

**Las actividades endocrina y sexual de los machos
cabríos son estimuladas durante el periodo de reposo
sexual al exponerlos a 45 días largos artificiales en
diciembre-enero**

Hillary Velázquez Ortega

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS AGRARIAS
EN REPRODUCCIÓN ANIMAL**



Universidad Autónoma Agraria

“Antonio Narro”

Unidad Laguna

Subdirección de Postgrado

Torreón, Coahuila, México

Marzo 2012

Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro"
Unidad Laguna
Subdirección de Postgrado

Las actividades endocrina y sexual de los machos cabríos son estimuladas durante el periodo de reposo sexual al exponerlos a 45 días largos artificiales en diciembre-enero

Tesis

Por:

Hillary Velázquez Ortega

Elaborada bajo la supervisión del comité particular de asesoría y aprobada como requisito parcial para obtener el grado de:

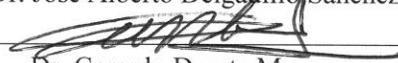
**MAESTRO EN CIENCIAS AGRARIAS
EN REPRODUCCIÓN ANIMAL**

Comité particular

Asesor principal:


Dr. José Alberto Delgadillo Sánchez

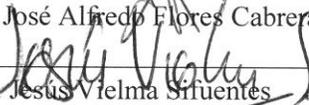
Asesor:


Dr. Gerardo Duarte Moreno

Asesor:

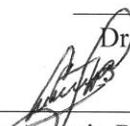

Dr. José Alfredo Flores Cabrera

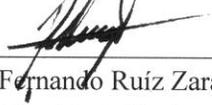
Asesor:


Dr. Jesús Vielma Sifuentes

Asesor:


Dr. Horacio Hernández Hernández


Dr. Pedro Antonio Robles Trillo
Jefe del Departamento de Postgrado


Dr. Fernando Ruíz Zarate
Subdirector de Postgrado

Torreón, Coahuila. Marzo 2012

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por las facilidades y recursos que me brindó para realizar mis estudios de Maestría.

Al CONACYT por el financiamiento otorgado para mis estudios de Maestría.

Al Dr. José Alberto Delgadillo Sánchez, porque gracias a él, esta tesis ha sido posible. Por guiarme y aconsejarme en esta etapa de mi vida, por su comprensión y amistad que me llegó a brindar. Gracias de todo corazón!

Al Dr. Matthieu Keller del INRA Nouzilly, Francia, por su valiosa colaboración en las determinaciones hormonales.

A mi Comité de asesoría: Dr. Gerardo Duarte Moreno, Dr. José Alfredo Flores Cabrera, Dr. Jesús Vielma Sifuentes y Dr. Horacio Hernández Hernández por su tiempo, consejos y ayuda que me brindaron en este tiempo.

Al Dr. Gonzalo Fitz por la ayuda, amistad y consejos brindados en todo este tiempo.

A las Sritas. Dolores López Magaña y Esther Peña por su asistencia secretarial y amistad.

A mis Compañeros y amigos de Postgrado: M.C. Marie Bedos, M.C. Juan Carlos Martínez Alfaro, M.V.Z. Sergio Secundino Méndez y M.V.Z. Alfonso Muñoz Benítez por su ayuda en mi trabajo experimental, por sus consejos y amistad incondicional que me brindaron y por todos los buenos momentos que pasamos juntos.

A mis amigas: M.V.Z. Claudia Yazmín Gutiérrez Ríos y M.V.Z. Rosaura Ávila Fraire, por la ayuda incondicional brindada en mi trabajo experimental y por seguir aguantándome.

A los señores Jesús Palomo y Alejandro Sandoval por las facilidades que me brindaron en el alojamiento y cuidado de los animales durante mi trabajo experimental.

A TODOS USTEDES MUCHAS GRACIAS...

DEDICATORIA

A Dios, porque nada de esto existiría sin él y porque me dio la oportunidad de nacer y llegar a ser la persona que ahora soy.

A mis padres porque sin ellos no estaría aquí:

Mamá: por ser mi punto de apoyo, mi amiga y confidente y por todo lo que has hecho por mí ¡TE AMO!

Papá: por el apoyo que me has brindado, ¡TE AMO!

A mis hermanos:

Penélope, Roberto e Irma por ser mis modelos a seguir, mis amigos y mi apoyo en las buenas y en las malas ¡LOS AMO!

A ti Quintero por soportarme todo este tiempo, por ayudarme en algún momento con mi experimento y por ser quien le da motivos a mi vida para seguir adelante y amarme.

COMPENDIO

Las actividades endocrina y sexual de los machos cabríos son estimuladas durante el periodo de reposo sexual al exponerlos a 45 días largos artificiales en diciembre-enero

Por

Hillary Velázquez Ortega

**MAESTRÍA EN CIENCIAS AGRARIAS
EN REPRODUCCIÓN ANIMAL**

**Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”
Unidad Laguna**

Torreón, Coahuila. Marzo 2012

Dr. José Alberto Delgadillo Sánchez- Asesor

Palabras clave: Caprinos, fotoperiodo, testosterona, circunferencia testicular, producción espermática.

El presente estudio se efectuó de octubre del 2010 a mayo del 2011 para determinar si 45 días largos artificiales seguidos del fotoperiodo natural estimulan las

actividades endocrina y sexual de los machos cabríos locales de la Comarca Lagunera durante el reposo sexual. Se utilizaron quince machos cabríos que tenían 8 meses de edad al iniciar el estudio. Estos machos se mantuvieron confinados en corrales abiertos desde el inicio hasta el final del estudio. Un grupo de machos ($n = 5$) permaneció bajo las variaciones del fotoperiodo natural y temperatura ambiente durante todo el experimento. Otro grupo de machos ($n = 5$) se sometió a 75 días largos artificiales (16 h luz/día) del 1 de noviembre del 2010 al 15 de enero del 2011. El otro grupo de machos ($n = 5$) se sometió a 45 días largos artificiales del 1 de diciembre del 2010 al 15 de enero del 2011. A partir del 16 de enero, todos los machos tratados percibieron las variaciones del fotoperiodo natural. Las concentraciones plasmáticas de testosterona, la circunferencia testicular y el olor de los machos se determinaron una vez por semana. La producción de semen se evaluó los primeros 4 días del mes de abril del 2011. El semen se colectó una vez por día, utilizando una vagina artificial en presencia de una hembra inducida al estro artificialmente. El peso corporal se determinó cada 15 días.

La concentración plasmática de testosterona varió en los tres grupos durante el estudio ($P < 0.0001$), y existió una interacción grupo x tiempo ($P < 0.0001$). El inicio de la actividad endocrina determinado por el incremento en la concentración plasmática de testosterona (> 5 ng/ml), no fue diferente ($P > 0.05$) entre los grupos 45 y 75 días, el cual se observó en febrero. En cambio, el final de la actividad endocrina determinado por la disminución en la concentración de testosterona (< 5 ng/ml) se observó en abril, pero ocurrió primero en el grupo 45 días que en el grupo 75 días ($P < 0.05$). En el grupo testigo, la concentración de testosterona se incrementó en mayo, cuando inicia la estación sexual natural. En este grupo, la actividad endocrina inició tardíamente que en

los grupos 45 y 75 días ($P < 0.01$). La circunferencia testicular varió durante el estudio en los tres grupos ($P < 0.0001$), pero en marzo, la circunferencia testicular fue superior en los grupos 45 y 75 días que en el grupo testigo ($P < 0.05$). No existió diferencia entre estos dos últimos grupos ($P > 0.05$). El olor fue superior en los grupos 45 y 75 días que en el grupo testigo de marzo a mayo ($P < 0.01$). Ninguna diferencia existió entre estos dos últimos grupos ($P > 0.05$). La latencia a la eyaculación y el porcentaje de rechazos a la eyaculación fueron superiores en los machos del grupo testigo que en los machos de los grupos 45 y 75 días ($P < 0.0001$). Ninguna diferencia existió entre estos dos últimos grupos ($P > 0.05$). El volumen del eyaculado, la concentración espermática del eyaculado y el número total de espermatozoides por eyaculado fueron superiores en los machos de los grupos 45 y 75 días que en el grupo testigo ($P < 0.0001$). Asimismo, la motilidad espermática progresiva y el porcentaje de células vivas, fueron superiores en los machos de los grupos 45 y 75 días que en los machos del grupo testigo ($P < 0.0001$). Ninguna diferencia existió entre estos dos últimos grupos en las variables mencionadas ($P > 0.05$). El peso corporal varió durante el estudio en los tres grupos ($P < 0.0001$), y existió una interacción grupo x tiempo ($P < 0.0001$), pero en el mes de febrero, el peso corporal fue superior en el grupo 45 días comparado con el grupo testigo ($P < 0.05$).

Estos resultados demuestran que un tratamiento fotoperiódico de 45 días largos artificiales a partir del 1 de diciembre, estimula las actividades endocrina y sexual de los machos cabríos locales de la Comarca Lagunera durante el periodo de reposo sexual natural.

ABSTRACT

The endocrine and sexual activities of the male goats are stimulate during the non-breeding season when they were exposed to 45 artificial long-days in december-january

By

Hillary Velázquez Ortega

**MASTER OF SCIENCE
ANIMAL REPRODUCTION**

**Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”
Unidad Laguna**

Torreón, Coahuila. March 2012

Dr. José Alberto Delgadillo Sánchez- Adviser

Key words: Goats, photoperiod, testosterone, testicular circumference, spermatic production.

The present study was made from October 2010 to May 2011 to determine if 45 artificial long-days followed by natural photoperiod stimulate the endocrine and sexual activities

of the local male goats in the Comarca Lagunera during the sexual rest. At the beginning of the study fifteen male goats had been used when they were 8 months old. These males remained confined in open sheds from the beginning until the end of the study. A group of males (n = 5) remained under natural day length and environmental temperature throughout the experiment. Another group of bucks (n = 5) were subjected to 75 artificial long days (16 h light/day) from November 1st, 2010 to January 15th, 2011. The other group of bucks (n = 5) were subjected to 45 artificial long days from December 1st, 2010 to January 15th. From January 16th, all treated males perceived the changes in the natural photoperiod. The plasma concentration of testosterone, the testicular circumference and the odor of the bucks were measured once a week. The sperm production was evaluated the first 4 days of April, 2011. The semen was collected once per day, using an artificial vagina in presence to a female induced artificially to estrus. The body weight was determined every 15 days.

The plasma concentration of testosterone changed in the three groups during the study ($P < 0.0001$), and existed an interaction group per time ($P < 0.0001$). The beginning of the endocrine activity, determined by the increase in the plasma concentration of testosterone (> 5 ng/ml), was not different ($P > 0.05$) between the groups 45 and 75 days, and was observed in February. In addition to this, the end of the endocrine activity determined by the decrease in the plasma concentration of testosterone (< 5 ng/ml) was observed in April, but it happened firstly in the 45 days group than in 75 days group ($P < 0.05$). In the control group, the plasma concentration of testosterone increased in May, when the natural breeding season begins. In this group, the endocrine activity started later than in 45 and 75 days groups. The testicular circumference changed during

the study in the three groups ($P < 0.0001$), but in March, the testicular circumference was higher in the 45 and 75 days groups than in control group ($P < 0.05$). Difference did not exist between the two last groups ($P > 0.05$). The odor was higher in the 45 and 75 days groups than in the control group from March to May ($P < 0.01$). No difference existed between these last two groups ($P > 0.05$). Ejaculation latency and the percentage of bucks refusing to ejaculate were higher in the bucks of control group than in the bucks of 45 and 75 days groups ($P < 0.0001$). No difference existed between these last two groups ($P > 0.05$). The ejaculate volume, spermatic concentration of ejaculate and the total number of spermatozoa per ejaculate were higher in the bucks of 45 and 75 days groups than in the control group ($P < 0.0001$). No difference existed between these last two groups in the mentioned variables ($P > 0.05$). The body weight changed during the study in the three groups ($P < 0.0001$), and existed an interaction group per time ($P < 0.0001$), but in February, the body weight was higher in the 45 days group compared with the control group ($P < 0.05$).

These results demonstrate that a photoperiod treatment of 45 artificial long-days from December 1st, stimulate the endocrine and sexual activities of local male goats in the Comarca Lagunera during the natural non-breeding season.

Índice de contenido

AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIA	iv
COMPENDIO	v
ABSTRACT	viii
Índice de contenido	xi
Índice de figuras	xiii
Índice de tablas.....	xiv
I. Introducción	1
II. Revisión de literatura	3
1. Variaciones estacionales de la reproducción de los mamíferos	3
2. Variaciones estacionales de la actividad sexual y del peso corporal en caprinos originarios de latitudes templadas y subtropicales	3
a) Fotoperiodo, principal factor ambiental que sincroniza la estación sexual de los machos caprinos y ovinos	5
3. Manejo del fotoperiodo para controlar la actividad sexual de los machos caprinos y ovinos	7
a) Actividad sexual continua de los machos caprinos y ovinos durante el año.....	7
b) Inducción de la actividad sexual de los machos caprinos y ovinos en el periodo de reposo sexual.....	8
III. Objetivo.....	10
IV. Hipótesis.....	10
V. Materiales y métodos	11
1. Ubicación del experimento	11
2. Unidades experimentales	11
3. Tratamientos fotoperiódicos.....	11
4. Variables determinadas	12
a) Concentración plasmática de testosterona.....	12
b) Circunferencia testicular.....	13
c) Olor sexual	13

d)	Prueba para evaluar la producción de semen	14
e)	Peso corporal	16
5.	Análisis estadísticos	16
VI.	Resultados	18
1.	Concentración plasmática de testosterona	18
2.	Circunferencia testicular	21
3.	Olor sexual	23
4.	Prueba para evaluar la producción de semen	25
a)	Comportamiento sexual a la colecta.....	25
b)	Producción cuantitativa	26
c)	Producción cualitativa	27
5.	Peso corporal.....	28
VII.	Discusión.....	30
VIII.	Conclusión	35
IX.	Literatura citada	36

Índice de figuras

Figura 1. Variaciones de la concentración plasmática de testosterona (promedio \pm E.E.M.) de los machos cabríos locales de la Comarca Lagunera (26° Norte)	19
Figura 2. Variaciones de la circunferencia testicular (promedio \pm E.E.M.) de los machos cabríos locales de la Comarca Lagunera (26° Norte)	22
Figura 3. Variaciones del olor (promedio \pm E.E.M.) de los machos cabríos locales de la Comarca Lagunera (26° Norte).....	24
Figura 4. Latencia a la eyaculación y porcentaje de rechazos para eyacular dentro de una vagina artificial de tres grupos de machos cabríos locales de la Comarca Lagunera (26° Norte; promedio \pm E.E.M.)	25
Figura 5. Volumen, concentración espermática y número total de espermatozoides por eyaculado de tres grupos de machos cabríos locales de la Comarca Lagunera (26° Norte; promedio \pm E.E.M.)	26
Figura 6. Células vivas y motilidad espermática en los eyaculados de los machos cabríos locales de la Comarca Lagunera (26° Norte; promedio \pm E.E.M.)	27
Figura 7. Variaciones del peso corporal (promedio \pm E.E.M.) de los machos cabríos locales de la Comarca Lagunera (26° Norte)	29

Índice de tablas

Tabla 1. Características de la secreción de testosterona (actividad endocrina) de los machos cabríos locales de la Comarca Lagunera (26° Norte). Un grupo de machos se expuso a las variaciones naturales del fotoperiodo. Otro grupo de machos se expuso a 45 días largos artificiales (DL) a partir del 1 de diciembre, mientras que otro grupo de machos se expuso a 75 días largos artificiales a partir del 1 de noviembre. Después de finalizados los días largos, el 16 de enero, los machos tratados percibieron las variaciones naturales del fotoperiodo hasta el final del estudio.....	20
---	----

I. Introducción

En México, la población de cabras es de aproximadamente 9 millones de cabezas. El 87 % de esta población se ubica en las áreas rurales de las regiones áridas y semiáridas del país. Actualmente se identifican tres zonas importantes donde se concentra la población caprina de México: la zona sur, comprendida por los estados de Puebla, Guerrero y Oaxaca; la zona centro, comprendida por los Estados de Querétaro, Guanajuato y San Luis Potosí, y la zona norte, que incluye a los estados de Zacatecas, Coahuila y Nuevo León (Guerrero, 2010).

Con el propósito de aumentar la eficiencia reproductiva y productiva de los caprinos para mejorar los ingresos de los productores que se dedican a esta actividad pecuaria, es necesario extender al máximo el periodo anual de actividad reproductiva de los animales y/o inducir los empadres en las épocas más propicias del año. Para ello, es necesario implementar tecnologías reproductivas sustentables, como la inducción de la actividad sexual de los machos cabríos con la manipulación del fotoperiodo (Chemineau *et al.*, 1992; Delgadillo *et al.*, 2001).

En los machos cabríos locales de la Comarca Lagunera, la actividad sexual es estacional, y el periodo de reposo sexual natural transcurre de enero a mayo (Delgadillo *et al.*, 1999). Esta estacionalidad reproductiva es controlada principalmente por el fotoperiodo. En general, los días largos artificiales inhiben la actividad sexual y los días cortos artificiales la estimulan (Delgadillo *et al.*, 2004). Por ello, la exposición de los machos cabríos a 2.5 meses (75 días) de días largos artificiales, a partir del 1 de noviembre seguidos del fotoperiodo natural, estimula su actividad sexual de febrero a abril, meses que

corresponden al periodo de reposo sexual (Delgadillo *et al.*, 2002; Rivas-Muñoz *et al.*, 2007; Bedos *et al.*, 2010).

En el presente trabajo se determinará si la exposición por un periodo sólo de 45 días largos artificiales a partir del 1 de diciembre, es suficiente para estimular las actividades endocrina y sexual de los machos cabríos en el periodo de reposo sexual, de la misma manera que son estimulados al exponerlos a 75 días largos artificiales a partir del 1 de noviembre.

Los resultados de este estudio permitirán conocer más acerca de los límites de la respuesta fisiológica de los machos cabríos a los tratamientos luminosos. Además, la reducción de la duración del tratamiento fotoperiódico podría disminuir los costos de alimentación y consumo de energía eléctrica del tratamiento luminoso.

II. Revisión de literatura

1. Variaciones estacionales de la reproducción de los mamíferos

En algunos mamíferos, la reproducción estacional es una estrategia importante para la perpetuación de las especies. Esta estacionalidad reproductiva, determinada o sincronizada por factores del medio ambiente, permite que los partos ocurran en los momentos más favorables del año para que sus crías tengan mejores posibilidades de sobrevivir. Independientemente de la duración de la gestación en los mamíferos domésticos de latitudes templadas, los partos ocurren al final del invierno o al principio de la primavera, cuando se incrementan la disponibilidad alimenticia y la temperatura ambiental es más favorable (Bronson, 1985; Ortavant *et al.*, 1985).

2. Variaciones estacionales de la actividad sexual y del peso corporal en caprinos originarios de latitudes templadas y subtropicales

Los machos de algunas razas de caprinos que se originaron o se adaptaron a latitudes subtropicales, y la mayoría de las razas que se originaron en latitudes templadas muestran variaciones estacionales en su actividad sexual y/o reproductiva (Delgadillo *et al.*, 1992, 1999).

En los machos de latitudes templadas, la estación sexual empieza al inicio del otoño y termina al final del invierno (Delgadillo *et al.*, 1991, 1992). En los machos Alpinos y Saanen, por ejemplo, la secreción de testosterona se incrementa abruptamente en septiembre (inicio de la estación sexual) y disminuye progresivamente hasta que alcanza valores basales en febrero (final de la estación sexual; Delgadillo y Chemineau, 1992). De septiembre a marzo, en estos machos se registran los valores más altos del peso testicular,

disminuye la latencia a la eyaculación (tiempo que tarda un macho para eyacular dentro de una vagina artificial), y se incrementa la producción espermática cuantitativa y cualitativa (Delgadillo *et al.*, 1991, 1992). Además, el peso corporal se incrementa de marzo a agosto, durante el periodo de reposo sexual, y disminuye de septiembre a febrero, durante la estación sexual (Roguer, 1974; Delgadillo *et al.*, 1991).

Contrariamente a lo descrito en los machos de latitudes templadas, en los machos de latitudes subtropicales, la estación sexual inicia al final de la primavera y termina al final del otoño, mientras que el periodo de reposo sexual ocurre en invierno y primavera (Walkden-Brown *et al.*, 1994; Delgadillo *et al.*, 1999). En los machos cabríos del subtrópico mexicano (26°N), por ejemplo, los niveles plasmáticos de testosterona se incrementan a principios de la estación sexual (mayo), se mantienen elevados hasta noviembre y disminuyen al finalizar la estación sexual (diciembre; Delgadillo *et al.*, 1999, 2001). Consecuentemente, el comportamiento sexual de los machos determinado por las aproximaciones laterales, olfateos ano-genitales, flehmen, intentos de montas y montas con cópula cuando son puestos en contacto con hembras, se incrementan de manera considerable en la estación sexual. Por ello, la latencia a la eyaculación es más corta en la estación sexual que en los meses de reposo (Delgadillo *et al.*, 1991, 1999). Igual que el comportamiento sexual, el olor de los machos cabríos del subtrópico mexicano como el de los machos cashmere de Australia, dependiente de la secreción de testosterona, es más intenso en la estación sexual que en la estación de reposo (Walkden-Brown *et al.*, 1994; Rivas-Muñoz *et al.*, 2007). En los machos cabríos del subtrópico mexicano, la calidad espermática determinada por la motilidad progresiva de los espermatozoides y el porcentaje de espermatozoides vivos, es mejor de mayo a diciembre que en los otros meses del año

(Delgadillo *et al.*, 1999). La producción espermática cuantitativa determinada por el volumen y el número total de espermatozoides por eyaculado, son mayores de junio a septiembre que en los otros meses del año (Delgadillo *et al.*, 1999). Además, el peso corporal de los machos cabríos varía también con las estaciones del año. En los machos cabríos de latitudes subtropicales, como en los machos locales del norte de México y los cashmere de Australia, el peso corporal se incrementa en los meses que corresponden al periodo de reposo sexual y disminuye durante la estación sexual (Walkden-Brown *et al.*, 1997; Delgadillo *et al.*, 1999).

a) Fotoperiodo, principal factor ambiental que sincroniza la estación sexual de los machos caprinos y ovinos

En los machos de algunas razas de caprinos y ovinos de latitudes subtropicales, y en la mayoría de los machos de razas de latitudes templadas, el fotoperiodo es el factor ambiental que determina la estacionalidad sexual, probablemente a través de la sincronización de un ritmo endógeno de reproducción (Howles *et al.*, 1982; Martin *et al.*, 1999; Delgadillo *et al.*, 2004). La influencia del fotoperiodo sobre la actividad sexual de los machos caprinos y ovinos se demostró al someterlos a periodos artificiales de días cortos seguidos de periodos de días largos. Esto se demostró en machos cabríos del subtrópico mexicano al ponerlos en una habitación que permitía controlar la duración del fotoperiodo, y se sometieron alternadamente a 3 meses de días largos (14 horas de luz/día) y 3 meses de días cortos (10 horas de luz/día) durante dos años consecutivos. La secreción de testosterona de estos machos se comparó con la de los machos testigo confinados en un corral abierto y sometidos a las variaciones naturales del fotoperiodo. En los machos testigo, los niveles plasmáticos de testosterona se incrementaron de mayo a junio y

disminuyeron de noviembre a diciembre. En cambio, en los machos sometidos a 3 meses de días largos y 3 meses de días cortos, los niveles plasmáticos de testosterona se incrementaron siempre en los días cortos y disminuyeron siempre en los días largos (Delgadillo *et al.*, 2004). Los resultados obtenidos en los machos del subtrópico mexicano son similares a los reportados en los machos de latitudes templadas. En efecto, en los machos cabríos Alpinos y en los carneros Soay sometidos a 2 o 3 meses de días largos artificiales (16 horas de luz/día) seguidos de 2 o 3 meses de días cortos (8 horas de luz/día) durante 2 años, la secreción de testosterona se incrementó invariablemente durante los días cortos y disminuyó durante los días largos (Lincoln *et al.*, 1977; Delgadillo y Chemineau, 1992). Los resultados descritos en los machos cabríos del subtrópico mexicano demuestran que su actividad sexual es influenciada por el fotoperiodo. Es probable que en estos machos exista, al igual que en las hembras de la misma raza y en los carneros de la raza Merino, un ritmo endógeno de reproducción sincronizado por el fotoperiodo (Martin *et al.*, 1999; Delgadillo *et al.*, 2011). La existencia de este ritmo endógeno de reproducción explica porqué el fotoperiodo no tiene efectos estimulatorios o inhibitorios permanentes. Por ello, aunque los días cortos estimulan la secreción de testosterona y el crecimiento testicular, esta duración del día no tiene un efecto estimulatorio constante. Para esto, cuando los carneros se sometieron a días cortos por más de 2 años, las variaciones de la talla testicular, respuesta de la actividad espermatogénica, disminuyeron después de un tiempo debido a la insensibilidad de los animales a la acción estimuladora de los días cortos. A este fenómeno se le llama “estado refractario a los días cortos” (Howles *et al.*, 1982). Lo mismo ocurrió con el efecto inhibitorio de los días largos sobre la talla testicular: en los machos sometidos a días largos por más de 2 años, el peso testicular aumentó después de un tiempo debido a la insensibilidad de los animales a la acción inhibitoria de los días largos. A este fenómeno

se le llama “estado refractario a los días largos” (Howles *et al.*, 1982). Es probable que los caprinos locales del norte de México, posean un ritmo endógeno de reproducción. Por ello, los días largos determinan el inicio de la estación sexual y los días cortos la duración de esta actividad (Malpaux *et al.*, 1989, Malpaux y Karsch, 1990).

3. Manejo del fotoperiodo para controlar la actividad sexual de los machos caprinos y ovinos

Para manipular la actividad sexual de los machos caprinos y ovinos es necesario evitar la aparición del estado refractario. Para ello, los machos deben ser sometidos a periodos alternos de días largos y días cortos. Los diseños experimentales de la manipulación del fotoperiodo han permitido que los machos caprinos y ovinos tengan una actividad sexual durante el año o una actividad sexual a contra estación (Chemineau *et al.*, 1988, 1992; Delgadillo *et al.*, 1991, 1992, 2002).

a) Actividad sexual continua de los machos caprinos y ovinos durante el año

Para evitar las variaciones estacionales de la actividad sexual de los machos cabríos de la raza Alpina y los machos ovinos de la raza Ile-de-France, los animales fueron sometidos alternadamente a 1 mes de días largos (16 horas de luz: 8 horas de oscuridad) y 1 mes de días cortos (8 horas de luz: 16 horas de oscuridad) durante 2 años consecutivos. En estos machos, el peso testicular, la secreción de testosterona, la producción espermática cuantitativa y cualitativa, así como la latencia a la eyaculación no presentaron variaciones estacionales, y sus valores se mantuvieron al nivel observado en los machos testigo durante la estación sexual. Además, la fertilidad del semen colectado durante todo el año en los machos sometidos a los tratamientos fotoperiódicos fue igual a la de los machos testigo

colectado durante la estación sexual natural (Pelletier y Almeida, 1987; Delgadillo *et al.*, 1991, 1992; Delgadillo y Chemineau, 1992).

b) Inducción de la actividad sexual de los machos caprinos y ovinos en el periodo de reposo sexual

La utilización de días largos artificiales seguidos de días cortos permite inducir la actividad sexual de los machos cabríos y de los carneros durante sus periodos de reposo sexual. Por ejemplo, en los machos cabríos originarios de latitudes templadas, como los Alpinos, y los de la raza Payoya originarios del área Mediterránea, la exposición de 2 a 3 meses de días largos artificiales (16 horas de luz/día) seguidos de días naturales, que tienen menos de 16 h de luz por día, o la inserción de implantes subcutáneos de melatonina (hormona que da una señal de días cortos), estimulan la actividad sexual y crecimiento del peso testicular de estos machos durante el periodo de reposo sexual (Chemineau *et al.*, 1992; Zarazaga *et al.*, 2010). En estos machos de latitudes templadas, el tratamiento de días largos inicia en diciembre y termina a mediados de marzo, con la finalidad de que la actividad sexual sea estimulada a partir de mayo (Langford *et al.*, 1987; Chemineau *et al.*, 1992; Pellicer-Rubio *et al.*, 2007; Zarazaga *et al.*, 2010). Además, en los machos cabríos de la raza Alpina y Saanen, se reportó que la estacionalidad reproductiva puede evitarse considerablemente al alternar días cortos y días largos artificiales cada 45 días (Leboeuf *et al.*, 2004). Estos resultados sugieren que la exposición de un periodo de 45 días largos artificiales es suficiente para restablecer el efecto de los días cortos. También, en los ovinos, la exposición de 30 días largos seguidos de 120 días cortos permite un incremento en la secreción de testosterona. Sin embargo, este incremento es menor que el observado en los machos sometidos a 60 días largos seguidos de 120 días cortos (Langford *et al.*, 1987).

Esto sugiere que en los ovinos, un mes de días largos no es suficiente para estimular completamente la secreción de testosterona al someterlos a días cortos.

En los machos cabríos del subtrópico mexicano, la actividad sexual también se puede estimular cuando son sometidos a días largos artificiales (16 h de luz/día) del 1 de noviembre al 15 de enero, es decir durante 2.5 meses (75 días), seguidos de días naturales, que tienen menos de 14 h de luz por día, o la inserción subcutánea de un implante de melatonina (Delgadillo *et al.*, 2001, 2002). En los machos cabríos sometidos a estos tratamientos fotoperiódicos se estimuló la actividad sexual de febrero a abril, época de reposo sexual natural. En efecto, el incremento de la secreción de testosterona inició a finales de febrero, para alcanzar su máxima concentración plasmática a mitad de marzo y disminuir en abril. La concentración plasmática de testosterona en estos meses fue superior a la observada en los machos testigo bajo las variaciones del fotoperiodo natural (Delgadillo *et al.*, 2001, 2002). Además, el comportamiento sexual de los machos tratados fotoperiódicamente, al ser expuestos con cabras en anestro, fue más intenso al observado en los machos testigo (Flores *et al.*, 2000; Delgadillo *et al.*, 2002; Rivas-Muñoz *et al.*, 2007).

Sin embargo, en los machos cabríos del subtrópico mexicano, no existen estudios que indiquen si el tratamiento de días largos puede reducirse a 45 días y estimular las respuestas endocrina y sexual de los machos, de la misma manera que son estimulados al exponerlos a 2.5 meses (75 días) de días largos artificiales.

III. Objetivo

Determinar si la exposición a 45 días largos artificiales, a partir del 1 de diciembre, es suficiente para estimular las actividades endocrina y sexual de los machos cabríos en el periodo de reposo sexual.

IV. Hipótesis

Las actividades endocrina y sexual de los machos cabríos pueden estimularse en el periodo de reposo sexual al someterlos a 45 días largos artificiales, a partir del 1 de diciembre.

V. Materiales y métodos

1. Ubicación del experimento

El estudio se llevó a cabo de octubre 2010 a mayo 2011 en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna y en el Ejido Ricardo Flores Magón en el municipio de Torreón, Coahuila. Estas localidades forman parte de la Comarca Lagunera ubicada a la latitud de 26° 37' N. El fotoperiodo natural de la región varía de 13:41 h de luz en el solsticio de verano a 10:19 h de luz en el solsticio de invierno.

2. Unidades experimentales

Se utilizaron quince machos cabríos locales de la Comarca Lagunera nacidos en enero y febrero del 2010. Todos los machos permanecieron confinados desde su nacimiento hasta el final del experimento. En octubre del 2010, los animales fueron distribuidos homogéneamente en 3 grupos de acuerdo a su peso corporal y su circunferencia testicular. Los machos de cada grupo se mantuvieron juntos y se alimentaron con heno de alfalfa a libre acceso y 300 g de concentrado comercial (14% PC); durante el experimento los animales tuvieron acceso libre a bloques de sales minerales y agua.

3. Tratamientos fotoperiódicos

Los machos tuvieron 9 meses de edad al iniciar el tratamiento fotoperiódico. Un grupo de machos permaneció en un corral abierto de 5 x 7 m percibiendo las variaciones del fotoperiodo natural y la temperatura ambiente durante todo el experimento ($n = 5$, grupo

testigo). Los animales de los otros dos grupos fueron alojados en dos corrales abiertos de 5 x 7 m equipados cada uno con 9 lámparas que emitían luz de día. Un grupo de machos fue sometido a 75 días largos artificiales (16 h luz/día; encendido de luz: 06:00, apagado de luz: 09:00; seguido de encendido de luz 17:00, apagado de luz 22:00) del 1 de noviembre del 2010 al 15 de enero del 2011 (n = 5; grupo 75 días). El otro grupo de machos fue sometido a 45 días largos artificiales (n = 5; grupo 45 días) del 1 de diciembre del 2010 al 15 de enero del 2011. El encendido y apagado de las lámparas en ambos corrales se controló con relojes electrónicos y la intensidad de la luz fue de al menos 300 lux al nivel de los ojos de los animales. A partir del 16 de enero del 2011, los machos tratados percibieron las variaciones del fotoperiodo natural.

4. Variables determinadas

a) Concentración plasmática de testosterona

Para la determinación de la concentración de testosterona plasmática se obtuvo una muestra sanguínea de 5 ml cada semana de octubre a mayo. Las muestras se colectaron de la vena yugular a la misma hora antes de que los animales consumieran alimento (09:00 h). Estas muestras se depositaron en tubos que contenían anticoagulante (heparina) y se centrifugaron a 3,500 revoluciones por minuto durante 30 minutos. El plasma que se obtuvo se congeló a -15°C hasta la determinación de la testosterona por radioinmunoanálisis. La testosterona se determinó usando el método descrito por Garnier *et al.* (1978). Las muestras se determinaron en simple en un solo ensayo. La sensibilidad del ensayo fue de 0.1 ng/ml y el coeficiente de variación intraensayo de 12.4%.

El inicio de la actividad endocrina de cada macho se definió considerando la primera fecha de las muestras con una concentración plasmática de testosterona superior a 5 ng/ml, en una serie de 3 muestras consecutivas con concentraciones por encima de 5 ng/ml (Delgadillo *et al.*, 1993). El final de la actividad endocrina de cada macho se definió considerando la primera fecha de las muestras con una concentración plasmática de testosterona inferior a 5 ng/ml, en una serie de 3 muestras consecutivas con concentraciones por debajo de 5 ng/ml. La duración de la actividad endocrina (secreción elevada de testosterona) se calculó con el número de días entre el inicio y el final de la actividad endocrina. La latencia de la respuesta endocrina al tratamiento fotoperiódico se calculó con el número de días entre el día que se suspendió la aplicación de los días largos y el inicio de la actividad endocrina. La concentración promedio de testosterona se calculó tomando la media de las concentraciones obtenidas durante el periodo que duró la actividad endocrina.

b) Circunferencia testicular

La circunferencia testicular de cada macho se determinó una vez por semana utilizando una cinta métrica flexible graduada en centímetros. Para ello se midió la zona ecuatorial de ambos testículos.

c) Olor sexual

La intensidad del olor de los machos se determinó cada semana de marzo a mayo utilizando la técnica descrita por Walkden-Brown *et al.* (1994). Esta técnica consiste en determinar la intensidad del olor a partir del área posterior de la región de la base de los cuernos a una distancia de 15 cm, utilizando una escala de 0 a 3 (0: olor neutro o igual a hembras; 1: olor sexual ligero; 2: olor sexual moderado; 3: olor sexual intenso).

d) Prueba para evaluar la producción de semen

Para colectar el semen, los machos se expusieron a una hembra inducida artificialmente al estro. Para la inducción al estro de la hembra se aplicó diariamente una inyección intramuscular de 2 mg de cipionato de estradiol durante una semana previa de la colecta del semen (Delgadillo *et al.*, 1991). Para obtener el eyaculado de cada macho se usó una vagina artificial de látex que se mantuvo a una temperatura entre 40°C y 42°C al momento de la solicitud a eyacular. Las pruebas se realizaron 4 veces la primera semana de abril del 2011, es decir, durante el periodo de reposo sexual natural. En cada prueba, los machos se solicitaron a eyacular exponiéndolos a la hembra una vez por día. Cada macho tenía como límite 3 minutos para eyacular (así se determinó la latencia a la eyaculación). Si el macho no eyaculaba después de transcurrido este tiempo, se regresaba al corral y se registraba como rechazo a la eyaculación. Estas dos variables (latencia y rechazo a la eyaculación) permiten evaluar el comportamiento sexual a la colecta. La producción del semen se evaluó cuantitativa y cualitativamente.

i. Producción cuantitativa

(1) Volumen del eyaculado

El volumen del eyaculado se determinó directamente del tubo de colecta graduado en mililitros, con un valor mínimo de 0.1 ml.

(2) Concentración espermática del eyaculado ($10^9/ml$)

La concentración de espermatozoides se determinó con un espectrofotómetro. Este aparato permite determinar la concentración de la muestra, midiendo la densidad óptica

basada en la cantidad de luz que pasa a través de una muestra líquida. Para ello, una muestra de 0.05 ml de semen se diluyó en 9.95 ml de solución salina formolada (9 g de cloruro de sodio y 1 ml de formol puro por litro; Delgadillo *et al.*, 1992). Esta muestra se homogeneizaba y se vertían 5 ml en un tubo de cuarzo que se colocaba en el espectrofotómetro calibrado a 520 nanómetros y se registraba la lectura de transmitancia (Memon *et al.*, 1986). Posteriormente, el dato obtenido se relacionaba con la concentración de la curva estándar, la cual fue construida utilizando 25 eyaculados con concentraciones espermáticas previamente cuantificadas.

(3) *Número total de espermatozoides por eyaculado*

El número total de espermatozoides por eyaculado se determinó multiplicando el volumen obtenido por la concentración determinada del eyaculado.

ii. Producción cualitativa

(1) *Porcentaje de espermatozoides vivos*

El porcentaje de espermatozoides vivos se evaluó inmediatamente después de haber obtenido la muestra de semen. Para esto, una gota de semen sin diluir se depositó entre un portaobjetos y un cubreobjetos mantenidos a 37° C, para evitar el choque térmico a los espermatozoides. Esta muestra se observó al microscopio óptico a 400 aumentos, observando varios campos de dicha muestra y registrando el porcentaje de espermatozoides vivos (móviles) que se distinguían en ella (Delgadillo *et al.*, 1999).

(2) *Motilidad progresiva de los espermatozoides*

La motilidad progresiva de los espermatozoides, que se caracteriza por el movimiento rectilíneo, progresivo y rápido, se determinó en la misma preparación utilizada para el porcentaje de espermatozoides vivos. La escala de evaluación se consideró de 0 (células sin movimiento) a 5 (movimiento rápido y rectilíneo; Delgadillo *et al.*, 1999).

e) Peso corporal

El peso corporal de cada macho se determinó cada 15 días a la misma hora antes de que los animales consumieran alimento (09:00 h), utilizando una báscula con una precisión de 100 g y una capacidad de 400 kg.

5. Análisis estadísticos

Los valores de la concentración plasmática de testosterona, de la circunferencia testicular y del peso corporal de cada grupo de machos se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) con medidas repetidas a dos factores (tiempo-grupo). Posteriormente, cuando existió interacción tiempo-grupo, los valores semanales se compararon con la prueba *t* de student para determinar las diferencias entre grupos.

El inicio de la actividad endocrina (elevación de la secreción de testosterona) se analizó con una prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis a un factor (grupo) para los 3 grupos de machos y para determinar las diferencias entre cada grupo se utilizó la prueba de Dwass-Steel-Christchlow-Fligner. Para comparar el final, la duración, el intervalo entre el final del tratamiento fotoperiódico-inicio de la actividad endocrina y las concentraciones de testosterona de la actividad endocrina se analizaron mediante una prueba no paramétrica de

U de Mann-Whitney a un factor (grupo) para comparar los grupos tratados con días largos y para determinar las diferencias entre éstos se utilizó la prueba de Dwass-Steel-Chritchlow-Fligner.

Los valores del olor de los machos se analizaron con una prueba no paramétrica de Friedman para determinar el efecto del tiempo del experimento y posteriormente, la prueba de Kruskall-Wallis para comparar los valores semanales entre grupo.

Para analizar los valores de la producción espermática se hizo un promedio de los valores obtenidos en los 4 días de colecta. La latencia a la eyaculación se comparó entre los 3 grupos mediante un ANOVA a un factor (grupo). Cuando existieron diferencias significativas se utilizó la prueba Post Hoc de Tukey para comparar las diferencias entre los 3 grupos. El mismo procedimiento fue utilizado para analizar las variables de la producción espermática (volumen, concentración, número total de espermatozoides, células vivas y motilidad). El porcentaje de rechazos a la eyaculación de los machos se comparó utilizando la prueba de X^2 . Los resultados son expresados como promedio \pm error estándar de la media (E.E.M.) y fueron comparados con ayuda del paquete SYSTAT versión 13 SPSS Inc., 2009, Versión estándar.

VI. Resultados

1. Concentración plasmática de testosterona

En los machos de los tres grupos, la concentración plasmática de testosterona varió durante el estudio (efecto del tiempo: $P < 0.0001$), y estas variaciones difirieron entre los tres grupos durante todo el estudio (interacción tiempo x grupo: $P < 0.0001$). Las diferencias de los valores semanales entre los grupos se muestran en la Figura 1. En los tres grupos, la concentración plasmática de testosterona fue baja en diciembre y enero (< 5 ng/ml). En el grupo testigo, los niveles de testosterona se incrementaron (> 5 ng/ml) en mayo. En cambio, en los grupos 45 y 75 días los niveles de testosterona se incrementaron en febrero y disminuyeron en abril. En el grupo testigo, el inicio de la actividad endocrina fue más tardío que el observado en los grupos 45 y 75 días ($P < 0.05$). En cambio, el inicio de la actividad endocrina de los machos de estos 2 últimos grupos no fue diferente ($P > 0.05$). El final de la actividad endocrina ocurrió primero en el grupo 45 días que en el grupo 75 días ($P < 0.05$). La duración de la actividad endocrina fue menor en el grupo de 45 días que en el grupo de 75 días ($P < 0.05$). El intervalo entre el final de los días largos y el inicio de la actividad endocrina no fue diferente entre los grupos 45 y 75 días ($P > 0.05$). La concentración promedio de testosterona durante la actividad endocrina no difirió entre ambos grupos ($P > 0.05$; Tabla 1).

Testosterona plasmática (ng/ml)

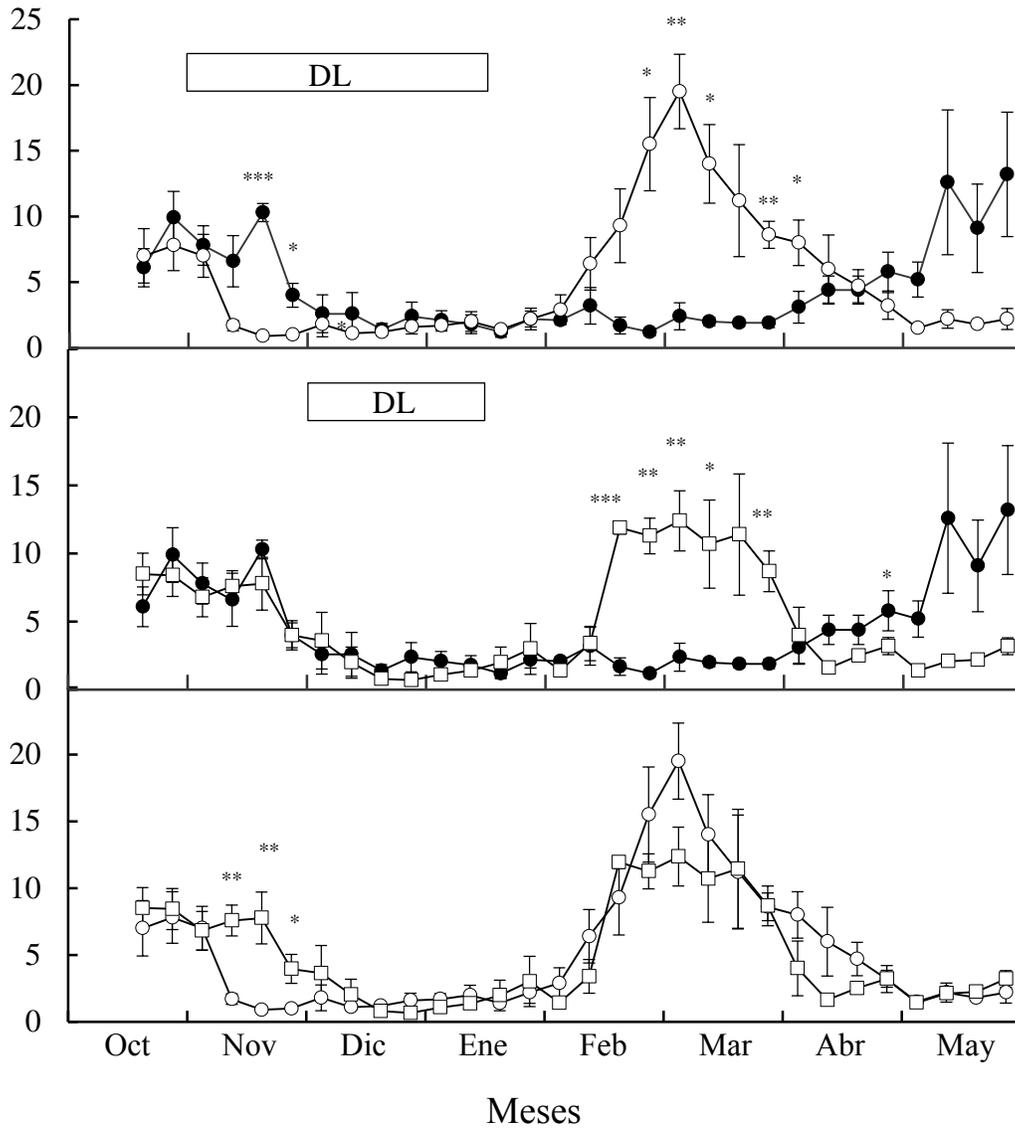


Figura 1. Variaciones de la concentración plasmática de testosterona (promedio \pm E.E.M) de los machos cabríos locales de la Comarca Lagunera (26° Norte). Un grupo de machos se expuso a las variaciones naturales del fotoperiodo (●). Otro grupo de machos se expuso a 45 días largos artificiales a partir del 1 de diciembre (□), mientras que otro grupo de machos se expuso a 75 días largos artificiales a partir del 1 de noviembre (○). Después de finalizados los días largos, el 16 de enero, los machos percibieron las variaciones naturales del fotoperiodo hasta el final del estudio. Las barras horizontales simbolizan la exposición a días largos (DL). * $P < 0.05$, ** $P < 0.001$, *** $P < 0.0001$.

Tabla 1. Características de la secreción de testosterona (actividad endocrina) de los machos cabríos locales de la Comarca Lagunera (26° Norte). Un grupo de machos se expuso a las variaciones naturales del fotoperiodo. Otro grupo de machos se expuso a 45 días largos artificiales (DL) a partir del 1 de diciembre, mientras que otro grupo de machos se expuso a 75 días largos artificiales a partir del 1 de noviembre. Después de la aplicación de días largos, el 16 de enero, los machos tratados percibieron las variaciones naturales del fotoperiodo hasta el final del estudio.

Grupos	n	Inicio actividad endocrina (días)	Final actividad endocrina (días)	Duración actividad endocrina (días)	Intervalo: final DL-inicio actividad endocrina (días)	Concentración \bar{x} de testosterona durante actividad endocrina (ng/ml)
Testigo	5	Mayo 16 ± 4 ^a	ND	ND	ND	ND
45 días	5	Febrero 17 ± 1 ^b	Abril 7 ± 3 ^a	49 ± 4 ^a	33 ± 1 ^a	10 ± 1 ^a
75 días	5	Febrero 14 ± 4 ^b	Abril 23 ± 4 ^b	69 ± 6 ^b	30 ± 4 ^a	11 ± 1 ^a

^{a,b}. Dentro de la columna denota diferencia significativa ($P < 0.01$).

Los resultados se expresan en promedio ± E.E.M.

ND: Datos no disponibles porque las muestras sanguíneas para la determinación de la testosterona terminaron el 27 de mayo.

2. Circunferencia testicular

En los machos de los tres grupos, la circunferencia testicular varió durante el estudio (efecto del tiempo: $P < 0.0001$), y estas variaciones difirieron entre los tres grupos durante todo el estudio (interacción tiempo x grupo: $P < 0.0001$). Cuando se compararon los valores semanales, la circunferencia testicular del grupo 75 días fue superior a la del grupo testigo únicamente el 4 de marzo del 2011 ($P < 0.05$). De igual manera, la circunferencia testicular del grupo 45 días fue superior al grupo testigo el 4 y 11 de marzo ($P < 0.05$). En cambio, ninguna diferencia en esta variable se observó al comparar los valores de los machos de los grupos 45 y 75 días ($P > 0.05$). La circunferencia testicular de los machos de los tres grupos se mantuvo estable de octubre a diciembre. Posteriormente, esta variable se incrementó en los tres grupos, pero el aumento fue superior en los grupos sometidos a días largos artificiales que en el grupo testigo (Figura 2).

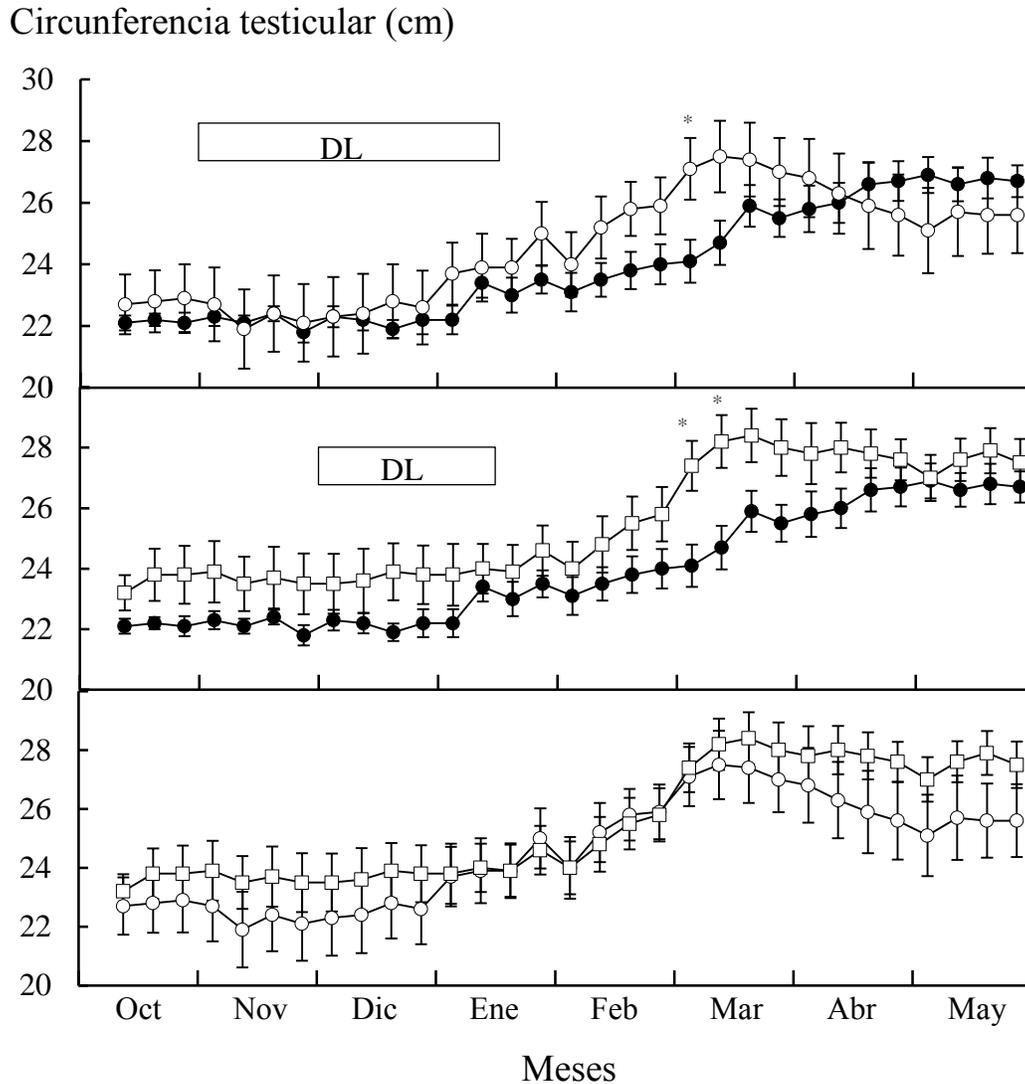


Figura 2. Variaciones de la circunferencia testicular (promedio \pm E.E.M.) de los machos cabríos locales de la Comarca Lagunera (26° Norte). Un grupo de machos se expuso a las variaciones naturales del fotoperiodo (●). Otro grupo de machos se expuso a 45 días largos artificiales a partir del 1 de diciembre (□), mientras que otro grupo de machos se expuso a 75 días largo artificiales a partir del 1 de noviembre (○). Después de finalizados los días largos, el 16 de enero, los machos percibieron las variaciones naturales del fotoperiodo hasta el final del estudio. Las barras horizontales simbolizan la exposición a días largos (DL). * $P < 0.05$.

3. Olor sexual

En los machos de los tres grupos, el olor varió durante el estudio (efecto del tiempo: $P < 0.0001$), y estas variaciones difirieron entre los tres grupos (interacción tiempo x grupo $P < 0.0001$). Los valores semanales del olor en los grupos 45 y 75 días fueron superiores al olor del grupo testigo de marzo a mayo ($P < 0.01$). Ninguna diferencia se registró en este mismo periodo al comparar el olor de los machos de los grupos 45 y 75 días ($P > 0.05$; Figura 3).

Olor sexual (escala 0 - 3)

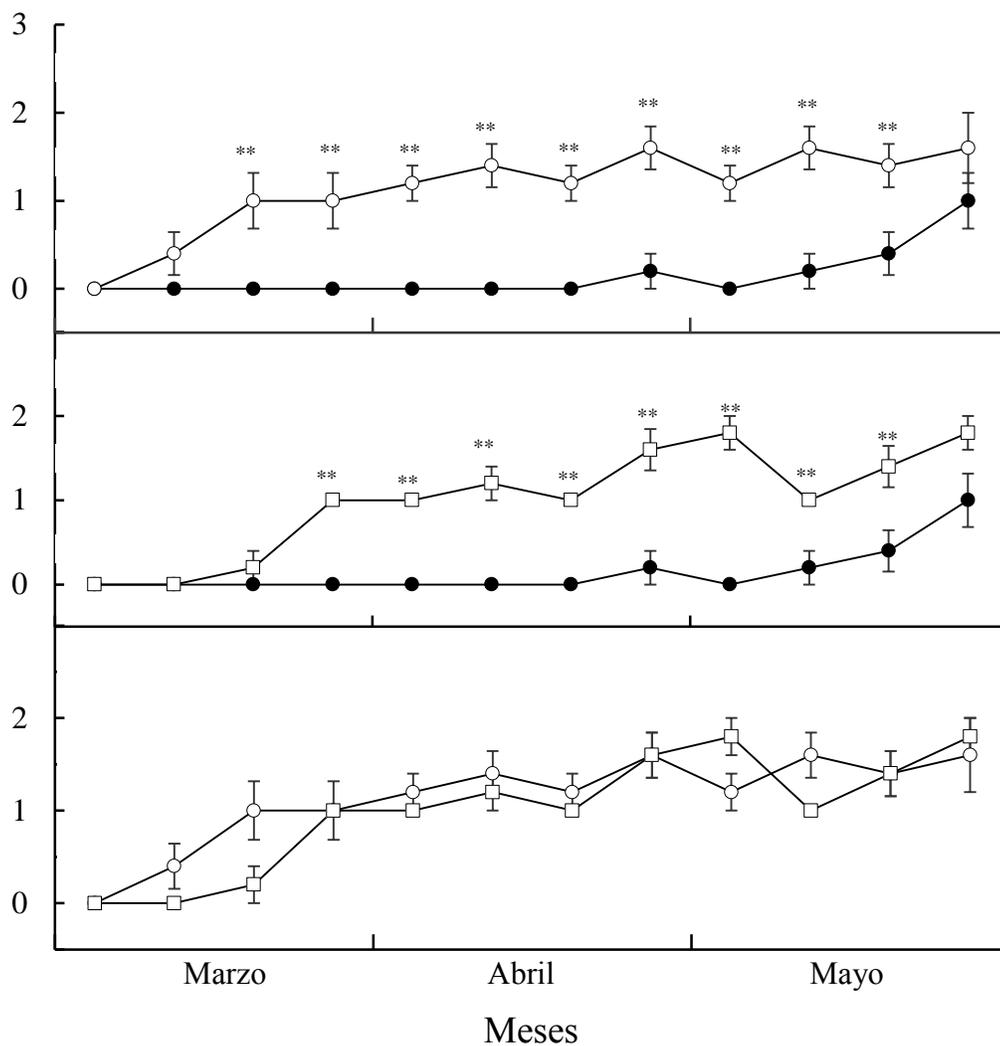


Figura 3. Variaciones del olor (promedio \pm E.E.M.) de los machos cabríos locales de la Comarca Lagunera (26° Norte). Un grupo de machos se expuso a las variaciones naturales del fotoperiodo (●). Otro grupo de machos se expuso a 45 días largos artificiales a partir del 1 de diciembre (□), mientras que otro grupo de machos se expuso a 75 días largos artificiales a partir del 1 de noviembre (○). Después de finalizados los días largos, el 16 de enero, los machos percibieron las variaciones naturales del fotoperiodo hasta el final del estudio. ** P<0.001.

4. Prueba para evaluar la producción de semen

a) Comportamiento sexual a la colecta

La latencia a la eyaculación y el porcentaje de rechazos a la eyaculación fueron superiores en los machos del grupo testigo que en los machos de los grupos 45 y 75 días ($P < 0.0001$; $P < 0.01$, respectivamente). En cambio, ninguna diferencia existió entre los machos de éstos dos últimos grupos ($P > 0.05$; Figura 4).

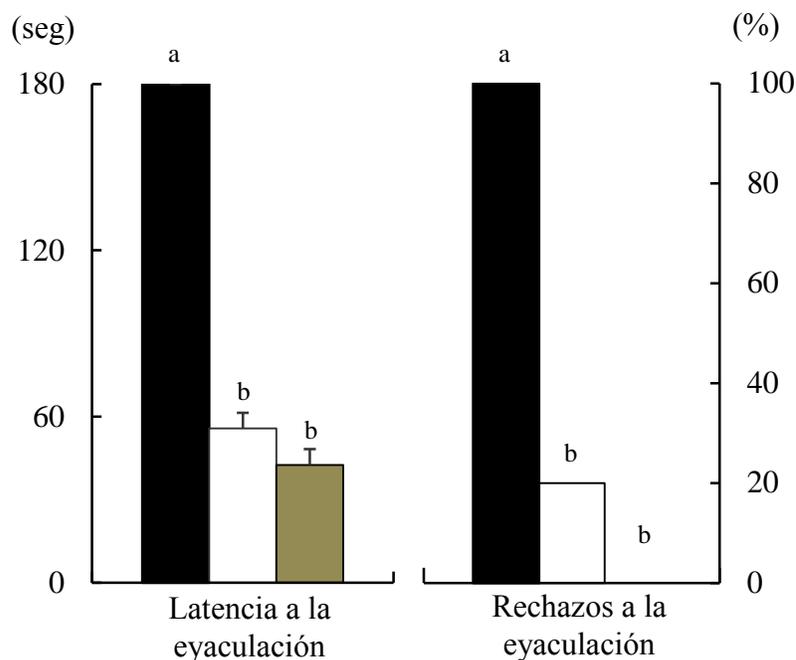


Figura 4. Latencia a la eyaculación y porcentaje de rechazos para eyacular dentro de una vagina artificial de tres grupos de machos cabríos locales de la Comarca Lagunera (26° Norte; promedio \pm E.E.M.). Cada macho fue expuesto durante 3 minutos con una cabra inducida al estro para realizar la colecta, el macho que sobrepasara este lapso de tiempo se tomó como rechazo a la eyaculación. Un grupo de machos se expuso a las variaciones naturales del fotoperiodo (■). Otro grupo de machos se expuso a 45 días largos artificiales a partir del 1 de diciembre (□), mientras que otro grupo de machos se expuso a 75 días largos artificiales a partir del 1 de noviembre (■). Después de finalizados los días largos, el 16 de enero, los machos percibieron las variaciones naturales del fotoperiodo hasta el final del estudio. Barras con diferente literal denota diferencia significativa ($P < 0.01$).

b) Producción cuantitativa

Ningún macho del grupo testigo eyaculó en los 3 minutos que tenían como límite para eyacular dentro de la vagina artificial. El volumen del eyaculado, la concentración espermática del eyaculado y el número total de espermatozoides por eyaculado fueron similares en los machos de los grupos 45 y 75 días ($P>0.05$; Figura 5).

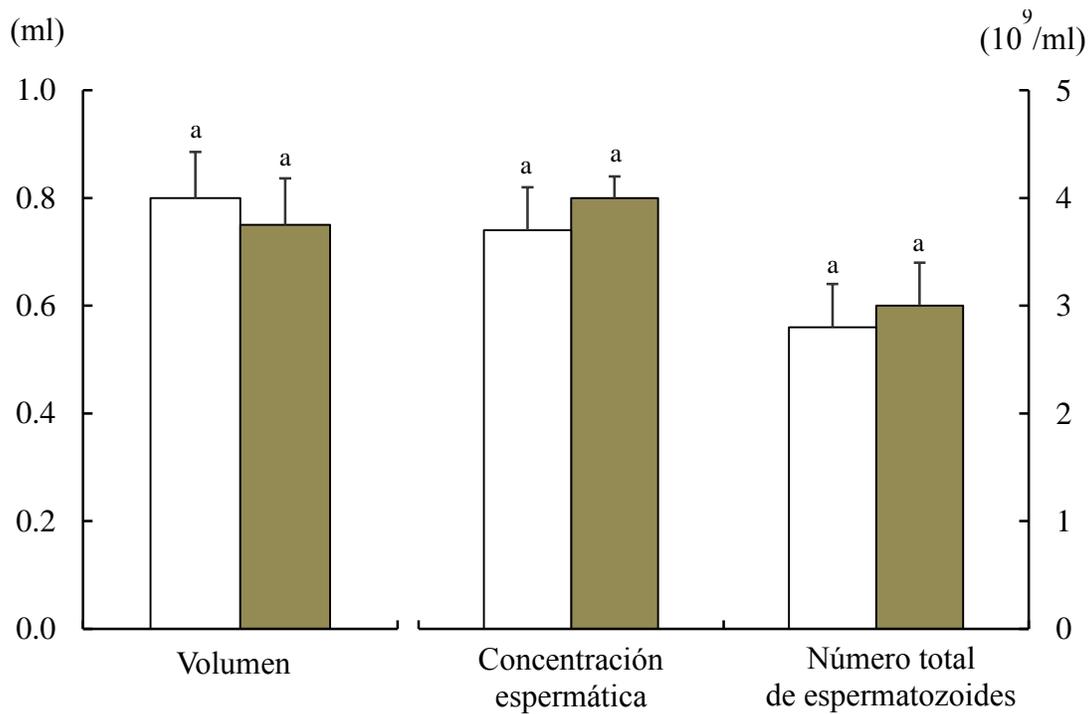


Figura 5. Volumen, concentración espermática y número total de espermatozoides por eyaculado de tres grupos de machos cabríos locales de la Comarca Lagunera (26° Norte; promedio \pm E.E.M.). Cada macho fue expuesto durante 3 minutos a una cabra inducida al estro para realizar la colecta. Un grupo de machos se expuso a 45 días largos artificiales a partir del 1 de diciembre (\square), mientras que otro grupo de machos se expuso a 75 días largos artificiales a partir del 1 de noviembre (\blacksquare). Después de finalizados los días largos, el 16 de enero, los machos percibieron las variaciones naturales del fotoperiodo hasta el final del estudio. Barras con misma literal no denota diferencia ($P>0.05$).

c) Producción cualitativa

La motilidad espermática progresiva y el porcentaje de células vivas fueron similares entre los machos de los grupos 45 y 75 días ($P>0.05$; Figura 6).

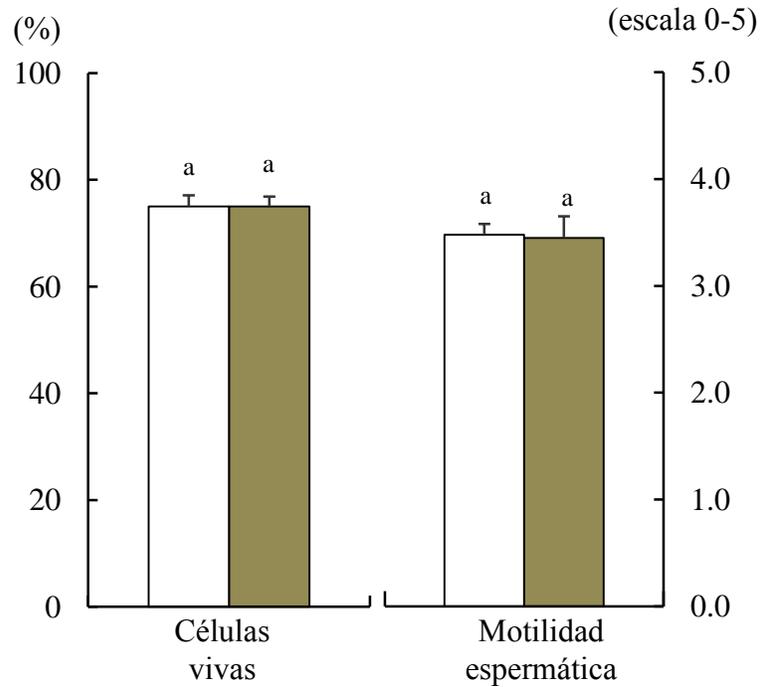


Figura 6. Células vivas y motilidad espermática en los eyaculados de los machos cabríos locales de la Comarca Lagunera (26° Norte; promedio \pm E.E.M.). Cada macho fue expuesto durante 3 minutos a una cabra inducida al estro para realizar la colecta. Un grupo de machos se expuso a 45 días largos artificiales a partir del 1 de diciembre (□), mientras que otro grupo de machos se expuso a 75 días largos artificiales a partir del 1 de noviembre (■). Después de finalizados los días largos, el 16 de enero, los machos percibieron las variaciones naturales del fotoperiodo hasta el final del estudio. Barras con misma literal no denota diferencia ($P>0.05$).

5. Peso corporal

En los machos de los tres grupos, el peso corporal varió durante el estudio (efecto del tiempo: $P < 0.0001$), y estas variaciones difirieron entre los tres grupos (interacción tiempo x grupo $P < 0.0001$). Sin embargo, cuando se compararon los valores quincenales obtenidos en los tres grupos de machos, solamente el grupo 45 días fue superior al grupo testigo en el mes de febrero ($P < 0.05$; Figura 7).

Peso corporal (kg)

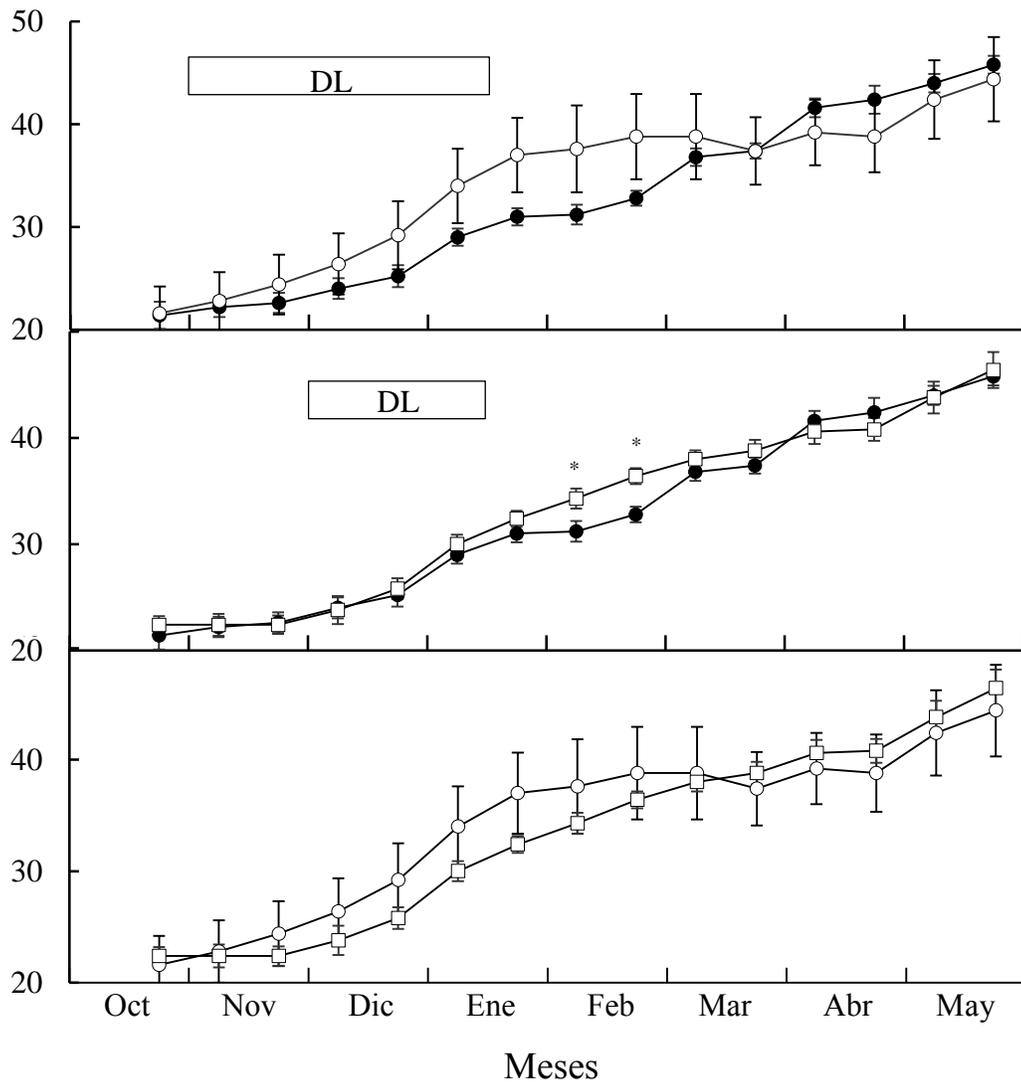


Figura 7. Variaciones del peso corporal (promedio \pm E.E.M.) de los machos cabríos locales de la Comarca Lagunera (26° Norte). Un grupo de machos se expuso a las variaciones naturales del fotoperiodo (●). Otro grupo de machos se expuso a 45 días largos artificiales a partir del 1 de diciembre (□), mientras que otro grupo de machos se expuso a 75 días largos artificiales a partir del 1 de noviembre (○). Después de finalizados los días largos, el 16 de enero, los machos percibieron las variaciones naturales del fotoperiodo hasta el final del estudio. Las barras horizontales simbolizan la exposición a días largos (DL). * P<0.05.

VII. Discusión

Los resultados del presente estudio demuestran que las actividades endocrina y sexual de los machos cabríos locales de la Comarca Lagunera pueden ser inducidas en el periodo de reposo sexual (marzo-abril) al someterlos sólo a 45 días largos artificiales a partir del 1 de diciembre. En efecto, la concentración plasmática de testosterona, la circunferencia testicular, el comportamiento sexual a la colecta (latencia y rechazos a la eyaculación) y la producción espermática no difirieron entre los machos expuestos a 45 o 75 días largos artificiales. En cambio, la duración de la actividad endocrina fue menor en el grupo 45 días que en el grupo 75 días. Los resultados obtenidos en el presente estudio son semejantes a los reportados previamente en machos cabríos de la misma raza, expuestos a un tratamiento luminoso de 75 días largos artificiales seguidos de días naturales (Delgadillo *et al.*, 2002; Rivas-Muñoz *et al.*, 2007). Los resultados de este estudio demuestran que se puede reducir el periodo de días largos sin modificar la respuesta sexual de los machos cabríos en el periodo de reposo sexual.

La actividad endocrina fue menor en el grupo 45 días que en el grupo 75 días. En los dos grupos, el inicio no fue diferente, pero el final se produjo primero en el grupo 45 días. La estacionalidad reproductiva en algunas razas de caprinos y ovinos, es el resultado de la existencia de un ritmo endógeno de reproducción sincronizado por el fotoperiodo (Howles *et al.*, 1982; Karsch *et al.*, 1989; Gebbie *et al.*, 1999; Gómez-Brunet *et al.*, 2010; Delgadillo *et al.*, 2011). En estas razas que poseen un ritmo endógeno de reproducción, la percepción que hacen de los días largos sincroniza el inicio de la actividad sexual (Malpaux *et al.*, 1989). En el presente estudio, el inicio de la actividad endocrina no fue diferente

entre los grupos tratados a pesar de que hubo un mes de diferencia al comenzar los días largos artificiales (1 de noviembre en el grupo 75 días; 1 de diciembre en el grupo 45 días). Estos resultados demuestran que el retardar un mes el inicio del tratamiento de los días largos sincronizó de manera similar el inicio de la actividad endocrina. En cambio, en el grupo 45 días, el final de la actividad endocrina ocurrió primero que en el grupo 75 días. En consecuencia, la duración de la actividad endocrina fue menor en el grupo 45 días que en el grupo 75 días. Las causas de esta diferencia pueden explicarse al menos por las siguientes hipótesis: 1) Es probable que la cantidad de días largos que perciben los animales antes de ser expuestos a días cortos haya determinado la duración de la actividad endocrina al ser expuestos a días cortos. En las ovejas prepúberes, por ejemplo, una semana de días largos seguida de días cortos induce el inicio de la actividad ovulatoria. Sin embargo, esta actividad no es normal, pues se incrementa el porcentaje de ciclos ovulatorios de corta duración (Yellon y Foster, 1985). En cambio, 5 semanas de días largos seguidas de días cortos son suficientes para que las ovejas muestren ciclos ováricos de duración normal (Yellon y Foster, 1985; Sweeney *et al.*, 1997). Estos datos, junto con los de otros autores sugieren que en las cabras y ovejas, un periodo entre 30 y 60 días largos artificiales son suficientes para inducir una actividad ovárica normal (Yellon y Foster, 1985; Chemineau, 1986; Jackson *et al.*, 1988; Sweeney *et al.*, 1997). En los machos caprinos y ovinos, no existen estudios que hayan determinado cuál es el requerimiento mínimo de días largos antes de ser expuestos a días cortos para observar una actividad endocrina o sexual de duración normal. Sin embargo, algunos estudios efectuados en los machos de estas dos especies sugieren que la exposición a 30 o 45 días largos artificiales, restauran la respuesta a los días cortos (Langford *et al.*, 1987; Pelletier y Almeida, 1987; Leboeuf *et al.*, 2004). En los machos utilizados por Langford *et al.* (1987), Pelletier y Almeida (1987) y Leboeuf

et al. (2004) se sometieron a días cortos artificiales, mientras que en el presente estudio, los machos percibieron días cortos crecientes naturales. En consecuencia, es difícil comparar los resultados de este estudio y los descritos por estos últimos autores, debido a que los protocolos son diferentes. En el presente estudio, los machos percibieron 45 días largos artificiales y es posible que esta duración del tratamiento fotoperiódico haya interferido en la duración de la actividad endocrina entre los grupos 45 y 75 días. 2) Es probable que el diferente estadio del ritmo endógeno de reproducción de los grupos 45 y 75 días al iniciar los días largos, haya influido en la duración de la actividad endocrina. En efecto, el momento del año en que los animales perciben los días largos modifica profundamente la respuesta a los días cortos, alterando la duración de la actividad endocrina o sexual, tal como ocurrió en el presente estudio (Donovan *et al.*, 1994; Woodfill *et al.*, 1994; Sweeney *et al.*, 1997). En conjunto, los resultados del presente estudio demuestran que 75 y 45 días largos artificiales, a partir del 1 de noviembre o 1 de diciembre, respectivamente, estimulan la actividad endocrina de los machos cabríos en el periodo de reposo sexual. La actividad endocrina es menor en el grupo 45 días que en el grupo 75 días, probablemente por el estadio diferente del ritmo endógeno de reproducción entre los dos grupos al iniciar los días largos artificiales.

Es interesante subrayar que la diferencia en la duración de la actividad endocrina entre los machos del grupo 45 y 75 días, no se reflejó en la intensidad del olor o el comportamiento sexual de éstos en la colecta del semen. En efecto, el olor de los machos que depende de la secreción de testosterona (Walkden-Brown *et al.*, 1994), fue similar entre los grupos 45 y 75 días hasta el final del estudio. La intensidad del olor en estos dos grupos fue superior a la del grupo testigo. Asimismo, la latencia a la eyaculación y el porcentaje de

rechazos a la eyaculación no difirieron entre los machos de los grupos 45 y 75 días. Esta ausencia de diferencia entre los grupos se debió, muy probablemente, a que el semen se colectó en la primera semana de abril, cuando los niveles de testosterona en los dos grupos fueron elevados. En cambio, la latencia a la eyaculación y el porcentaje de rechazos a la eyaculación fueron superiores en los machos del grupo testigo que se encontraban en reposo sexual natural, y en los cuales los niveles plasmáticos de testosterona eran inferiores a los observados en los grupos tratados con días largos. Estos datos coinciden con lo reportado previamente en los machos caprinos u ovinos tratados con días largos seguidos de días cortos o implantes subcutáneos de melatonina (Chemineau *et al.*, 1992; Delgadillo *et al.*, 1991, 2009; Delgadillo y Vélez, 2010). En conjunto, estos resultados demuestran que un tratamiento de 45 días, a partir del 1 de diciembre, permite estimular la intensidad del olor y el comportamiento sexual a la colecta de los machos de manera similar a la observada en los machos expuestos a 75 días a partir del 1 de noviembre.

La circunferencia testicular está correlacionada con la producción espermática (Langford *et al.*, 1989; Delgadillo *et al.*, 1992; Walkden-Brown *et al.*, 1994). En el presente estudio, ninguna diferencia existió en la evolución de esta variable entre los machos de los grupos 45 y 75 días. En consecuencia, la producción espermática entre los 2 grupos sometidos a días largos artificiales fue similar. La circunferencia testicular está relacionada con la cantidad de espermatozoides producidos, pero no con la calidad de éstos (Delgadillo *et al.*, 1991; Walkden-Brown *et al.*, 1994). En efecto, la calidad de los espermatozoides depende más de los niveles de testosterona, la cual interviene en la espermiogénesis, que de la circunferencia testicular (Langford *et al.*, 1987). En el presente estudio, la elevada circunferencia testicular y los altos niveles de testosterona permitieron obtener resultados

similares en la producción espermática cuantitativa y cualitativa de los dos grupos experimentales.

El peso corporal presentó variaciones durante todo el estudio. En algunos experimentos se ha sugerido que el poco incremento del peso corporal en el periodo de actividad sexual se debe a la intensa actividad de los machos aún con una buena disposición de alimento (Roguer, 1974; Walkden-Brown *et al.*, 1997). Sin embargo, otros estudios han sugerido que esto no solo se debe a la intensidad del comportamiento sexual del animal, sino que también, a la interacción que pueda tener con la disminución del fotoperiodo después de haber percibido los días largos (Delgadillo *et al.*, 1999). En el presente estudio, el peso corporal de los machos de los 3 grupos se incrementó durante todo el tratamiento, probablemente porque los animales estaban en crecimiento, pues tenían 9 meses al inicio del estudio.

VIII. Conclusión

La exposición a 45 días largos artificiales, a partir del 1 de diciembre seguidos del fotoperiodo natural, estimulan las actividades endocrina y sexual de los machos cabríos locales de la Comarca Lagunera en el periodo de reposo sexual.

IX. Literatura citada

- Bedos, M., Flores, J.A., Fitz-Rodríguez, G., Keller, M., Malpaux, B., Poindron, P. and 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*. 58:473-477.
- Bronson, F.H. 1985. Mammalian reproduction: an ecological perspective. *Biology of Reproduction*. 32:1-26.
- Chemineau, P. 1986. Sexual behavior and gonadal activity during the year in the tropical Creole meat goat. II. Male mating behavior, testis diameter, ejaculate characteristics and fertility. *Reproduction, Nutrition and Development*. 26 (2A):453-460.
- Chemineau, P., Malpaux, B., Delgadillo, J.A., Guérin, Y., Ravault, J.P., Thimonier, J. and Pelletier, J. 1992. Control of sheep and goat reproduction: use of light and melatonin. *Animal Reproduction Science*. 30:157-184.
- Chemineau, P., Pelletier, J., Guérin, Y., Colas, G., Ravault, J.P., Touré, G., Almeida, G., Thimonier, J. and Ortavant, R. 1988. Photoperiodic and melatonin treatments for the control of seasonal reproduction in sheep and goats. *Reproduction, Nutrition and Development*. 28 (2B):409-422.
- Delgadillo, J.A., Canedo, G.A., Chemineau, P., Guillaume, D. and Malpaux, 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. and Malpaux, 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., Cortez, M.E., Duarte, G., Chemineau, P. and Malpaux, B. 2004. Evidence that the photoperiod controls the annual changes in testosterone secretion, testicular and body weight in subtropical male goats. *Reproduction, Nutrition and Development*. 44:183-193.
- Delgadillo, J.A., De La Torre-Villegas, S., Arellano-Solis, V., Duarte, G. and Malpaux, B. 2011. Refractoriness to short and long days determines the end and onset of the breeding season in subtropical goats. *Theriogenology*. 76:1146-1151.

- Delgadillo, J.A., Fitz-Rodríguez, G., Duarte, G., Véliz, F.G., Carrillo, E., Flores, J.A., Vielma, J., Hernandez, H. and Malpoux, B. 2004. Management of photoperiod to control caprine reproduction in the subtropics. *Reproduction, Fertility and Development*. 16:471-478.
- Delgadillo, J.A., Flores, J.A., Véliz, F.G., Hernández, H.F., Duarte, G., Vielma, J., Poindron, P., Chemineau, P. and Malpoux, 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. and Martin, G.B. 2009. The "male effect" in sheep and goats- Revisiting the dogmas. *Behavioural Brain Research*. 200:304-314.
- Delgadillo, J.A., Leboeuf, B. and Chemineau, P. 1991. Decrease in the seasonality of sexual behavior and sperm production in bucks exposure to short photoperiodic cycles. *Theriogenology*. 36 (5):755-770.
- Delgadillo, J.A., Leboeuf, B. and Chemineau, P. 1992. Abolition of seasonal variations in semen quality and maintenance of sperm fertilizing ability by photoperiodic cycles in goat bucks. *Small Ruminant Research*. 9:47-59.
- Delgadillo, J.A., Leboeuf, B. and Chemineau, P. 1993. Maintenance of sperm production in bucks during a third year of short photoperiodic cycles. *Reproduction, Nutrition and Development*. 33:609-617.
- Delgadillo, J.A. and 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. and 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.
- Donovan, A., Boland, M.P., Roche, J.F. and O'Callaghan, D. 1994. The effect of supplementary long days, subcutaneous melatonin implant and exposure to a ram on the onset of the breeding season in ewes. *Animal Reproduction Science*. 34 (3):231-240.

- Flores, J.A., Véliz, F.G., Pérez-Villanueva, J.A., Martínez de la Escalera, G., Chemineau, P., Poindron, P., Malpaux, B. and 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.
- Garnier, D.H., Cotta, Y. and Terqui, M. 1978. Androgen radioimmunoassay in the ram: results of direct plasma testosterone and dehydroepiandrosterone measurement and physiological evaluation. *Annales de Biologie Animale Biochimie Biophysique*. 18 (2A):265-281.
- Gebbie, F.E., Forsyth, I.A. and Arendt, J. 1999. Effects of maintaining solstice light and temperature on reproductive activity, coat growth, plasma prolactin and melatonin in goats. *Journal of Reproduction and Fertility*. 116:25-33.
- Gómez-Brunet, A., Santiago-Moreno, J., Toledano-Díaz, A. and López-Sebastián, A. 2010. Evidence that refractoriness to long and short daylengths regulates seasonal reproductive transitions in Mediterranean goats. *Reproduction in Domestic Animals*. 45 (6):338-343.
- Guerrero, M.M. 2010. La caprinocultura en México, una estrategia de desarrollo. *Revista Universitaria Digital de Ciencias Sociales*. 1 (1):1-8.
- Howles, C.M., Craigon, J. and Haynes, N.B. 1982. Long-term rhythms of testicular volume and plasma prolactin concentrations in rams reared for 3 years in constant photoperiod. *Journal of Reproduction and Fertility*. 65:439-446.
- Jackson, G.L., Gibson, M. and Kuehl, D. 1988. Photoperiodic disruption of photorefractoriness in the ewe. *Biology of Reproduction*. 38:127-134.
- Karsch, F.J., Robinson, J.E., Woodfill, C.J. and Brown, M.B. 1989. Circannual cycles of luteinizing hormone and prolactin secretion in ewes during prolonged exposure to a fixed photoperiod: evidence for an endogenous reproductive rhythm. *Biology of Reproduction*. 41:1034-1046.
- Langford, G.A., Ainsworth, L., Marcus, G.J. and Shrestha, J.N.B. 1987. Photoperiod entrainment of testosterone, luteinizing hormone, follicle-stimulating hormone, and prolactin cycles in rams in relation to testis size and semen quality. *Biology of Reproduction*. 37:489-499.

- Langford, G.A., Shrestha, J.N.B. and Marcus, G.J. 1989. Repeatability of scrotal size and semen quality measurements in rams in a short-day light regime. *Animal Reproduction Science*. 19:19-27.
- Leboeuf, B., Furstoss, V., Guillouet, P. and Boué, P. 2004. Production of semen for artificial insemination from Alpine and Saanen bucks under different photoperiodic cycles. *South African Journal of Animal Science*. 34 (1):230-232.
- Lincoln, G.A., Peet, M.J. and Cunningham, R.A. 1977. Seasonal and circadian changes in the episodic release of follicle-stimulating hormone, luteinizing hormone and testosterone in rams exposed to artificial photoperiods. *Journal of Endocrinology*. 72:337-349.
- Malpoux, B. and Karsch, F.J. 1990. A role for short days in sustaining seasonal reproductive activity in the ewe. *Journal of Reproduction and Fertility*. 90:555-562.
- Malpoux, B., Robinson, J.E., Wayne, N.L. and Karsch, F.J. 1989. Regulation of the onset of the breeding season of the ewe: importance of long days and of endogenous reproductive rhythm. *Journal of Endocrinology*. 122:269-278.
- Martin, G.B., Tjondronegoro, S., Boukhliq, R., Blackberry, M.A., Brigel, J.R., Blache, D., Fisher, J.A. and Adams, N.R. 1999. Determinants of the annual pattern of reproduction in mature male Merino and Suffolk sheep: modification of endogenous rhythms by photoperiod. *Reproduction, Fertility and Development*. 11:355-366.
- Memon, M.A., Bretzlaff, K.N. and Ott, R.S. 1986. Comparison of semen collection techniques in goats. *Theriogenology*. 26:823-827.
- Ortavant, R., Pelletier, J., Ravault, J.P., Thimonier, J. and Volland-Nail, P. 1985. Photoperiod: main proximal and distal factor of the circannual cycle of reproduction in farm animals. In: *Oxford Reviews of Reproductive Biology*, Oxford Univ. Press. 7:305-345.
- Pelletier, J. and Almeida, G. 1987. Short light cycles induce persistent reproductive activity in Il-de-France rams. *Journal of Reproduction and Fertility*. 34:215-226.
- Pellicer-Rubio, M.T., Leboeuf, B., Bernelas, D., Forgerit, Y., Pougard, J.L., Bonné, J.L., Senty, E. and Chemineau, P. 2007. Highly synchronous and fertile reproductive activity induced by the male effect during deep anoestrus in lactating goats subjected to treatment with artificially long days followed by a natural photoperiod. *Animal Reproduction Science*. 98:241-258.

- Rivas-Muñoz, R., Fitz-Rodríguez, G., Poindron, P., Malpaux, B. and 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.
- Roguer, Y. 1974. Étude des interactions de l'environnement et des hormones sexuelles dans la regulation du comportement sexuelle des bovidae. These. Doctorat. es Sci. Nat. Univ. Rennes, France, 197 p.
- Sweeney, T., Donovan, A., Karsch, F.J., Roche, J.F. and O'Callaghan, D. 1997. Influence of previous photoperiodic exposure on the reproductive response to a specific photoperiod signal in ewes. *Biology of Reproduction*. 56:916-920.
- Walkden-Brown, S.W., Restall, B.J., Norton, B.W., Scaramuzzy, R.J. and Martin, G.B. 1994. Effect of nutrition on seasonal patterns of LH, FSH and testosterone concentration, testicular mass, sebaceous gland volume and odour in Australian cashmere goats. *Journal of Reproduction and Fertility*. 102:351-360.
- Walkden-Brown, S.W., Restall, B.J., Scaramuzzy, R.J., Martin, G.B. and 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*. 26:239-252.
- Woodfill, C.J.I., Wayne, N.L., Moenter, S.M. and Karsch, F.J. 1994. Photoperiodic synchronization of a circannual reproductive rhythm in sheep: identification of season-specific time cues. *Biology of Reproduction*. 50:965-976.
- Yellon, S.M. and Foster, D.L. 1985. Alternate photoperiods time puberty in the female lamb. *Endocrinology*. 116 (5):2090-2097.
- Zarazaga, L.A., Gatica, M.C., Celi, I., Guzmán, J.L. and Malpaux, B. 2010. Effect of artificial long days and/or melatonin treatment on the sexual activity of Mediterranean bucks. *Small Ruminant Research*. 93:110-118.