

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL



**En los machos cabríos del subtrópico mexicano, 1 hora de luz artificial extra
16 horas después del alba, incrementa las concentraciones de testosterona
durante el periodo de reposo sexual**

Por:

Daniel Morales Mireles

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Torreón, Coahuila, México
Febrero 2025

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL

En los machos cabríos del subtrópico mexicano, 1 hora de luz artificial extra 16 horas después del alba, incrementa las concentraciones de testosterona durante el periodo de reposo sexual

Por:

Daniel Morales Mireles

TESIS

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

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Aprobada por:



Dr. José Alfredo Flores Cabrera
Presidente



Dr. Horacio Hernández Hernández
Vocal



Dr. Juan Carlos Martínez Alfaro
Vocal



Dra. Ilda Graciela Fernández García
Vocal Suplente



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

Torreón, Coahuila, México
Febrero 2025



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL

En los machos cabríos del subtrópico mexicano, 1 hora de luz artificial extra 16 horas después del alba, incrementa las concentraciones de testosterona durante el periodo de reposo sexual

Por:

Daniel Morales Mireles

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dr. José Alfredo Flores Cabrera
Asesor Principal



Dr. Horacio Hernández Hernández
Coasesor



Dr. Juan Carlos Martínez Alfaro
Coasesor



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

Torreón, Coahuila, México
Febrero 2025



AGRADECIMIENTOS

Agradezco inmensamente a Dios. por la vida que me ha dado a mí y a mi familia, gracias a El he logrado culminar mis estudios profesionales.

Agradezco a mi madre Lic. Sandra Mireles Jaime. por su sacrificio que siempre ha puesto en mis estudios y siempre me ha apoyado.

A mi señor padre Ismael Morales Castañón por su esfuerzo y de dedicación por apoyarme en mis estudios.

Al Dr. José Alfredo Flores Cabrera quien me ha apoyado para realizar este trabajo de investigación siendo el mi asesor.

Dr. Horacio Hernández Hernández. por colaborar en este trabajo de investigación.

Dr. Juan Carlos Martínez Alfaro de igual manera por colaborar en esta tesis.

A cada uno de mis maestros presentes en la carrera.

A MI ALMA TERRA MATER UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIO ANTONIO NARRO UL. Por acogerme en sus instalaciones haciéndome sentir en casa.

Al personal del Centro de Investigación en Reproducción Caprina (CIRCA). Por el apoyo brindado para este trabajo.

DEDICATORIA

A mis padres, Ismael Morales Castaños y Sandra Mireles Jaime por su grande amor a sus hijos.

A mi hermana Ana Laura quien siempre me ha brindado su apoyo

A mi tía Ma. Candelaria por siempre estar conmigo

A mi esposa Karla Nallely por apoyarme en cada momento

A mis hijos que son el motivo de cada uno de mis logros.

Dr. José Alfredo Flores Cabrera por la atención y apoyo brindado.

RESUMEN

En este estudio se investigó si los machos caprinos del subtrópico mexicano, 1 hora de luz artificial extra 16 horas después del alba incrementa los niveles plasmáticos de testosterona durante el periodo de inactividad sexual (marzo-abril). Para el estudio se seleccionaron 15 machos adultos locales adultos y estos fueron divididos en tres grupos (n=5 c/u). En el Grupo 1 (Control), los machos percibieron el fotoperiodo natural de la región. Los machos de los Grupos 2 y 3 fueron sometidos a un tratamiento fotoperiódico de días largos artificiales. En el Grupo 2, los machos percibieron 16 horas continuas de luz por día de las cuales 8 horas fueron de luz artificial (05:00-08:00 h y 17:00-22:00 h). En el Grupo 3, se simplificó el tratamiento fotoperiódico al reducir a 4 las horas de luz artificial (05:00-08:00 h y 21:00-22:00 h). En todos los grupos, se determinaron las concentraciones plasmáticas de testosterona del 1 de enero al 30 de marzo. El comportamiento sexual desplegado por los machos (olfateos ano-genitales, aproximaciones, intentos de monta, montas y flehmen) fue registrado durante 1 hora diaria durante 3 días consecutivos. La condición corporal fue determinada cada dos semanas de enero a marzo. El ANOVA registró un efecto del grupo ($P < 0.01$) en las concentraciones de testosterona. Además, los niveles plasmáticos de esta hormona variaron a través de los meses en los tres grupos de machos (efecto- tiempo; $P < 0.01$). Las variaciones registradas en los machos fueron diferentes entre los grupos (interacción tiempo-grupo: $P < 0.01$). En el grupo no tratado, la testosterona plasmática se mantuvo baja durante todo el estudio. Al contrario, en los dos grupos sometidos a días largos artificiales, la testosterona se incrementó paulatinamente desde mediados de febrero y las concentraciones máximas se alcanzaron alrededor del 15 de marzo en Grupo 2 (10 ± 2.3 ng/ml) y en el Grupo 3 (13.5 ± 2.3 ng/ml). En las concentraciones de testosterona no se registraron diferencias estadísticas entre estos dos grupos tratados con días largos ($P > 0.05$). La cantidad total de conductas sexuales mostradas por machos cuando fueron puestos en contacto con hembras anéstricas fueron mayores en los dos grupos tratados (Grupos 2 y 3) que en los machos del grupo Control ($P < 0.01$). No se registró diferencia estadística entre los machos de estos dos últimos grupos ($P < 0.05$). En cuanto a la condición corporal de los machos, ésta varió significativamente a través del estudio entre los tres grupos (efecto tiempo; $P < 0.001$; efecto grupo: $P < 0.001$). Se concluye que en los machos cabríos del subtrópico mexicano, 1 hora de luz artificial extra 16 horas después del alba es suficiente para que los machos lo perciban ese fotoperiodo como como día largo y se induce una intensa actividad sexual, incrementando las concentraciones de testosterona plasmática y el comportamiento sexual de los machos caprinos en el periodo de reposo sexual natural.

Palabras clave: Machos cabríos, Tratamiento fotoperiódico, Testosterona, Comportamiento sexual, Condición corporal

INDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIA.....	ii
RESUMEN	iii
INDICES DE FIGURAS	vi
INTRODUCCION	1
OBJETIVO	4
HIPÓTESIS.....	4
REVISION DE LITERATURA	5
1. Importancia socio-económica de la producción de caprinos en las regiones áridas y semiáridas	5
2. Estacionalidad sexual de los caprinos.....	7
3. El fotoperiodo como sincronizador de la actividad sexual anual de los pequeños mamíferos estacionales.....	9
4. Métodos de inducción de la actividad sexual en machos cabríos utilizando el fotoperiodo artificial.....	11
i). Avance en inicio de la estación reproductiva en la hembra.....	12
ii). Eliminación de la estacionalidad reproductiva.....	12
iii). Inducción de la actividad sexual a contra estación	13
MATERIALES Y METODOS	15
1. Ubicación del estudio y características geográficas de la región.....	15
2. Animales utilizados en el estudio.....	15
3. Tratamientos fotoperiódicos	15
4. Variables que se determinaron.....	17
4.1 Concentraciones de testosterona plasmática.....	17
4.2 Conductas sexuales mostradas por los machos	17
4.3. Condición corporal	17
4.4. Análisis estadísticos.....	18
RESULTADOS	19
1. Concentraciones de testosterona plasmática.....	19
2. Conductas sexuales mostradas por los machos	19

3. Condición corporal de los machos	23
DISCUSIÓN	25
CONCLUSIONES.....	29
LITERATURA CITADA.....	30

INDICES DE FIGURAS

- Figura 1** Concentraciones plasmáticas de testosterona de los tres grupos de machos. (A) Machos Control que percibieron las variaciones del fotoperiodo durante todo el estudio. (B) Machos Foto-estimulados con únicamente 4 horas de luz artificial complementaria y (C) Machos Foto-estimulados con 9 horas de luz complementaria..... 21
- Figura 2** Número total de aproximaciones y olfateos ano-genitales que manifestaron los tres grupos de machos al ser puestos en contacto con hembras anovulatorias. machos mostrados por (A) Machos Control que percibieron las variaciones del fotoperiodo durante todo el estudio. (B) Machos Foto-estimulados con únicamente 4 horas de luz artificial complementaria y (C) Machos Foto-estimulados con 9 horas de luz complementaria..... 22
- Figura 3** Número total de intentos de monta, montas sin penetración y que manifestaron los tres grupos de machos al ser puestos en contacto con hembras anovulatorias. machos mostrados por (A) Machos Control que percibieron las variaciones del fotoperiodo durante todo el estudio. (B) Machos Foto-estimulados con únicamente 4 horas de luz artificial complementaria y (C) Machos Foto-estimulados con 9 horas de luz complementaria..... 23
- Figura 4** Condición corporal de los tres grupos de machos cabríos. (A) Machos Control que percibieron las variaciones del fotoperiodo durante todo el estudio. (B) Machos Foto-estimulados con únicamente 4 horas de luz artificial complementaria y (C) Machos Foto-estimulados con 9 horas de luz complementaria. 24

INTRODUCCION

En los últimos 25 años se ha generado información científica y se han desarrollado diferentes técnicas de control reproductivo para inducir la actividad sexual en la época de reposo sexual de los pequeños rumiantes que manifiestan estacionalidad reproductiva. Una de estas técnicas es la denominada comúnmente como “Efecto Macho” . Para llevar a cabo esta técnica de inducción y sincronización de la actividad sexual, es necesaria la introducción repentina de un macho dentro de un grupo de hembras que se encuentran anéstricas (Flores et al., 2000; Ponce-Covarrubias et al., 2014; Bedos et al., Delgadillo et al., 2009; 2021). De esta manera, es posible estimular los estros y las ovulaciones en el periodo natural de reposo sexual o anestro de las hembras en pocos días (10 a 15 días). Además, mediante la utilización de esta técnica, es posible obtener leche y cabritos en agosto-septiembre, es decir fuera de la época natural. Sin embargo, para que el efecto macho se realice con éxito en la época de anestro natural (marzo-abril), es necesario que los machos manifiesten intensa conducta sexual, además de una buena calidad espermática, intenso olor sexual, etc (Perkins y Fitzgerald et al., 1994; Walkden-Brown et al., 1999; Vielma et al., 2009). Para lograr lo anterior, es necesario someter a los machos cabríos a un tratamiento fotoperiódico de 2.0 o 2.5 meses de días largos artificiales de noviembre a mediados de enero, y estos días largos poder ir seguidos de la aplicación de implantes subcutáneos de melatonina (Flores et al., 2000; Delgadillo et al., 2001), días cortos naturales (Delgadillo et al., 2002; Ramírez et al., 2017) o días largos continuos (Chesneau et al., 2017). Los machos sometidos a este tratamiento fotoperiódico manifiestan durante marzo y

abril (periodo de reposo sexual) una elevada frecuencia de conductas sexuales, así como elevadas concentraciones de testosterona, peso testicular e intensidad de olor. Además, estos machos que son foto-estimulados con alguno de estos tratamientos son muy eficientes para estimular las ovulaciones y los estros de las cabras mediante la técnica del efecto macho (Martínez-Alfaro et al., 2014; Ponce-Covarrubias et al., 2015; Delgadillo et al., 2020; Fernández et al., 2021; Zarazaga et al., 2022).

Por otro lado, la mayoría de las explotaciones caprinas en la Región Lagunera como en otras entidades del país, se caracterizan por realizarse en condiciones extensivas y se ubican, por lo general, en zonas rurales o en la periferia urbana. Además, la mayoría de estas explotaciones carecen de instalaciones adecuadas, asesoría técnica y sobre todo, de técnicas de control reproductivo que hagan más eficiente la producción de leche y de carne (cabrito). Por ello, es necesario implementar técnicas más simples, baratas y que puedan ser utilizadas la mayoría de las explotaciones caprinas. Una alternativa para ello es simplificar el tratamiento de días largos artificiales para hacer más fácil su implementación en los hatos caprinos. Esta simplificación consiste en proporcionar menos cantidad de horas luz artificial complementaria en el esquema del tratamiento fotoperiódico de días largos artificiales (16 h/luz/día). El objetivo de este trabajo de investigación consistió en evaluar si en los machos cabríos del subtrópico mexicano, a los cuales se les simplifica el tratamiento fotoperiódico disminuyendo la cantidad de horas de luz artificial proporcionando solamente 1 hora de luz artificial extra 16 horas después

del alba, incrementa las concentraciones plasmáticas de testosterona e incrementa la frecuencia de conductas sexuales de los machos caprinos durante el reposo sexual.

OBJETIVO

Determinar si en los machos cabríos del subtrópico mexicano, 1 hora de luz artificial extra 16 horas después del alba fijada artificialmente incrementa las concentraciones de testosterona y la frecuencia de conductas sexuales en los machos durante el reposo sexual natural.

HIPÓTESIS

La exposición de los machos cabríos a solamente a 1 hora de luz artificial 16 horas después del alba es suficiente para elevar las concentraciones de testosterona y la frecuencia de conductas sexuales en el periodo de reposo sexual.

REVISION DE LITERATURA

1. Importancia socio-económica de la producción de caprinos en las regiones áridas y semiáridas

A nivel mundial la producción láctea de cabra se estimada en 754 millones de T anuales (83 % vaca, 12.9 % búfala, 2.37 % cabra, 1.34 % oveja y 0.37 camella: FAOSTAT, 2020). En Asia y África es donde se registra la mayor producción de leche de cabra. El principal productor de leche caprina es la India con un 27 %, seguido por Bangladesh (con un 14 % y Sudán con un 8 %; Sepe y Argüello, 2019). En estos sistemas de producción caprina, es muy común que la mayoría de las explotaciones que se manejan en sistemas de producción extensivos o semi-extensivos (Echaverría et al., 2013; Miller y Lu, 2019). La mayoría de las explotaciones son atendidas por los miembros de la familia y en su mayoría la producción de leche y carne, es para autoconsumo. Una gran proporción de las explotaciones caprinas se encuentran ubicados en zonas tropicales o áridas no aptas para la agricultura. En estas regiones, las razas de caprinos utilizados poseen bajo potencial genético para la producción de leche, sin embargo, han desarrollado y rusticidad que les permite adaptarse a las condiciones locales (Miller y Lu, 2019).

En el caso de la producción de capinos en México, únicamente se aporta 1.33 % de la población del mundo, lo que representa poco más 10 millones de cabezas de ganado distribuidas en alrededor de 494,000 hatos o rebaños (Andrade-Montemayor, 2017). De la explotación caprina dependen alrededor de 1.5 millones de personas que tienen la caprinocultura como su actividad productiva primaria o

complementaria (Aréchiga et al., 2008). En México, la mayoría de las explotaciones de caprinos (64%) se localizan en las regiones con características áridas y semiáridas, que representan ocupan una gran parte de la superficie nacional como son los desiertos de Chihuahua, Sonora y Coahuila (Andrade, 2017). Desde la época de la Colonia, estas regiones áridas se han utilizado para la explotación ganadera. La región del centro del país, fue utilizada al principio para el pastoreo de bovinos, sin embargo, debido a las características climáticas adversas como son menor disponibilidad de vegetación, los caprinos y ovinos fueron ocupando los sitios donde el ganado vacuno no prosperaba (Cantú et al., 1989). Las razas de caprinos introducidas por los españoles fueron principalmente la Murciana y la Granadina, que con el paso de los siglos dieron lugar a las actuales cabras Criollas mexicanas, cuya función principal era la producción de carne. A principios del siglo pasado, sin embargo, empezaron a importar de los Estados Unidos de América reproductores de razas europeas como Anglo-Nubia, Alpina Francesa, Saneen y Toggenburg (Aréchiga et al., 2008).

En la Región de la Laguna, la cual está conformada por varios municipios de Coahuila y Durango, contabiliza alrededor de 400,000 caprinos. Al igual que la caprinocultura de otras regiones, la mayoría de las explotaciones de caprinos en la Laguna son mantenidas en un sistema de producción extensivo sedentario (Hoyos et al, 1991;). Bajo este sistema, los animales son pastoreados durante el día por alrededor de 8 h y por la noche son alojados en corrales cerca de la casa de los productores (Sáenz-Escárcega et al., 1991; Delgadillo et al., 2009). Los animales consumen la vegetación nativa de los agostaderos en algunas épocas del año se

alimentan de esquilmos de la agricultura tecnificada. En estos sistemas de producción es poca frecuencia el uso de asistencia técnica y menos aún disponen de técnicas de control reproductivo que permita obtener sus productos fuera de las épocas naturales. Es decir, la reproducción está limitada, en la mayoría de los casos a la época natural de reproducción

2. Estacionalidad sexual de los caprinos

En todas las especies animales, el principal objetivo es la supervivencia de las crías para asegurar la conservación de la especie. Por ello, como estrategia, las especies han desarrollado a lo largo de la evolución, ciclos anuales en la muda de pelaje, en el crecimiento corporal, acumulación de reservas energéticas y crecimiento de cuernos, entre otros (Bronson, 1985). También algunas especies de animales han desarrollado ciclos reproductivos anuales, en los cuales se registra un periodo de reposo sexual con ausencia de ciclos estrales y ovulatorios en las hembras y disminución de la espermatogénesis y conductas sexuales en los machos. Estos periodos de baja actividad reproductiva son seguidos de periodos de intensa actividad sexual que corresponde a la estación reproductiva o época natural de reproducción (Lincoln, 1980, Malpoux, 2001). Durante este tiempo, las hembras presentan ciclos estrales y ovulatorios. En los machos se registra un incremento notable en la manifestación de conductas sexuales y un incremento en el volumen testicular y en la espermatogénesis (Ortavant et al., 1985). Esta estrategia desarrollada para programar la actividad sexual y reproductiva en una época del

año determinada, permite que la etapa de la preñez, así como el parto, la lactancia y posteriormente el destete de las crías ocurran en una época del año donde existe más alimentos disponibles y por lo tanto mayor producción de leche de las madres y con ello, mayores posibilidades de supervivencia de las crías. El tener una actividad reproductiva estacional es muy útil en especies de mamíferos silvestres, pero especies domésticas representa un problema para los productores que dependen de su explotación y buscan una producción durante todo el año (Ortavant et al., 1985).

En los caprinos, la estacionalidad en la actividad sexual depende del origen geográfica de los animales y la región donde se encuentren los animales. Razas de caprinos originarias de latitudes templadas ($>40^{\circ}$), manifiestan una actividad sexual en otoño e invierno. En los machos de esas latitudes, periodo de reposo sexual se presenta del final del invierno al inicio del otoño (Cheminau et al., 2004). Por ejemplo, en las cabras de la raza Alpina, el periodo de anestro o anovulación es de marzo a septiembre y el periodo de actividad sexual se presenta de octubre a febrero (Chemineau et al., 1992). En los machos de la misma raza, el peso y volumen testicular también experimentan marcadas variaciones estacionales. Esos cambios estacionales del peso testicular se correlacionan con variaciones estacionales en las concentraciones plasmáticas de testosterona y del comportamiento sexual, que son bajas al final del invierno y en primavera e intensos o elevados al final del verano y en otoño (Fabre-Nys, 2000). También se registran marcadas variaciones estacionales en la producción en la calidad y cantidad de semen de los machos cabríos (Delgadillo et al., 1993; 1995). En otras razas originarias de estas latitudes templadas como la Saanen, Toggenburg y Murciano-

Granadina se ha reportado que existen variaciones estacionales en su actividad sexual similares a la raza Alpina (Chemineau et al., 1988).

En las latitudes subtropicales (25-35°) también se ha reportado la presencia de estacionalidad reproductiva en las razas caprinas explotadas en esas regiones. Un ejemplo de los son las cabras Criollas Argentinas. Por ejemplo, en las cabras Criolla de Argentina (Rivera et al., 2003, así como en las cabras Cashmere australianas (Walkden-Brown et al., 1995), la actividad ovárica inicia en otoño y finaliza en invierno. En el subtrópico mexicano, las cabras Criollas tienen una estación reproductiva que inicia en agosto y termina en febrero. El resto del año, manifiestan ausencia de estros y ovulaciones (Duarte et al., 2008). En los machos de la misma raza, el periodo de inactividad sexual es de enero a abril y el tiempo de intensa actividad reproductiva es de mayo a diciembre (Delgadillo et al., 1999).

3. El fotoperiodo como sincronizador de la actividad sexual anual de los pequeños mamíferos estacionales

En los pequeños mamíferos estacionales, la duración de las horas luz o fotoperiodo, es el factor medioambiental que sincroniza los periodos de actividad e inactividad sexual en el año. La regulación del periodo reproductivo tanto de hembras como machos está mediada por la secreción de la hormona melatonina, la cual es sintetizada por la glándula pineal durante las horas de oscuridad (noche). Cuando la secreción de melatonina ocurre con mayor duración, el sistema nervioso central lo interpreta como un día corto. Por el contrario, menor duración de secreción

de melatonina, es interpretado como un día largo (Arendt,1998). La melatonina actúa en los núcleos supraquiasmáticos (NSQ) del hipotálamo regulando el reloj biológico que controla la síntesis y secreción de la hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH) que a su vez controla en la hipófisis anterior, la secreción de hormonal luteinizante (LH) y la hormona foliculoestimulante (FSH) involucradas en la regulación de los ciclos de actividad sexual durante el año.

En todas las de las razas caprinas estacionales tanto de latitudes templadas como subtropicales, el periodo en el cual se registra la actividad sexual es en los días cortos de verano y otoño, mientras que los periodos de inactividad sexual anual, se registran en primavera y verano. Por ello, estas razas de caprinos estacionales se han clasificado como días cortos (Delgadillo et al., 2009).

La duración del día depende de la latitud y, por lo tanto, la estacionalidad reproductiva puede diferir entre países y regiones. Los animales que perciben cambios menores en la duración del día, como es el caso de las regiones tropicales o ecuatoriales, manifiestan un periodo de actividad sexual más largo que aquellas razas de caprinos que se localizan en regiones templadas y subtropicales, los cuales exhiben periodos más extensos de inactividad sexual.

En los animales estacionales, como es el caso de los caprinos, la melatonina y el fotoperiodo artificial pueden utilizarse para controlar su actividad sexual (Delgadillo et al., 2009, Zarazaga et al., 2002).

4. Métodos de inducción de la actividad sexual en machos cabríos utilizando el fotoperiodo artificial

El periodo de actividad sexual de los machos cabríos puede ser modificado manipulando artificialmente la duración del día. La manipulación de la duración del día utilizando luz artificial es llamada tratamiento fotoperiódico. Esta es una técnica sustentable más utilizada para regular a voluntad la reproducción de los pequeños rumiantes fuera de la época natural de reproducción (Delgadillo et al., 2009, Zarazaga et al., 2002).

En últimos 30 años se han desarrollados diferentes tratamientos fotoperiódicos para manipular la reproducción de los ovinos y los caprinos. En todos los tratamientos existe una regla general, un fotoperiodo constante (días cortos o largos) no permite inducir o mantener la capacidad de reproducción en cualquier época del año (Malpaux, 2006). El principio de los tratamientos fotoperiódicos en esas especies se basa en una alternancia de días largos (o días crecientes) y de días cortos (o días decrecientes (Malpaux et al., 1997). Tanto el alba como el crepúsculo son más importantes que la duración total de las horas luz. Dependiendo de las circunstancias, los días largos podrán ser reales (luz natural o artificial) o imitados por una o dos horas de luz artificial (Flash) proporcionadas entre 15 y 17 horas después de un alba fijada artificialmente (Malpaux et al., 2001). En cuanto a los días cortos o decrecientes, estos pueden ser naturales o artificiales (en un edificio cerrado) o simulado por la administración de melatonina en forma de implantes.

Los tratamientos fotoperiódicos persiguen al menos tres objetivos: (i) avanzar la fecha de la estación sexual anual en la hembra, (ii) eliminar totalmente en los machos, los periodos de inactividad sexual, y (iii), inducir y mantener actividad estral-ovárica cíclica en las hembras y en los machos una buena producción de semen una actividad sexual intensa fuera de la estación sexual.

i). Avance en inicio de la estación reproductiva en la hembra

La melatonina administrada después de un periodo de al menos dos meses de días naturales crecientes o largos, inicial la estación reproductiva de las ovejas. Las ovejas originarias del norte de Europa, las cuales tienen una estación de reproducción marcada e inician su estación sexual en septiembre, la melatonina permite adelantar 1-1.5 meses el inicio de la estación sexual. También provoca un incremento en la tasa de ovulación que conduce a un aumento en la prolificidad. En las razas poco estacionales, como la raza Merino, esos tratamientos pueden ser aplicados con éxito durante todo el periodo de anestro. La aplicación de la melatonina por medio de implantes subcutáneos es la manera más económica y fácil de aplicación Zarazaga et al., 2022).

ii). Eliminación de la estacionalidad reproductiva

En carneros Ile-de-France, la alternancia de dos o tres meses días largos de 16 horas de luz por día, los cuales son seguidos de dos o hasta tres meses de días cortos de 8 horas de luz por día, elimina totalmente las variaciones estacionales de

la actividad espermatogénica, la cual se mantiene constante y elevada (Pelletier y Almeida, 1987; 1988). Esa alternancia rápida de fotoperiodos evita el establecimiento de un estado refractario tanto a días largos como a días cortos (Malpoux et al., 1997). Los resultados obtenidos en los ovinos han sido confirmados también en los machos cabríos. Los machos que reciben este tratamiento mantienen una actividad sexual elevada y prácticamente constante durante todo el año (Delgadillo et al., 1991). Así, la conducta sexual del macho, número de espermatozoides por eyaculado, concentraciones de testosterona, volumen testicular se incrementan al mismo nivel e incluso son mayores a los registrados en machos que se encuentran en el reposo sexual de manera natural (Delgadillo et al., 1992).

iii). Inducción de la actividad sexual a contra estación

El principio para establecer un tratamiento fotoperiodiodico para inducir la actividad reproductiva a contra estación o fuera de la época natural de reproducción, consiste en imponer un periodo mínimo de 2 meses de días largos durante el invierno, seguidos por días cortos (Delgadillo et al., 2002), o bien simulados por la aplicación subcutánea de melatonina (Flores et al., 2000; Delgadillo et al., 2001) durante la primavera. En los machos tratados de esta forma, la testosterona plasmática, así como la manifestación de conductas sexuales y la fertilidad son muy similares a los obtenidos durante la estación sexual natural de los mismos (Delgadillo et al., 2001; 2002; 2014). Además, este tratamiento mejora el efecto favorable de la introducción de un macho y permite un restablecimiento de la

actividad ovárica en las hembras. También es posible la gestación en la mayoría de las hembras (De Santiago-Miramontes et al., 2008; Bedos et al., 2014).

El tratamiento fotoperiodico “clásico” consiste en exponer a los machos cabríos a 75 días (2.5 meses) a días largos artificiales. Los días largos deben iniciar el 1 de noviembre y terminar el 15 de enero. Durante este tiempo, los machos deben percibir 16 horas de luz diariamente. Para ello, se utiliza la luz natural y se complementa con luz artificial por la mañana y la tarde-noche. Al finalizar los 75 días del tratamiento artificial, los machos perciben nuevamente el fotoperiodo natural de la región. Mediante este tratamiento, los machos manifiestan una intensa actividad sexual 2 meses después de finalizado el tratamiento (Flores et al., 2000; Ponce et al., 2014). En los machos tratados de esta manera, se observan concentraciones de testosterona elevadas, intenso comportamiento sexual, un intenso olor e incremento en la calidad del semen (Delgadillo et al., 2001; 2002).

MATERIALES Y METODOS

1. Ubicación del estudio y características geográficas de la región

La presente investigación se realizó, en el ejido Congregación Hidalgo, (25°29'24.7"N 103°08'18.8"W) municipio de Matamoros, Coahuila. Esta región ocurre una precipitación media anual de 163-504 mm. El clima es seco y semicálido, (CONAGUA, 2016). Las variaciones del fotoperiodo en la región son de 13:41 horas luz en el solsticio de verano y 10:19 horas en el solsticio de invierno.

2. Animales utilizados en el estudio

Para el presente trabajo se seleccionaron 15 machos adultos, Criollos y que eran manejados en un sistema de pastoreo extensivo. Estos animales se dividieron en tres grupos homogéneos (n=5 c/u) en condición corporal y circunferencia escrotal. Durante el estudio, los machos de cada grupo se alojaron en un corral separado al menos 25 metros de distancia entre ellos.

3. Tratamientos fotoperiódicos

Para realizar los tratamientos fotoperiódicos se combinó la luz natural y artificial. Cada grupo se alojó en un corral de 4 x 5 m, el cual estuvo equipado con

4 lámparas led de 30 watts y se utilizaron timers programados para controlar su encendido y apagado.

En el Grupo 1, los machos percibieron el fotoperiodo natural de la región. En el Grupo 2, el tratamiento consistió en que los machos percibían 16 horas de luz por día. Para ello, las lámparas se encendían 05:00 h y se apagaban a las 08:00 h. Posteriormente, las lámparas se encendían a las 17:00 h (antes del ocaso) y se apagaron a las 22:00 h. En ese tratamiento se proporcionó 8 horas de luz artificial (3 horas en la mañana y 5 horas por la tarde-noche). En el Grupo 3, se simplificó el tratamiento fotoperiódico al reducir las horas de luz artificial que se proporcionó a los machos cabríos. En este tratamiento, la luz artificial inició a las 05:00 h y terminó a las 08:00 h. Por la noche, se proporcionó únicamente 1 hora de luz artificial de 21:00 a 22:00 h. En este tratamiento se proporcionaron únicamente 4 horas de luz artificial (3 horas en la mañana y 1 hora por la noche).

El proceso se repitió diariamente en los grupos 1 y 2 del 1 de noviembre al 15 de enero. Después de esa fecha, los tres grupos de machos percibieron solamente las variaciones naturales del fotoperiodo de la región.

4. Variables que se determinaron

4.1 Concentraciones de testosterona plasmática

En los 3 grupos de machos se determinaron las concentraciones plasmáticas de testosterona quincenalmente de enero a marzo. Primero, se obtuvo una muestra de 5.0 ml sangre de la vena yugular en un tubo al vacío con heparina como factor anticoagulante. La muestra de sangre fue centrifugada a 3500 rpm durante 30 minutos y el plasma que se obtuvo se separó en un tubo Eppendor de 3.0 ml y se congeló a -125 °C hasta la determinación de la hormona testosterona. Las concentraciones de la testosterona plasmática se determinaron mediante la técnica de Ensayo de inmunoabsorción enzimática (ELISA).

4.2 Conductas sexuales mostradas por los machos

El comportamiento sexual de los machos (número de olfateos, aproximaciones, intentos de monta y montas) se determinó al exponer individualmente los machos durante 1 hora a hembras anestricas en el mes de marzo por tres días consecutivos.

4.3. Condición corporal

La condición corporal (CC) se determinó quincenalmente de noviembre a marzo. Se utilizó la técnica descrita por Walkden-Brown et al. (1994). Para ello, se

palpó la región lumbar, determinando la cantidad de tejido graso y muscular del animal en esa región anatómica. Los valores de técnica varían de 1 (extremadamente delgado) a la 4 (obeso).

4.4. Análisis estadísticos

Las concentraciones plasmáticas de testosterona se compararon mediante una prueba de ANOVA, utilizando dos factores (grupo y tiempo) y una prueba post hoc. Para el análisis del comportamiento sexual se utilizó la prueba no paramétrica de Fisher y para la condición caporal se utilizó con la prueba “U” de Mann-Whitney. Para todos los análisis estadísticos se utilizó el software SYSTAT 13 (Systat Software, San Jose, Cal).

RESULTADOS

1. Concentraciones de testosterona plasmática

El análisis estadístico mostró un efecto del grupo ($P < 0.01$), lo cual indica que las concentraciones de testosterona fueron diferentes entre los 3 grupos. Asimismo, se registró un efecto del tiempo ($P < 0.01$) indicando que la testosterona plasmática varió a través del tiempo de estudio en los tres grupos. De igual manera, se registró interacción tiempo-grupo ($P < 0.01$). En efecto, el grupo Control, la testosterona se mantuvo baja durante todo el estudio. Al contrario, en los dos grupos fotoestimulados con días largos artificiales, los niveles de testosterona plasmáticas se elevaron paulatinamente a partir del mes de febrero. En estos dos grupos, los valores máximos de testosterona se registraron el 15 de marzo (Grupo 2: 13.5 ± 2.3 ng/ml) y Grupo 3: 10 ± 2.3 ng/ml. No se registró diferencia estadística en las concentraciones de testosterona entre estos dos grupos de machos fotoestimulados con días largos artificiales ($P > 0.05$).

2. Conductas sexuales mostradas por los machos

La frecuencia total de conductas sexuales mostradas por los machos al ser expuestos a hembras anéstricas durante 1 hora diaria por 5 días consecutivos, fue mayor en los dos grupos de machos tratados (Grupos 2 y 3) que en los machos del grupo Control ($P < 0.01$). No hubo diferencia estadística entre los machos tratados

de los grupos 2 y 3 ($P < 0.05$). En la Figura 2 y 3, se puede apreciar la frecuencia total de conductas registradas en los tres grupos de machos.

Testosterona (ng/ml)

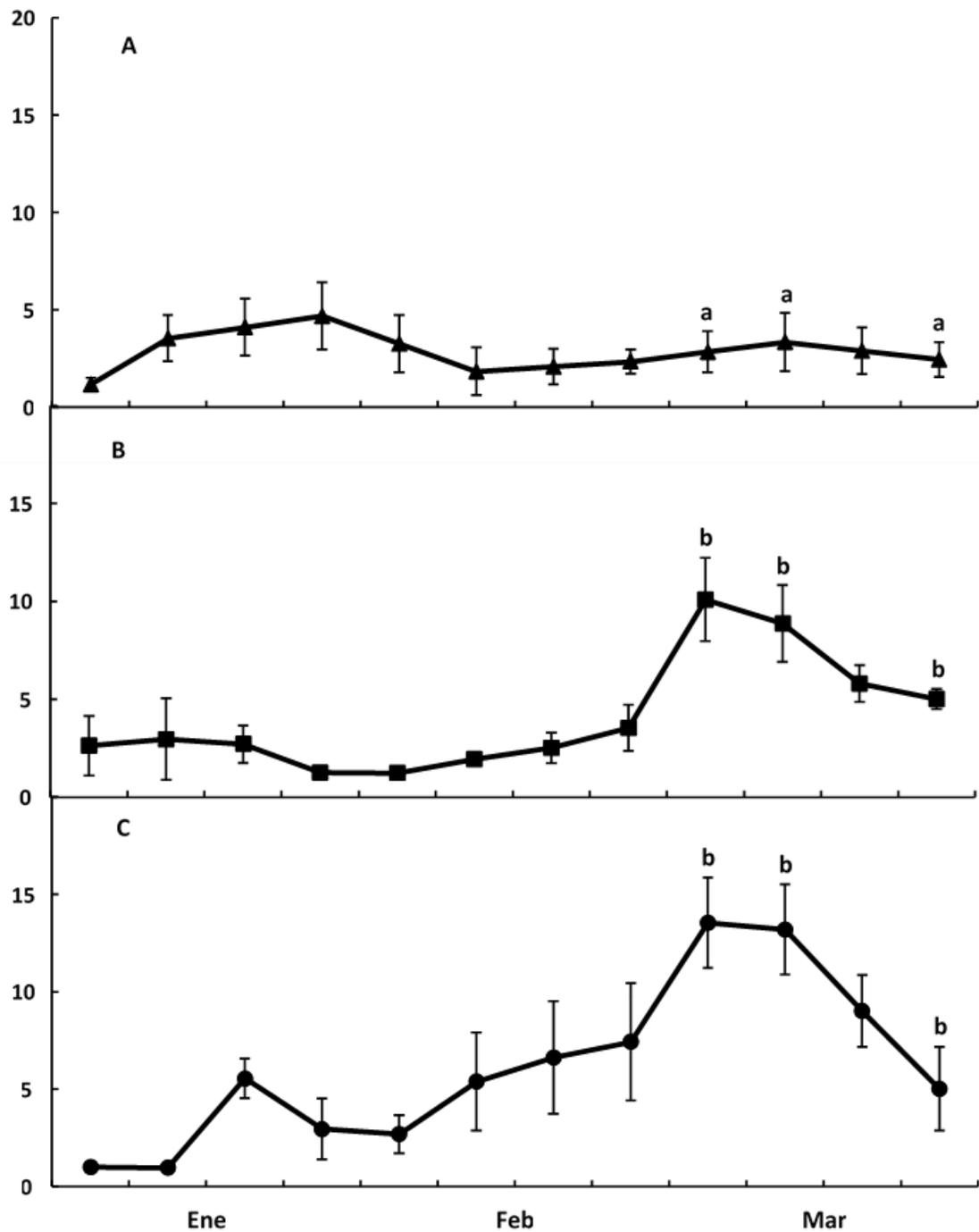


Figura 1 Concentraciones plasmáticas de testosterona de los tres grupos de machos. (A) Machos Control que percibieron las variaciones del fotoperíodo durante todo el estudio. (B) Machos Foto-estimulados con únicamente 4 horas de luz artificial complementaria y (C) Machos Foto-estimulados con 9 horas de luz complementaria.

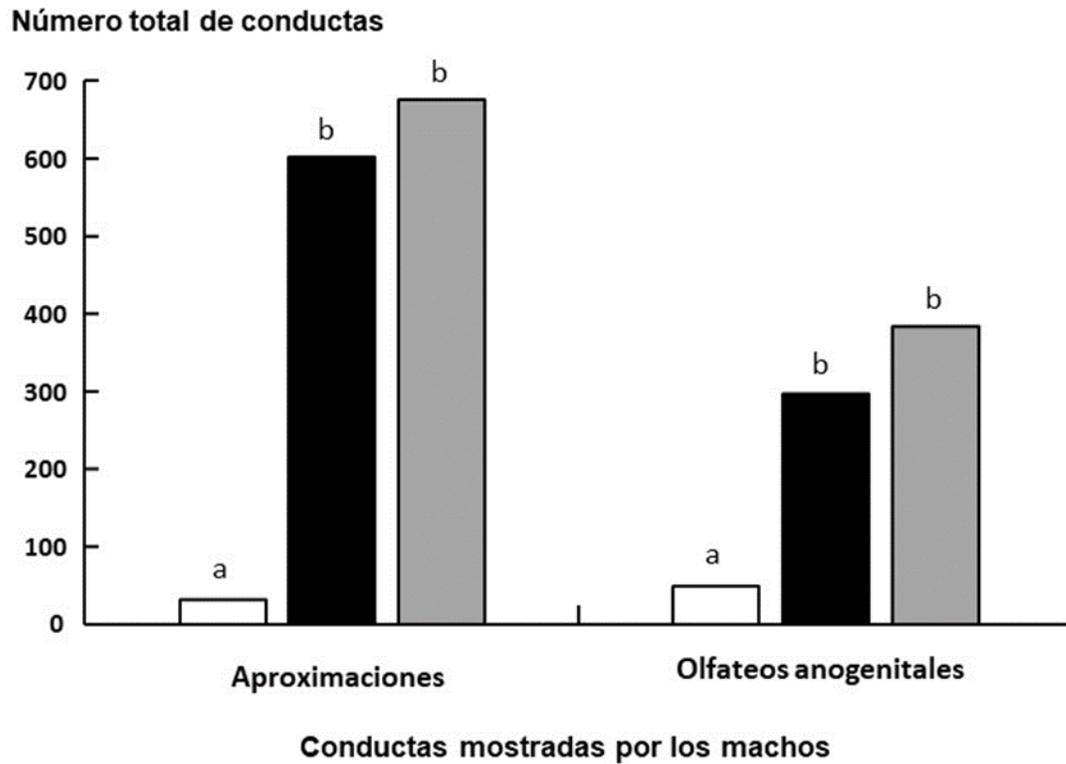


Figura 2 Número total de aproximaciones y olfateos ano-genitales que manifestaron los tres grupos de machos al ser puestos en contacto con hembras anovulatorias. machos mostrados por (A) Machos Control que percibieron las variaciones del fotoperiodo durante todo el estudio. (B) Machos Foto-estimulados con únicamente 4 horas de luz artificial complementaria y (C) Machos Foto-estimulados con 9 horas de luz complementaria

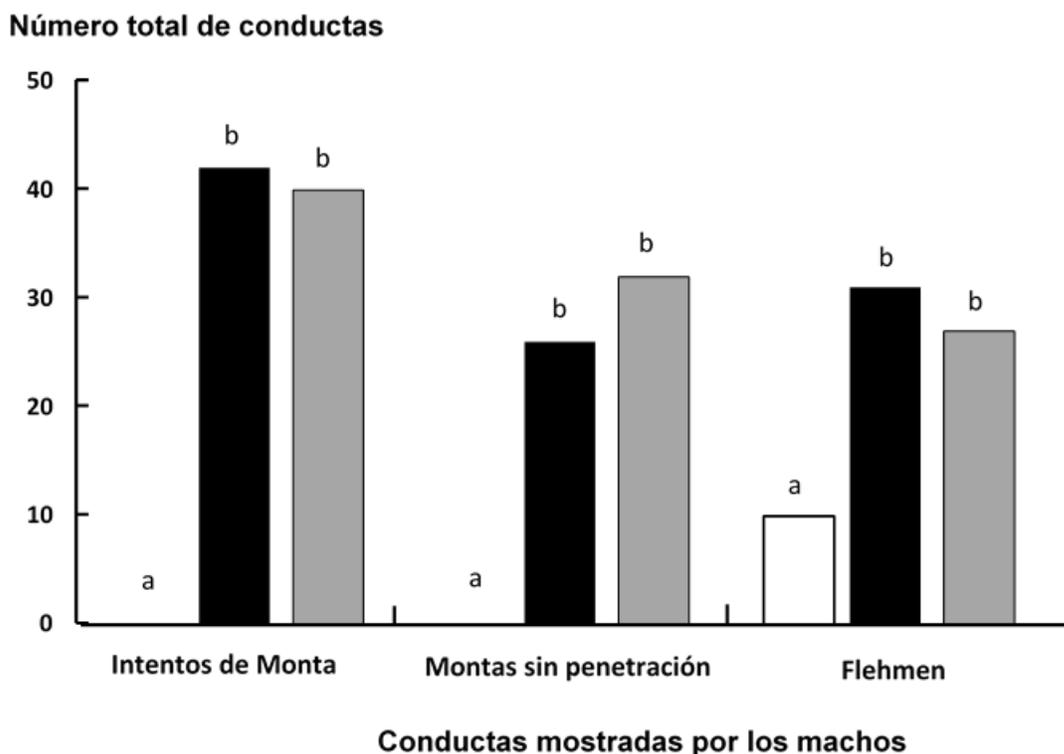


Figura 3 Número total de intentos de monta, montas sin penetración y que manifestaron los tres grupos de machos al ser puestos en contacto con hembras anovulatorias. machos mostrados por (A) Machos Control que percibieron las variaciones del fotoperiodo durante todo el estudio. (B) Machos Foto-estimulados con únicamente 4 horas de luz artificial complementaria y (C) Machos Foto-estimulados con 9 horas de luz complementaria.

3. Condición corporal de los machos

El análisis de la condición corporal de los machos registró un efecto del grupo ($P < 0.001$) y un efecto del tiempo de estudio ($P < 0.001$). Las variaciones de la condición corporal y las diferencias quincenales registradas en los grupos durante el estudio se muestran en la Figura 4.

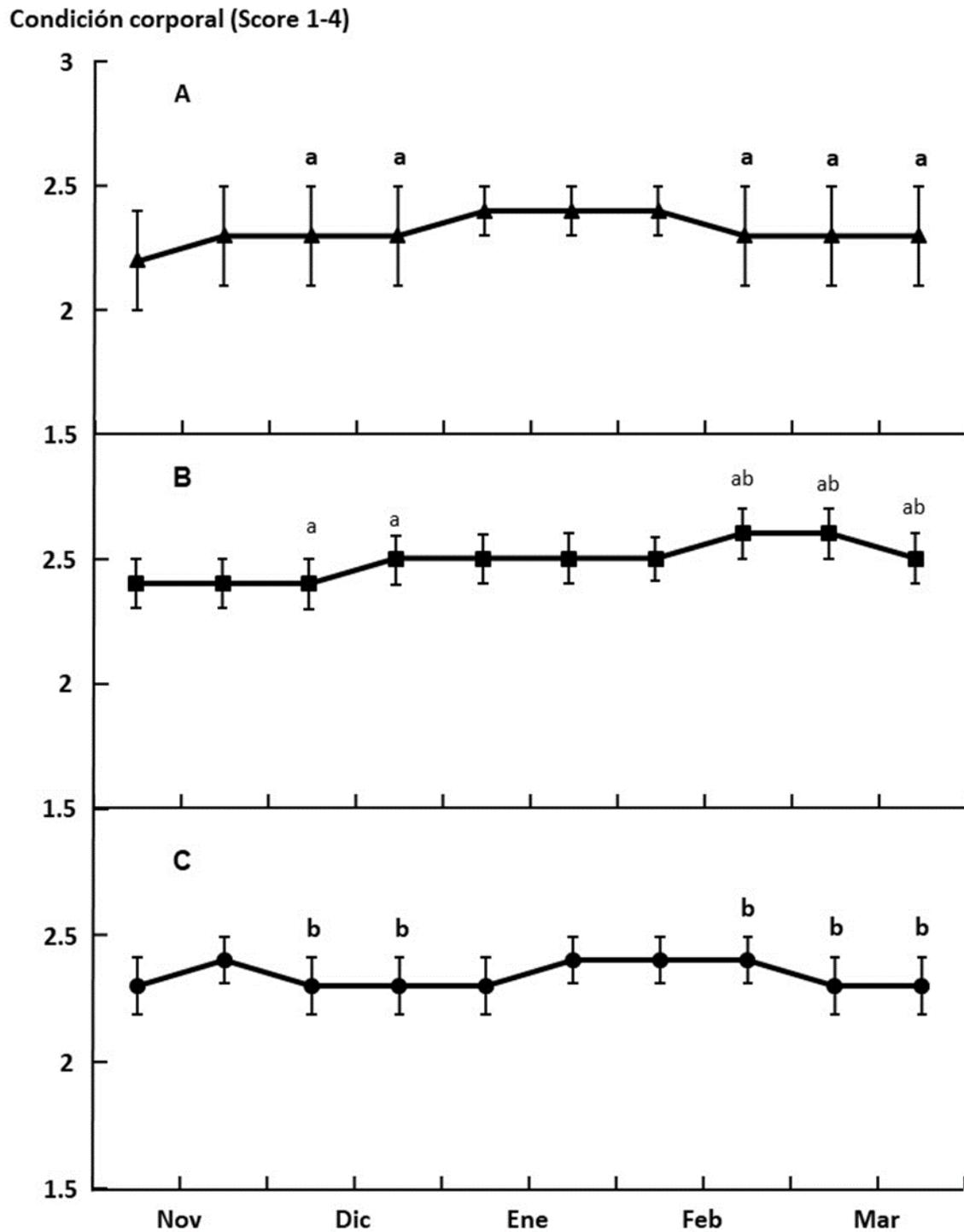


Figura 4 Condición corporal de los tres grupos de machos cabríos. (A) Machos Control que percibieron las variaciones del fotoperiodo durante todo el estudio. (B) Machos Foto-estimulados con únicamente 4 horas de luz artificial complementaria y (C) Machos Foto-estimulados con 9 horas de luz complementaria.

DISCUSIÓN

Los resultados que se obtuvieron en el presente estudio demuestran que, si se proporciona solamente 1 hora de luz artificial suplementaria 16 horas después del alba fijada artificialmente, es suficiente para que los machos cabríos lo interpreten como día largo y se estimule la secreción de testosterona plasmática durante la época de reposo sexual natural. En el grupo que se sometió a solamente 1 hora de luz artificial por la tarde (Grupo 3), las concentraciones de la testosterona, así como en la frecuencia de conductas sexuales de los machos se incrementaron sustancialmente, similar a lo registrado en el grupo sometido a 16 horas de luz artificial (5 horas de luz artificial por la mañana y 5 horas de luz por la tarde). En estos dos grupos de machos tratados la respuesta registrada coincide con todos los estudios que se han realizado con anterioridad en la Comarca Lagunera (Flores et al., 2000; Araya et al., 2016; Mendieta et al., 2018; Delgadillo et al., 2022; así como en otras regiones del mundo (Abecia et al., 2022; Chasles et al., 2016; Zarazaga et al., 2022). En nuestro estudio, así como en los estudios mencionados anteriormente, los machos foto-estimulados mediante el tratamiento de días largos artificiales, manifiestan un incremento en las concentraciones plasmáticas de testosterona, así como un incremento en la frecuencia de conductas sexuales. Estas respuestas se manifiestan con incrementos paulatinos a partir de un mes después de terminar el tratamiento fotoperiódico (finales de febrero) y los máximos valores de estas variables se registran en marzo y abril, época de reposo de la actividad sexual natural (Delgadillo et al., 2002; Ponce et al., 2014; Bedos et al., 2016). Lo anterior demuestra la efectividad del tratamiento fotoperiódico independientemente,

si se proporcionan 16 horas de luz artificial por día o se simplifica el tratamiento fotoperiódico, como es el caso de este estudio, a solamente 1 hora de luz suplementaria 16 horas después del alba fijada artificialmente.

En el caso del grupo al que únicamente se sometió a 1 hora de luz artificial suplementaria por la noche, los machos cabríos es muy probable que interpretaron dicha información fotoperiódica como un día largo y eso fue suficiente para reiniciar su actividad sexual dos meses después de terminado el tratamiento y percibir días cortos naturales. La hora suplementaria que fue proporcionada 16 horas después del alba fijada artificialmente (06:00 h), muy probablemente coincidió con la fase fotosensible, que existe en la mayoría de los mamíferos como ha sido demostrado anteriormente por Ravault y Ortavant (1977) en carneros en regiones templadas. Estos autores demostraron que, si los carneros perciben al menos 1 hora de luz durante esta fase fotosensible, independientemente si antes de esa hora o después perciben obscuridad, lo interpretan en su sistema nervioso como un día. Para demostrar la existencia de una fase fotosensible, los autores anteriores sometieron carneros a 1 hora de luz artificial 16 horas después del alba y estos animales incrementaron las concentraciones de la hormona prolactina (hormona que indica la percepción de día largo) a diferencia de los machos los cuales se sometieron 1 hora de luz artificial 10 o 13 horas después del alba.

Con la información generada de la existencia de una fase fotosensible (1 hora extra de luz artificial) se consideró para diseñar tratamientos fotoperiódicos como el utilizado frecuentemente de 2 meses de días largos artificiales que son seguidos de

una aplicación de implantes subcutáneos de melatonina (que da una señal de día corto) o de fotoperiodo natural (Cheminau et al., 1988; Delgadillo et al., 2002).

Por otro lado, los resultados en nuestro estudio no coinciden con los reportado por Rivas (2001) en la Región Lagunera del norte de México. En dicho estudio utilizaron 1 hora de luz complementaria proporcionada 16 hr después del alba, similar a nuestro estudio. Sin embargo, en el estudio de Rivas, el alba fue fijada a las 06:00 h y la hora complementaria se aplicó de las 22:00 a 23:00 h. En cabrío en el presente estudio, el alba fue fijada artificialmente a las 05:00 h (1 hora antes del trabajo de Rivas y la hora de luz complementaria se proporcionó de las 21:00 a las 22:00 h. En el caso de nuestros machos del presente estudio, muy probablemente la hora complementaria coincidió con la fase fotosensible de los machos y eso permitió que éstos lo interpretaran como día largo y así se estimulara la actividad sexual. Eso no ocurrió en el estudio de Rivas (2001). Otra alternativa para explicar porque en nuestro estudio si respondieron al tratamiento fotoperiodo y en los machos de Rivas (2001) no respondieron, es que ellos utilizaron para fijar artificialmente el alba y la hora de luz complementaria, información generada en trabajos con animales originarios de latitudes templadas (40°N), donde la longitud de días cortos y largos es mayor a la que se registra en latitudes como la nuestra a 26°N .

Los resultados encontrados en el presente estudio demuestran que los machos cabríos tratados con 1 hora de luz suplementaria 16 horas después del alba fijada artificialmente, facilita la interpretación de este tipo de tratamientos para estimular las concentraciones de la testosterona plasmática. De tal manera que este tratamiento estimula una intensa actividad sexual de los machos cabríos Criollos del subtrópico mexicano.

CONCLUSIONES

Los resultados de presente trabajo de investigación, permiten concluir que administrar 1 hora de luz artificial 16 horas después del alba en machos cabríos Criollos del subtrópico mexicano es suficiente para inducir la actividad sexual de los mismos, al incrementar las concentraciones plasmáticas de testosterona y las conductas sexuales de los machos en el periodo de reposo sexual natural.

LITERATURA CITADA

Andrade-Montemayor, 2017. Producción de caprino en México. *Tierras Caprino*. 18:24-27.

Araya, J., Bedos, M., Duarte, G., Hernández, H., Keller, M., Chemineau, P., Delgadillo, J.A., 2016. Maintaining bucks over 35 days after a male effect improves pregnancy rate in goats. *Animal Production Science* 57:2066–2071.

Arendt, J. 1998. Melatonin and the pineal gland: influence on mammalian seasonal and circadian physiology. *Reviews of Reproduction*. 3: 13-22.

Aréchiga, C.F.; Aguilera, J.I.; Rincón, R.M.; Méndez de Lara, S.; Bañuelos, V.R.; Meza-Herrera, C.A. 2008. Situación actual y perspectivas de la producción caprina ante el reto de la globalización. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 1(9). 1-14.

Bedos, M., Flores, J.A., Fitz-Rodríguez, G., Keller, M., Malpoux, B., Poindron, P., Delgadillo, J.A. 2010. For hours of daily contact with sexually active males is sufficient to induce fertile ovulation in anestrus goats. *Hormones and Behavior*. 58:473-477.

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: 259–263.

Bedos, M., Duarte, G., Flores, J.A., Fitz-Rodríguez, G., Hernández, H., Vielma, J., Fernández, I.G., Chemineau, P., Keller, M., Delgadillo, J.A. 2014. Two or 24 h of daily contact with sexually active males results in different profiles of LH secretion that both lead to ovulation in anestrus goats. *Domestic Animal Endocrinology*. 48, 93–99.

Bronson, F.H. (1985). Mammalian reproduction: An ecological perspective. *Biology of Reproduction*. 32: 1-26.

Cantú, R.E., Colín, N.M., Contreras, M., García, J. 1989. Estudios sobre la estacionalidad reproductiva de los machos caprinos de las razas Saanen y Alpina. En: *Memorias de la V Reunión Nacional sobre Caprinocultura*. Zacatecas, México. p.67.

Chasles, M., Chesneau, D., Moussu, C., Delgadillo, J.A., Chemineau, P., Keller, M. 2016. Sexually active bucks are efficient to stimulate female ovulatory activity during the anestrus season also under temperate latitudes. *Animal Reproduction Science*. 168:86–91.

Chesneau, D., Guillaume, D., Chemineau, P., Malpoux, B. 2017. Continuous light after 2 months of long days stimulates ram testis volume and increases fertility in spring. *Animal*. 11:1189-1195.

Chemineau, P., Pelletier, J., Guérin, Y., Colas, G., Ravault, J.-P., Touré, G., Almeida, G., Thimonier, J., Ortavant, R. 1988. Photoperiodic and melatonin treatments for the control of seasonal reproduction in sheep and goats. *Reproduction, Nutrition and Development*. 28:409–422.

Chemineau, P., Daveau, A., Maurice, F., Delgadillo, J.A. 1992. Seasonality of oestrus and ovulation is not modified by subjecting female Alpine goats to a tropical photoperiod. *Small Ruminant Research*. 8:299-312.

Chemineau, p., Daveau, A., Cognié, Y., Aumont, G., Chesneau, D., 2004. Seasonal ovulatory activity exists in tropical Creole female goats and Black Belly ewes subjected to a temperate photoperiod. *BMC Physiology*. 4:1-12.

Delgadillo, J. A., Leboeuf, B., Chemineau, P. 1991. Decrease in the seasonality of sexual behavior and sperm production in bucks by exposure to short photoperiodic cycles. *Theriogenology*. 36(5): 755-770.

Delgadillo, J.A., Chemineau, P. 1992. Abolition of the seasonal release of luteinizing hormone and testosterone in Alpine male goats (*Capra hircus*) by short photoperiodic cycles. *Journal of Reproduction and Fertility*. 94:45-55.

Delgadillo, J. A., Leboeuf, B., Chemineau, P. 1993. Maintenance of sperm production in bucks during a third year of short photoperiodic cycles. *Reproduction Nutrition Development*. 33: 609-617.

Delgadillo, J. A., Hochereau-De Reviers, M. T., Daveau, A., Chemineau, P. 1995. Effect of short photo-periodic cycles on male genital tract and testicular parameters in male goat (*Capra hircus*). *Reproduction Nutrition Development*. 35: 549-558.

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., Moran, 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: 2245–2252.

Delgadillo, J.A., Flores, J.A., Véliz, F.G., Hernández, H.F., Duarte, G., Vielma, J., Poindron, P., Chemineau, P., Malpoux, B. 2002. Induction of sexual activity of lactating anovulatory female goats using male goats treated only with artificially long days. *Journal of Animal Science*. 80: 2780-2786.

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 of lactating anovulatory female goats using male goats treated only with artificially long days. *J. Anim. Sci.* 80: 2780-2786.

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.

Delgadillo, J.A., Gelez, H., Ungerfeld, R., Hawken, P.A., Martin, G.B. 2009. The male effect in sheep and goats-Revisiting the dogmas. *Behavioural Brain Research.* 200:304-314.

Delgadillo, J.A., Espinoza-Flores, L.A., Abecia, J.A., Hernández, H., Keller, M., Chemineau, P. 2022. Sexually active male goats stimulate the endocrine and sexual activities of other males in seasonal sexual rest through the “buck-to-buck effect. *Domestic Animal Endocrinology.* 81: 1-6.

De Santiago-Miramontes, M. A., Rivas-Muñoz, R., Muñoz-Gutiérrez, M., Malpaux, B.; Scaramuzzi, R. J., Delgadillo, J. A. 2008. The ovulation rate in anoestrous female goats managed under grazing conditions and exposed to the male effect is increased by nutritional supplementation. *Animal Reproduction Science.* 105: 409-416.

Echavarría, F., Cháirez y Gómez, W. 2013. Los sistemas de producción de rumiantes menores en México y sus limitantes productivas. En: *La producción de rumiantes menores en las zonas áridas de Latinoamérica.* Editor Luis Iñiguez Rojas. Brasilia, DF. Embrapa. 95-114

Fabre-Nys. (2000). Hormonal and social control of sexual behaviour in goats. *INRA Productions Animales.* 13: 11-23.

FAOSTAT (Food and Agriculture Organization of the United Nations statistical databases) 2020. Homepage. Retrieved on 13 June 2020 from <http://faostat.fao.org>.

Fernández, I.G. Loya-Carrera, J., Sifuentes-Lamont, P., Duarte, G., Flores, J.A., Grimaldo, E., Hernández, H., Ulloa-Arvizu, R., Andrade-Esparza, J. 2020. Social isolation does not inhibit behaviour 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., Malpaux, 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.* 62:1409-14.

Perkins, A., Fitzgerald, J.A. 1994. The behavioral component of the effect: the influence of ram sexual behavior on the induction of estrus in anovulatory ewes. *Journal of Animal Science*. 72:51-52

Ponce, J.L., Velázquez, H., Duarte, G., Bedos, M., Hernandez, H., Keller, M., Chemineau, P., Delgadillo, J.A. 2014. Reducing exposure to long days from 75 to 30 days of extra-light treatment does not decrease the capacity of male goats to stimulate ovulatory activity in seasonally anovulatory females. *Domestic Animal Endocrinology*. 48:119-125.

Lincoln, G.A., Short, R.V. 1980. Seasonal Breeding: nature's contraceptive. *Recent Progress in Hormone Research*. 36:1-52.

Malpoux, B., Vigui, C., Skinner, D.C., Thiéry, J.C., Chemineau, P. 1997. Control of the circannual rhythm of reproduction by melatonin in the ewe. *Brain Research Bulletin*. 44:431-438.

Malpoux, B. 2001. Environnement et rythmes de reproduction. In: *La production chez les mammifères et l'homme*. Thibault et Levasser Eds. 1st Edition. pp 699-724. INRA Editions. Paris.

Malpoux, B. 2006. Seasonal regulation of reproduction in mammals. In: *Knobil and Neill's Physiology of reproduction*. Third Edition. Ed. D'Neil. Elsevier. Amsterdam. pp. 2231-2281.

Martínez-Alfaro, J.C., Hernández, H., Flores, J.A., Duarte, G., Fitz-Rodríguez, G., Fernández, I.G., Bedos, M., Chemineau, P., Keller, M., Delgadillo, J.A., Vielma, J. 2014. Importance of intense male sexual behavior for inducing the preovulatory LH surge and ovulation in seasonally anovulatory female goats. *Theriogenology* 82, 1028–1035.

Mendieta, E.S., Delgadillo, J.A., Flores, J.A., Flores, M.J., Nandayapa, E., Vélez, L.I., Zarazaga, L.A., Bedos, M., Terrazas, A., Hernández, H. 2018. Subtropical goats ovulate in response to the male effect after a prolonged treatment of artificial long days to stimulate their milk yield. *Reproduction Domestic Animal*. 53(4):955-962.

Miller, B.A., Lu, C. 2019. Current status of global dairy goat production: an overview. *Asian-Australas Journal of Animal Science*. 8(32):1219-1232.

Pelletier, J. Almeida, G. 1987. Short light cycles induce persistent reproductive activity in Ile-de France rams. *Journal of Reproduction and Fertility*. Suppl. 34:215-226.

Pelletier, J. Ravault, J.P. 1988. Day length measurement in rams made permanent breeders by short light cycles. *Neuroendocrinology Letters*. 10:329-3

Ravault, J.P., Ortavant. 1977. Light control of prolactin secretion in sheep. Evidence for a photo-inducible phase during a diurnal rhythm. *Annales de Biologie Animale, Biochimie, Biophysique*. 17: 459-473.

Rivas, R. 2001. Una hora de luz suplementaria de luz de las 13-14 ó 16-17 horas después del alba no permite a los machos cabríos interpretar como un día largo. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 55 p.

Rivera, G.M., Alanis, G.A., Chaves, M.A., Ferrero, S.B., Morello, H.H. 2003. Seasonality of estrus and ovulation in Creole goats of Argentina. *Small Ruminant Research*. 48:109–17.

Sepe, L., Argüello, A. 2019. Recent advances in dairy goat products. *Asian-Australas Journal of Animal Science*. 8(32): 1306-1320.

Sáenz-Escárcega, P., Hoyos, F.G., Salinas, G.H., Espinoza, A.J., Guerrero, B.A., Contreras, G.E. 1991. Establecimiento de módulos caprinos con productores cooperantes. In *Evaluación de Módulos Caprinos en la Comarca Lagunera* (Ed S. Flores), pp. 24-34. Matamoros, Coahuila, México.

Simões, A, Abecia, J.A., Cannas, A., Delgadillo, Lacasta, A., Voigt, K., Chemineau, P. 2021. Managing sheep and goats for sustainable high yield production. *Animal*. 15:100293.

Walkden-Brown, S.W., Restall, B.J., Scaramuzzi, R.J., Martin, G.B., Blackberry, M.A., 1997. Seasonality in male Australian cashmere goats: Long term effects of castration and testosterone or oestradiol treatment on changes in LH, FSH and prolactin concentrations, and body growth. *Small Ruminant Research*. Res. 26, 239-252.

Walkden-Brown, S.W., Restall, B.J., Norton, B.W., Scaramuzzi, R.J., 1994. The “female effect” in Australian cashmere goats: effect of season and quality of diet on the LH and testosterone response of bucks to oestrous does. *Journal of Reproduction and Fertility*. 100:521–531.

Zarazaga, L.A., Gatica, M.C., Hernández, H., Chemineau, P., Delgadillo, J.A., Guzmán, J.L., 2019. Photoperiod-treated bucks are equal to melatonin-treated bucks for inducing reproductive behaviour and physiological functions via the “male effect” in Mediterranean goats. *Animal Reproduction Science*. 202, 58–64.

Zarazaga, L.A., Delgadillo, J.A. Gatica, Delgado-Pertíñez, M., Hernández, H., Guzmán, J.L., Delgadillo, J.A. 2022. Efficacy of long day photoperiod treatment with respect to age of bucks for stimulation of the “male effect” on does at Mediterranean latitudes. *Small Ruminant Research*. 212: 106712.