestos a días artificiales largos y colocados en corrales individuales incrementan la testosterona plasmática y son capaces de exhibir conductas sexuales como los machos cabríos sin experiencia sexual colocados en un mismo corral.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización del área del estudio

La presente investigación se llevó a cabo en el ejido Ricardo Flores Magón, municipio de Torreón, Coahuila, México, este municipio se encuentra en la latitud, 25°32'30"N, longitud, 103°27'11" W, y a una altitud de 1110 msnm (INEGI, 2021).

3.2 Descripción y manejo de los grupos experimentales

Se utilizaron 10 machos cabríos nacidos en el ejido La Flor, municipio de Gómez Palacio, Dgo., el 20 de diciembre (± 0.5 días; $\pm ee$). A los 40 días de edad los cabritos fueron trasladados a corrales experimentales donde se llevo a cabo el destete, posteriormente, fueron colocados en un corral de 5 x 8 metros y mantenidos en complejo aislamiento, sin exposición a estímulos sensoriales (visuales, olfativos, táctiles, o auditivos) provenientes de hembras caprinas.

La dieta suministrada a los machos consistió en alfalfa henificada ofrecida *ad libitum* (con 18% PC y 1.95 Mcal/kg EM) complementada con un concentrado comercial (con 14% PC y 2.5 Mcal/kg EM) ajustada a sus requerimientos nutricionales durante todo el periodo del estudio. Tanto el agua como los minerales estuvieron disponibles a libre acceso.

3.3 Inducción de la actividad sexual a los machos cabríos mediante tratamiento lumínico

El 31 de octubre, cuando los machos tenían 11 meses de edad, fueron divididos en dos grupos (n=5 por grupo) según su peso corporal (26.0 ± 1.7 kg y 26.1 ± 1.2 kg) y su condición corporal (2.5 ± 0.0 y 2.4 ± 0.1). Un grupo de cinco machos permaneció en el mismo corral (5 x 8 m) y fue denominado grupo social. El segundo grupo fue colocado en corrales individuales (2 x 2 m); estos machos podían verse, oírse y olerse de forma limitada, pero no tenían contacto físico entre sí, ya que estaban separados por una tarima gruesa. Ambos grupos fueron ubicados a una distancia aproximada de 250 metros entre sí.

Posteriormente, el 1 de noviembre, los machos fueron sometidos a un tratamiento lumínico de días artificialmente largos. El grupo social permaneció en el mismo corral desde el destete (Figura 12), mientras que el segundo grupo correspondió a los machos colocados individualmente (Figura 13). El tratamiento se extendió hasta el 15 de enero. Los corrales estaban equipados con lámparas fluorescentes de 75 watts, asegurando una intensidad lumínica mínima de 300 lux a la altura de los ojos de los machos, como se mencionó anteriormente. Las lámparas se programaron para encenderse automáticamente entre las 06:00 y 08:00 horas y nuevamente de 18:00 a 20:00 horas, proporcionando así un fotoperiodo artificial de 16 horas de luz/día y 8 horas de oscuridad/día. De este modo, los machos estuvieron expuestos a 2.5 meses de días largos artificiales y una vez culminado estuvieron expuestos a las variaciones de luz natural. Este tratamiento lumínico está diseñado para inducir un aumento en la secreción de testosterona y estimular el comportamiento sexual durante el periodo natural de inactividad reproductiva (Fernández *et al.*, 2020).



Figura 12 Corral de machos cabríos colocados en un mismo corral. Los machos experimentaron comunicación social total entre ellos mediante señales individuales, auditivas, táctiles y olfativas.



Figura 13 Corral de machos cabríos colocados individualmente. Estos machos se restringieron de contacto visual, olfativo, auditivo y táctil, ya que los separaba dos tarimas de madera con el corral adyacente.

3.4 Hembras anéstricas

Se emplearon 100 cabras multíparas criollas, todas pertenecientes al mismo productor, con una edad aproximada de entre 3 y 3.5 años. En el mes de marzo, 10 y 20 días antes del inicio del experimento, se les realizó una evaluación del estado ovárico mediante ultrasonografía transrectal utilizando un equipo Aloka SSD-500 con un transductor lineal de 7.5 MHz. Los resultados confirmaron que las hembras se encontraban en anestro estacional. La alimentación suministrada fue *ad libitum*, consistente en alfalfa henificada (18% PC y 1.95 Mcal/kg EM) complementada con 200 gramos diarios de un concentrado comercial (14% PC y 2.5 Mcal/kg EM) de acuerdo con sus requerimientos nutricionales. Además, el agua potable y sales minerales estuvieron disponibles a libre acceso.

Tres días antes del inicio del experimento, las cabras fueron divididas en 2 grupos de 50 animales cada uno, considerando su peso corporal (33.3 ± 0.7 kg y 34.2 ± 0.9 kg) y condición corporal (1.8 ± 0.03 y 1.8 ± 0.004). posteriormente, cada grupo fue dividido en 5 subgrupos de 10 hembras. Cada subgrupo fue colocado en corrales de 4 x 5 metros.

3.5 Efecto macho

El 26 de marzo a las 08:00 horas, cuando los machos tenían 15 meses de edad, se estableció el contacto con los subgrupos de hembras. Las hembras se encontraban distribuidas a una distancia aproximada de 200 metros entre grupos. Se utilizó la proporción de un macho por cada 10 hembras. los dos grupos de machos permanecieron con las hembras 15 días consecutivos y fueron rotados entre los subgrupos de hembras. El cambio de los machos de cada grupo se realizaba diariamente a las 08:00 y a las 18:00 horas.

3.6 Variables a determinar

3.6.1 Machos

A los machos se les realizaron muestreos sanguíneos a través de venopunción de la vena yugular con el fin de determinar las concentraciones de testosterona plasmática. Las muestras se recolectaron cada lunes a las 08:00 horas, utilizando tubos plásticos de 7 ml que contenían 30 μ L de heparina como anticoagulante. Posteriormente, las muestras fueron centrifugadas a 3,500 rpm durante 30 minutos para separar el plasma, el cual se almacenó en tubos Eppendorf de 1.5 ml. La concentración de testosterona en plasma se analizó utilizando la técnica de enzimo-inmunoanálisis por adsorción (ELISA). El muestreo comenzó al finalizar el tratamiento lumínico, el 16 de enero, y concluyó el 29 de mayo del mismo año.

Las conductas sexuales de los machos fueron observadas entre las 08:00 y 09:00 horas durante los días 0,1 y 2 posteriores a su introducción en los subgrupos de hembras. Cada macho fue evaluado de forma individual, registrando las siguientes conductas sexuales: olfateo anogenital aproximaciones laterales e intentos de monta.

3.7 Nota ética

Todos los procedimientos aplicados en esta investigación se realizaron conforme a lo establecido en la Ley de la Protección y Trato Digno de Animales para el Estado de Coahuila de Zaragoza (Congreso del Estado Independiente, Libre y Soberano de Coahuila de Zaragoza, 2013), la cual establece las especificaciones técnicas para la producción, manejo y uso de animales con fines de experimentación.

3.8 Análisis estadístico

De acuerdo a los resultados de las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene para evaluar la homogeneidad de varianzas y la normalidad de las concentraciones plasmáticas de testosterona y el comportamiento sexual de los machos se analizaron mediante los procedimientos de estimación de ecuaciones generalizadas que incluyeron el efecto de la medición dentro del sujeto, el sujeto fue el macho, el efecto fijo fue el grupo y la interacción $\times$ medición. Para la estimación de los parámetros se utilizó el método de Fisher. Para contrarrestar los efectos del modelo se utilizó la X^2 de Wald. Para la selección de la estructura de covarianzas y distribución, se utilizó la extensión del criterio de información de Akaike llamado modelo de cuasi-verosimilitud corregida bajo independencia (QICC). Se utilizó la distribución Gamma para obtener las concentraciones plasmáticas de testosterona; la distribución de Poisson para los intentos de monta y la distribución tipo Tweedie (1.5) para las aproximaciones y los olfateos anogenitales; en todos los casos la función de enlace logarítmico y la matriz de covarianza fueron autorregresivas de primer orden [AR(1)]. Los análisis se llevaron a cabo utilizando en el paquete estadístico SPSS 20 (IBM Corporation 2011).

IV. RESULTADOS

4.1 Concentración plasmática de testosterona

Los resultados mostraron que no hubo diferencias en las concentraciones plasmáticas de testosterona entre los dos grupos de machos, esto es, entre los machos colocados en grupo social registraron 4.37 ± 0.28 ng/ml y aquellos colocados individualmente donde se registró un valor de 4.08 ± 0.38 ng/ml ($P > 0.05$). Sin embargo, la interacción medición $\times$ tratamiento difirió significativamente entre los dos grupos de machos ($P < 0.001$; Figura 14). El 13 de marzo, los machos fotoestimulados colocados individualmente exhibieron mayores concentraciones de testosterona plasmáticas que los machos fotoestimulados colocados en un mismo corral ($P < 0.01$; Figura 14). Mientras que el 29 de mayo, cuando finalizó el estudio, los machos fotoestimulados colocados en un mismo corral exhibieron más altas las concentraciones plasmáticas de testosterona que los machos colocados individualmente ($P < 0.01$; Figura 14). En ambos grupos de machos, las concentraciones plasmáticas de testosterona aumentaron cuando los machos tuvieron el primer encuentro socio-sexual con las hembras y disminuyeron de manera similar cuando fueron retirados de las hembras (Figura 14).

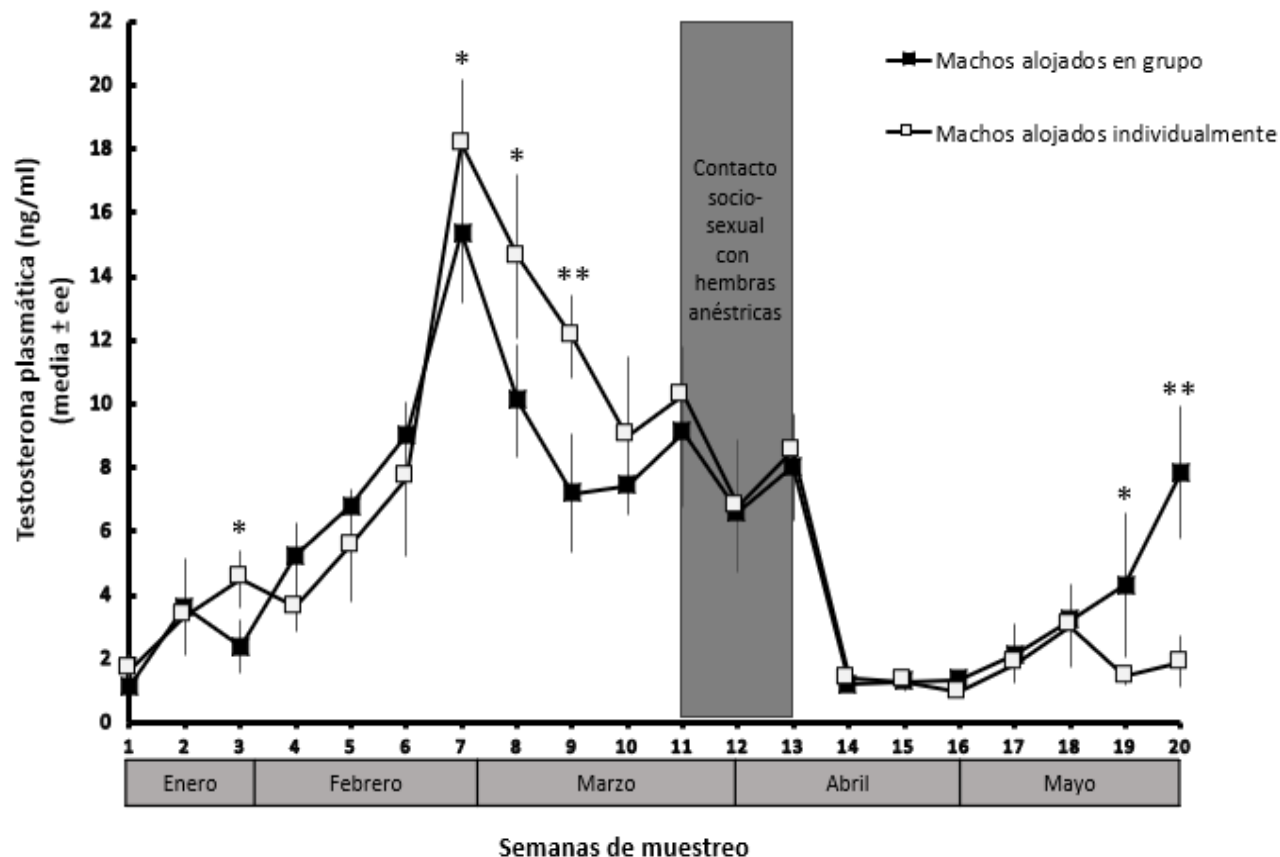


Figura 14 Concentraciones de testosterona plasmática (media $\pm$ ee) en machos cabríos sexualmente inexpertos fotoestimulados colocados en un mismo corral (■) y machos sexualmente inexpertos fotoestimulados colocados en corrales individuales (□), durante el primer encuentro socio-sexual con hembras anéstricas. (* $P > 0.05$) (** $P < 0.001$).

4.2 Comportamiento sexual de los machos cabríos

En los días 0, 1 y 2, después de la entrada de los machos con las hembras, los sementales fotoestimulados colocados en grupo registraron más aproximaciones que los machos colocados individualmente ($P < 0.0001$; Figura 15). De manera similar, en los días 0 y 2, los machos fotoestimulados colocados en el mismo corral mostraron más olfateos anogenitales ($P < 0.0001$), sin embargo, en el día 1 no se observó una diferencia significativa en los machos colocados individualmente ($P > 0.005$; Figura 15). En cuanto a los intentos de monta, tampoco se encontraron diferencias entre los 2 grupos de machos ($P > 0.05$).

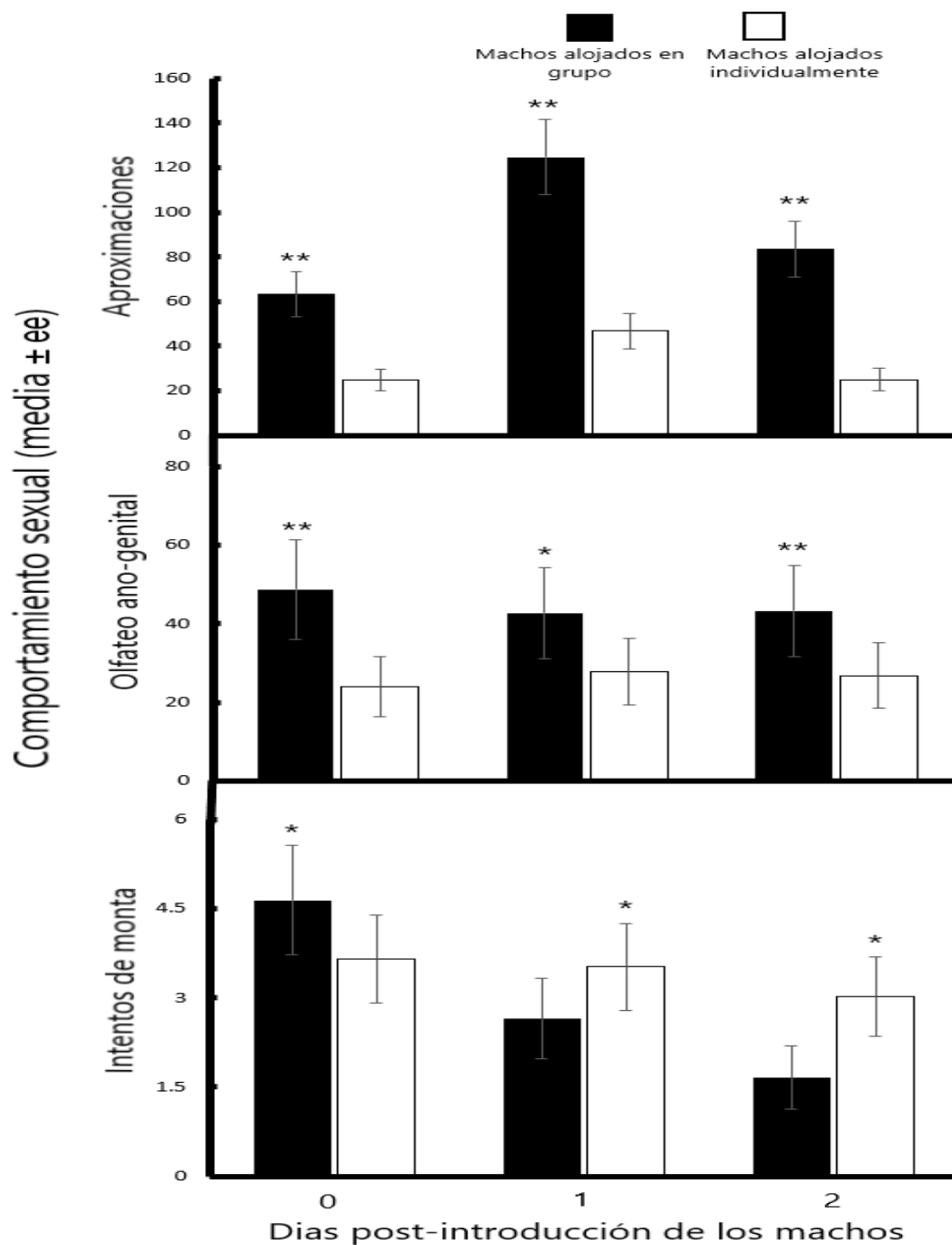


Figura 15 Comportamiento sexual (media $\pm$ ee) en machos sexualmente inexpertos fotoestimulados colocados en un mismo corral (■) y machos sexualmente inexpertos fotoestimulados colocados individualmente en corrales (□), durante el primer encuentro socio-sexual con hembras anéstricas. (* $P > 0.05$) (** $P < 0.0001$).

V. DISCUSIÓN

Los hallazgos de esta investigación sugieren que los machos sin experiencia sexual fotoestimulados, tanto aquellos colocados individualmente como como los mantenidos en un mismo corral presentaron concentraciones plasmáticas de testosterona similares. Estos resultados coinciden con el trabajo reportado por Illius *et al.* (1976), donde compararon los niveles plasmáticos de testosterona de carneros Hampshire, donde utilizó 4 grupos de carneros: el primer grupo se alimentó artificialmente (con sustituto de leche) y posteriormente al destete se mantuvieron en aislamiento individual, el segundo grupo se criaron de forma natural y después del destete se mantuvieron en aislamiento individual, el tercer grupo se mantuvieron en un grupo exclusivamente de machos, y el cuarto grupo igualmente se mantuvieron en grupo de machos y además, colocaron 3 ovejas de la misma edad hasta los 9 meses de edad. Posteriormente todos los carneros se sometieron a pruebas donde tuvieron contacto con una oveja ovariectomizada inducida a estro. El muestreo sanguíneo se realizó entre las 10 semanas y los 21 meses de edad, los resultados no indicaron diferencia significativa entre los 4 grupos de carneros, por lo tanto, el hecho de que los carneros sean criados en total aislamiento y sin experiencia sexual parece no afectar los patrones en la secreción de testosterona plasmática. En esta investigación los hallazgos indicaron un aumento en los niveles plasmáticos de testosterona tanto en los machos sin experiencia sexual colocados en un mismo corral como en los colocados en corrales individuales cuando tuvieron el primer encuentro con las hembras anéstricas.

Así, la actual investigación muestra que a partir de febrero a mediados de abril aumentan las concentraciones plasmáticas de testosterona en ambos grupos de machos, en los individuales y en grupo social, aunque el 13 de marzo fue mayor en los machos colocados individualmente. Este patrón de secreción de testosterona es similar al reportado anteriormente en machos cabríos con experiencias sexual expuestos a un fotoperiodo de días artificiales largos durante 75 días (2.5 meses), donde las concentraciones de testosterona plasmática aumentaron durante el lapso de quietud sexual natural (Delgadillo *et al.*, 2002; Muñoz *et al.*, 2017).

En cuanto a la conducta sexual, los hallazgos de la presente investigación muestran que los machos sin experiencia sexual fotoestimulados colocados en corrales individuales manifestaron una menor intensidad en su conducta sexual en comparación con aquellos mantenidos en un mismo corral. Los machos mantenidos en el mismo corral realizaron un mayor número de aproximaciones hacia las hembras en anestro. Asimismo, se observó que, en el primer y último día de interacción con las hembras, estos machos exhibieron una mayor frecuencia de olfateos anogenitales. Estos resultados concuerdan con estudios previos donde el aislamiento social disminuyó las conductas sexuales de los verracos. Por ejemplo, Hemsworth *et al.* (1977), utilizaron 3 grupos de verracos para evaluar su comportamiento sexual, el primer grupo los verracos fueron criados en restricción social, el segundo los verracos fueron criados en grupo social, y el tercero los verracos tuvieron contacto con 3 hembras primerizas. Cabe mencionar que los grupos 1 y 2 tuvieron contacto olfativo y auditivo de cerdas primerizas. Cuando se efectuaron las pruebas de conducta sexual en dicho estudio, los investigadores utilizaron cerdas primerizas ovariectomizadas inducidas a presentar estró. Los resultados indicaron que los verracos del grupo social exhibieron alto comportamiento sexual, evaluado mediante el número de montas, contacto del hocico en los costados de la hembra, así como, ruidos guturales y olfateos ano-genitales fue mayor comparados con los verracos sin experiencia sexual y colocados individualmente. De igual manera, el estudio de Price y Wallach (1990), evaluaron el comportamiento sexual de toros Hereford, donde utilizaron 2 grupos de machos, en el primer grupo los toros fueron criados con hembras ovariectomizadas y el segundo grupo los toros fueron criados unisexualmente (solo machos), posteriormente se efectuaron las pruebas de comportamiento sexual con hembras inducidas a estró. Los resultados de dicho estudio indicaron que el aislamiento individual disminuye la actividad sexual, aún, cuando los animales tienen experiencia sexual previa y son aislados temporalmente.

En la presente investigación los machos fotoestimulados sin experiencia sexual colocados en corrales individuales como los colocados en un mismo corral realizaron de manera similar intentos de monta, este resultado concuerda con estudios previos donde los carneros y machos cabríos con experiencia sexual muestran la misma conducta sexual (Price *et al.*, 1991; Fernández *et al.*, 2018).

Aunque los hallazgos de la presente investigación difieren con los resultados obtenidos por Lacuesta *et al.* (2018), donde indican que los machos cabríos adultos colocados en aislamiento de hembras muestran pobre comportamiento sexual. De hecho, en dicho estudio no menciona si los machos fueron previamente estimulados para mejorar su rendimiento sexual durante el primer contacto con las hembras. O bien, Lacuesta *et al.* (2018) encontraron dichos resultados debido a que durante el aislamiento social los machos no expresaron sus señales sensoriales, por ejemplo, se ha observado que cuando los animales se mantienen en grupos, tienen la oportunidad de mirarse, olfatearse, oírse y tocarse entre sí, así como mostrar algunos componentes de la conducta sexual entre ellos (como montarse), mejorando su desempeño sexual cuando se ponen en contacto con hembras.

Para cerrar, los hallazgos obtenidos de la presente investigación revelan que los machos sin experiencia sexual fotoestimulados puestos individualmente en cada corral como los colocados en un mismo corral fueron capaces de atraer el interés de las hembras en anestro desde un primer contacto y también fueron capaces de reactivar el eje hipotálamo-hipófisis-ovario, reanudando su actividad sexual de estas hembras anéstricas. Entonces, el hecho de aplicar un tratamiento lumínico con la propósito de impulsar su actividad sexual durante el lapso de quietud sexual natural a los machos sexualmente inexpertos tiene resultado benéfico, ya que se observó que la falta de experiencia sexual y la separación social no influyó en su capacidad para desplegar conductas sexuales durante la primera interacción socio-sexual con hembras anéstricas.

VI. CONCLUSIÓN

Se demuestra que los machos cabríos sin experiencia sexual fotoestimulados colocados en corrales individuales, así como los situados en un mismo corral exhibieron concentraciones similares de testosterona plasmática. Sin embargo, el comportamiento sexual es menos intenso en los machos cabríos sin experiencia sexual fotoestimulados colocados en corrales individuales.

VII. LITERATURA CITADA

- Ahmad, N., Noakes, D. E. (1995). Seasonal variations in testis size, libido and plasma testosterone concentrations in British goats. *Animal Science*, 61 (03) 553-559.
- Aréchiga, C. F., Aguilera, J. I., Rincón, R. M., De Lara, S. M., 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.
- Arellano-Lezama, T., Cruz-Espinoza, F., Pro-Martínez, A., Salazar-Ortiz, J., Gallegos-Sánchez, J. (2017). Factores ambientales que afectan la calidad seminal del carnero. *Agro Productividad*, 10 (2), 53-59.
- Beach, F. A. (1976). Sexual attractivity, proceptivity, and receptivity in female mammals. *Hormones and Behavior*, 7, 105-138.
- Bedos, M., Flores, J. A., Fitz-Rodríguez, G., Keller, M., Malpaux, B., Poindron, P., Delgadillo, J. A. (2010). Four hours of daily contact with sexually active males is sufficient to induce fertile ovulation in anestrus goats. *Hormones and Behavior*, 58 (3), 473-477.
- Bedos, M., Velázquez, H., Fitz-Rodríguez, G., Flores, J. A., Hernández, H., Duarte, G., Vielma, J., Fernández, I. G., Retana-Márquez, M. S., Muñoz-Gutiérrez, M., Keller, M., Delgadillo, J. A. (2012). Sexually active bucks are able to stimulate three successive groups of females per day with a 4-hour period of contact. *Physiology and Behavior*, 106 (2), 259-263.
- Bidot-Fernández, A. (2017). Composition, attributes and benefits of goat milk: Literature review. *Journal of Animal Production*, 29 (2), 32-41.
- Chemineau, P. (1987). Possibilities for using bucks to stimulate ovarian and oestrous cycles in anovulatory goats-a review. *Livestock Production Science*, 17, 135-147.

- Chemineau, P., Delgadillo, J. A. (1994). Neuroendocrinologie de la reproduction chez les caprins. *INRA Productions Animales*, 7 (5), 315-326.
- Chemineau, P., Daveau, A., Maurice, F., Delgadillo, J. A. (1992). Seasonality of estrus and ovulation is not modified by subjecting female Alpine goats to a tropical photoperiod. *Small Ruminant Reserach*, 8 (4), 299-312.
- Clarke, I. J., Pompolo, S. (2005). Synthesis and secretion of GnRH. *Animal Reproduction Science*, 88, 29-55.
- Congreso del Estado Independiente, Libre y Soberano de Coahuila de Zaragoza 2013. Ley de Protección y Trato Digno a los animales para el Estado de Coahuila de Zaragoza. Ley Publicada en el Periódico Oficial. Disponible en: https://www.congresocoahuila.gob.mx/transparencia/03/Leyes_Coahuila/coa197.pdf Fecha de acceso: 17 de enero de 2025.
- Delgadillo, J. A. (2011). Environmental and social cues can be used in combination to develop sustainable breeding techniques for goat reproduction in the subtropics. *Animal*, 5 (1), 74-81.
- Delgadillo, J. A., Vélez, L. I. (2010). Stimulation of reproductive activity in anovulatory Alpine goats exposed to bucks treated only with artificially long days. *Animal*, 4 (12), 2012-2016.
- Delgadillo, J. A., Canedo, G. A., Chemineau, P., Guillaume, D., Malpoux, B. (1999). Evidence for an annual reproductive rhythm independent of food availability in male creole goats in subtropical northern Mexico. *Theriogenology*, 52, 727-737.
- Delgadillo, J. A., Carrillo, E., Morán, J., Duarte, G., Chemineau, P., Malpoux, B. (2001). Induction of sexual activity of male creole goats in subtropical northern Mexico using long days and melatonin. *Journal of Animal Science*, 79 (9), 2245-2252.
- Delgadillo, J. A., Cortez, M. A., Duarte, G., Chemineau, P., Malpoux, B. (2004). Evidence that the photoperiod controls the annual changes in testosterone secretion, testicular and body weight in subtropical male goats. *Reproduction Nutrition Development*, 44 (3), 183-193.

- Delgadillo, J. A., Flores, J. A., Hernández, H., Poindron, P., Keller, M., Fitz-Rodríguez, G., Duarte, G., Vielma, J., Fernández, I. G., Chemineau, P. (2014). Sexually active males prevent the display of seasonal anestrus in female goats. *Hormones and Behavior*, 69, 8-15.
- Delgadillo, J. A., Flores, J. A., Véliz, F. G., Hernández, H. F., Duarte, G., Vielma, J., Poindron, P., Chemineau, P., Malpaux, B. (2002). Induction of sexual activity in lactating anovulatory female goats using male goats treated only with artificially long days. *Journal of Animal Science*, 80, 2780-2786.
- Delgadillo, J. A., Gelez, H., Ungerfeld, R., Hawken, P. A. R., Martin, G. B. (2009). The “male effect” in sheep and goats-Revisiting the dogmas. *Behavioural Brain Research*, 200 (2), 304-314.
- Delgadillo, J. A., Malpaux, B., Chemineau, P. (1997). La reproduction des caprins dans les zones tropicales et subtropicales. *INRA Production Animales*, 10 (1), 33-41.
- Duarte, G., Flores, J. A., Malpaux, B., Delgadillo, J. A. (2008). Reproductive seasonality in female goats adapted to a subtropical environment persists independently of food availability. *Domestic Animal Endocrinology*, 35, 362-370.
- 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, 235-246.
- Espinosa-Cervantes, R., Córdova-Izquierdo, A., Soto-González, R. (2014). Comportamiento sexual en ovinos y caprinos. *Sociedades rurales, producción y medio ambiente*, 26, 99-116.
- Fernández, I. G., Luna-Orozco, J. R., Vielma, J., Duarte, G., Hernández, H., Flores, J. A., Gelez, H., Delgadillo, J. A. (2011). Lack of sexual experience does not reduce the responses of LH, estrus or fertility in anestrus goats exposed to sexually active males. *Hormones and Behavior*, 60 (5), 484-488.

- Fernández, I. G., Flores-Medina, E., Flores, J. A., Hernández, H., Vielma, J., Fitz-Rodríguez, G., Duarte, G. (2018). Absence of previous sexual experience did not modify the response of anoestrous goats top foto-stimulated bucks in Spring. *Italian Journal of Animal Science*, 17 (2), 306-311.
- Fernández, I. G., Loya-Carrera, J., Sifuentes-Lamónt, P., Duarte, G., Flores, J. A., Grimaldo, E., Hernández, H., Ulloa-Arvizu, R., Andrade-Esparza, J. D. (2020). Social isolation does not inhibit sexual bahaviour and testosterone secretion in sexually inexperienced photo-stimulated bucks in contact with seasonally anoestrous goats. *Italian Journal of Animal Science*, 19 (1), 989-996.
- Flores, J. A., Véliz, F. G., Pérez-Villanueva, J. A., Martínez-de la Escalera, G., Chemineau, P., Poindron, P., Malpoux, B., Delgadillo, J. A. (2000). Male reproductive condition is the limiting factor of efficiency in the male effect during seasonal anestrus in female goats. *Biology of Reproduction*. 62, 1409-1414.
- Flores-Nájera, M., Rosales-Nieto, C. A., Vélez-Monroy, L. I., Chávez-Solís, A. U. (2021). Influencia del nivel nutricional sobre la calidad seminal y el comportamiento sexual de los machos cabríos tratados con días largos artificiales. *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*, 23 (1), 36-44.
- Gallegos-Sánchez, J., Tejada-Sartorius, O., Cortez-Romero, C., Pérez-Hernández, P., Salazar-Ortiz, J. (2013). Métodos “limpios, verdes y éticos” para aumentar la eficiencia reproductiva de rumiantes. *Agro Productividad*, 6 (6), 30-35.
- Gelez, H., Archer, E., Chesneau, D., Lindsay, D., Fabre-Nys, C. (2004). Role of experience in the neuroendocrine control of ewes´ sexual behavior. *Hormones and Behavior*, 45 (3), 190-200.
- González, A., Pescador, N., Lucero, F. A., Vázquez, J. F. (2021). Fisiología de la reproducción y productividad en pequeños rumiantes. Editorial Academia Española.

- Hemsworth, P. H., Beilharz, R. G., Galloway, D. B. (1977). Influence of social conditions during rearing on the sexual behaviour of the domestic boar. *Animal Production*, 24 (02), 245-251.
- Hoyos, F. G., Salinas, G. H. (1994). Comercialización de leche y carne de caprinos en la Comarca Lagunera, México. *Turrialba*, 44 (2), 122-128.
- IBM Corp. Released 2011. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 20.0. Armonk, NY: IBM Corp.
- Illius, A W., Haynes, N. B., Purvis, K., Lamming, G. E. (1976). Plasma concentrations of testosterone in the developing ram in different social environments. *Journal of Reproduction and Fertility*, 48, 17-24
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. INEGI 2021. Información Topográfica de Torreón. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463870661> Fecha de acceso: 16 de enero de 2025.
- Katz, L. S., Price, E. O., Wallach, S. J. R., Zenchak, J. J. (1988). Sexual performance of rams reared with or without females after weaning. *Journal of Animal Science*, 66 (5), 1166-1773.
- Lacuesta, L., Giriboni, J., Orihuela, A., Ungerfeld, R. (2018). Rearing bucks isolated from females affects negatively their sexual behavior when adults. *Animal Reproduction*, 15 (2), 114-117.
- López-Vargas, S. B., Flores-Cabrera, J. A., Duarte-Moreno, G. (2011). Los machos cabríos criollos en reposos sexual no adelantan el inicio de la actividad sexual natural ante la exposición constante de hembras inducidas artificialmente al estro. *Revista Agraria-Nueva Época*, 8 (1), 30-34.
- Loya-Carrera, J. A., Ramírez, S., Hernández, H., Vielma, J., Duarte, G., Fernández, I. G. (2017). Sexually inexperienced anestrous goats are eble to exhibit sexual behaviours exposed to sexually active bucks. *Journal Animal Behaviour Biometeorology*, 5, 64-71.

- Luna-Orozco, J. R., Guillen-Muñoz, J. M., De Santiago-Miramontes, M. de los A., García, J. E., Rodríguez-Martínez, R., Meza-Herrera, C. A., Mellado, M., Véliz, F. G. (2011). Influence of sexually inactive bucks subjected to long photoperiod or testosterone on the induction of estrus in anovulatory goats. *Tropical Animal Health and Production*, 44 (1), 71-75.
- Malpaux, B., Robinson, J. E., Wayne, N. L., Karsch, F. J. (1989). Regulation of the onset of the breeding season of the ewe: importance of long days and of an endogenous reproductive rhythm. *Journal of Endocrinology*, 122, 269-278.
- McDonell, S. (1986). Reproductive behavior of the stallion. *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*, 2 (3), 535-555.
- Mellado, M., Hernández, J. R. (1996). Ability of androgenized goat wethers and does to induce estrus in goats under extensive conditions during anestrus and breeding seasons. *Small Ruminant Research*, 23, 37-42.
- Muñoz, A. L., Chesneau, D., Hernández, H., Bedos, M., Duarte, G., Vielma, J., Zarazaga, L. A., Chemineau, P., Keller, M., Delgadillo, J. A. (2017). Sexually active bucks counterbalance the seasonal negative feedback of estradiol on LH in ovariectomized goats. *Domestic Animal Endocrinology*, 60, 42-49.
- Núñez-Favre, R., Bonaura, M. C., García-Mitaceck, M. C., Stornelli, M. C., Stornelli, M. A., De la Sota, R. L. (2013). Estacionalidad reproductiva en animales domésticos, nuevas perspectivas en el gato (*Felis silvestris catus*). *ANALECTA VET*, 33 (1), 42-49.
- Price, E. O. (1985). Sexual behavior of large domestic farm animals: an overview. *Journal of Animal Science*, 61 (3), 62-74.
- Price, E. O., Smith, V. M. (1984). The relationship of male-male mounting to mate choice and sexual performance in male dairy goats. *Applied Animal Behaviour Science*, 13, 71-82.
- Price, E. O., Wallach, S. J. R. (1990). Short-term individual housing temporarily reduces the libido of bulls. *Journal of Animal Science*, 68 (11), 3572-3577.

- Price, E. O., Borgwardt, R., Blackshaw, J. K., Blackshaw, A., Dally, M. R., Erhard, H. (1994). Effect of early experience on the sexual performance of yearling rams. *Applied Animal Behaviour Science*, 42, 41-48.
- Price, E. O., Estep, D. Q., Wallach, S. J. R., Dally, M. R. (1991). Sexual performance of rams determined by maturation and sexual experience. *Journal of Animal Science*, 69 (3), 1047-1052.
- Revel, F. G., Masson-Pévet, M., Pévet, P., Mikkelsen, J. D., Simonneaux, V. (2009). Melatonin controls seasonal breeding by a network of hypothalamic targets. *Neuroendocrinology*, 90, 1-14.
- Rivas-Muñoz, R., Fitz-Rodríguez, G., Poindron, P., Malpoux, B., Delgadillo, J. A. (2007). Stimulation of estrous behavior in grazing female goats by continuous or discontinuous exposure to males. *Journal of Animal Science*, 85, 1257-1263.
- Robinson, J. E., Wayne, N. L., Karsch, F. J. (1985). Refractoriness to inhibitory lengths initiates the breeding season of the Suffolk ewe. *Biology of Reproduction*, 32, 1024-1030.
- Rosa, H. J. D., Bryant, M. J. (2003). Seasonality of reproduction in sheep. *Small Ruminant Research*, 48, 155-171.
- Rosa, H. J. D., Silva, C. C., Bryant, M. J. (2003). The effect of paddock size in the response of seasonal anoestrous ewes to the ram effect. *Small Ruminant Research*, 48, 233-237.
- Rosales-Nieto, C. A., Urrutia-Morales, J., Gámez-Vázquez, H., Díaz-Gómez, M. O., Ramírez-Andrade, B. M. (2006). Influencia del nivel de la alimentación en la actividad reproductiva de cabras criollas durante la estación reproductiva. *Técnica Pecuaria en México*, 44 (3), 399-406.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SIAP 2022. Apartado Población Ganadera Anual. Disponible en: https://nube.siap.gob.mx/poblacion_ganadera/ . Fecha de acceso: 16 de enero de 2025.

- Simitzis, P. E., Deligeorgis, S. G., Bizelis, J. A. (2006). Effect of breed and age on sexual behavior of rams. *Theriogenology*, 65, 1480-1491.
- Thiéry, J. C., Chemineau, P., Hernandez, X., Migaud, M., Malpoux, B. (2002). Neuroendocrine interactions and seasonality. *Domestic Animal Endocrinology*, 23, 87-100.
- Véliz, F. G., Moreno, S., Duarte, G., Vielma, J., Chemineau, P., Poindron, P., Delgadillo, J. A. (2002). Male effect in seasonally anovulatory lactating goats depends on the presence of sexually active bucks, but not estrous females. *Animal Reproduction Science*, 72 (3-4), 197-207.
- Walkden-Brown, S. W., Restall, B. J., Norton, B. W., Scaramuzzi, B. J. (1994). The "female effect" in Australian cashmere goats: effect of seasonal and quality of diet on the LH and testosterone response of bucks to oestrous does. *Journal of Reproduction and Fertility*, 100 (2), 521-531.