

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



El comportamiento sexual en machos caprinos fotoestimulados disminuye por la alta temperatura ambiental y la baja humedad relativa en la Comarca Lagunera de México.

Tesis

Que presenta LUIS ANTONIO SIFUENTES MELÉNDEZ
como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRO EN CIENCIAS AGRARIAS

Torreón, Coahuila

Noviembre de 2020

El comportamiento sexual en machos caprinos fotoestimulados
disminuye por la alta temperatura ambiental y la baja humedad
relativa en la Comarca Lagunera de México

Tesis

Elaborada por LUIS ANTONIO SIFUENTES MELÉNDEZ como requisito parcial
para obtener el grado de Maestro en Ciencias Agrarias con la supervisión y
aprobación del comité de asesoría



Dra. Ilda Graciela Fernández García
Asesor Principal



Dr. Jesús Vielma Sifuentes
Asesor



Dr. José Alfredo Flores Cabrera
Asesor

MARIA JESUS PALOMO PEIRO - DNI 43424052Y
Firmado digitalmente por MARIA JESUS PALOMO PEIRO - DNI 43424052Y
Fecha: 2020.10.29 17:43:49 +01'00'

Dra. María Jesús Palomo Peiró
Asesor



Dra. Leticia Romana Gaytán Alemán
Jefe del Departamento de Postgrado



Dr. Marcelino Cabrera De la Fuente
Subdirector de Postgrado

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, Sr. Miguel Sifuentes Cabrera, Sra. Sofía Meléndez Ahumada, Miguel y Sofía Sifuentes Meléndez por brindarme los recursos incondicionales y haberme apoyado en esta etapa de estudio.

A mi *Alma Mater*, por ser la institución que me brindó la oportunidad de seguir estudiando y prepararme como alumno de posgrado.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada para la realización de mis estudios de Maestría en Ciencias.

A la Dra. Ilda Graciela Fernández García, por darme la oportunidad de realizar una Maestría en Ciencias con la finalidad de seguir avanzando para ser investigador.

A la Dra. María Jesús Palomo Peiró, por permitirme hacer una estancia de investigación y mostrarme nuevas culturas.

Al Dr. Raúl Ulloa Arvizu, por ayudarme con los análisis estadísticos del trabajo de investigación.

Al Dr. Gerardo Duarte Moreno, por ayudarme a la realización en la cirugía en las cabras experimentales.

A todos los Doctores del Centro de Investigación en Reproducción Caprina, Dr. Gonzalo Fitz Rodríguez, Dr. Jesús Vielma Sifuentes, Dr. José Alfredo Flores Cabrera, Dr. Horacio Hernández Hernández, y Dr. José Alberto Delgadillo Sánchez, por haberme brindado su apoyo, conocimiento y sobre todo su amistad y confianza.

A la M.C. Dora María Cortinas Reyes, al M.C Andrés Sánchez Hernández y Donald Sánchez Mendoza, por su amistad, apoyo y consejos durante mis estudios de Maestría en Ciencias.

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico principalmente a **mi familia**, por apoyarme en todo momento, por ser parte de mi vida, por alentarme a cumplir mis sueños, mis metas y sobre todo por estar siempre unidos. Espero poder compensar todo su apoyo y amor incondicional, así como, poder estar juntos por muchísimos años más.

A los alumnos egresados y por egresar del **Centro de Investigación en Reproducción Caprina de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**, como forma de motivar a superarse y cumplir con lo que se ha iniciado en este mundo que es la investigación científica.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIA	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
LISTA DE FIGURAS	v
I. RESUMEN	vii
ABSTRACT	ix
II. INTRODUCCIÓN	1
III. REVISIÓN DE LITERATURA	3
3.1 Estacionalidad reproductiva en machos ovinos y caprinos	3
3.2 El fotoperiodo es la señal ambiental que modula la estacionalidad reproductiva	4
3.3 Regulación neuroendocrina de la estacionalidad reproductiva	5
3.4 Comportamiento sexual del macho en diferentes especies de mamíferos.....	8
3.4.1 Equino (<i>Equus ferus caballus</i>)	8
3.4.2 Cerdo (<i>Sus scrofa domestica</i>).....	9
3.4.3 Bovino (<i>Bos primigenius taurus</i>).....	11
3.4.4 Ovino (<i>Ovis orientalis aries</i>).....	11
3.4.5 Caprino (<i>Capra aegagrus hircus</i>)	12
3.4.6 Actividad sexual de carneros y machos cabríos durante las 24 h/día.....	13
3.5 Alternativas para inducir la actividad sexual en el macho cabrío durante el reposo sexual natural	15
3.5.1 Tratamiento fotoperiódico artificial.....	15
3.5.2 Relaciones socio-sexuales	16
3.6 Descriptores ambientales que modifican el comportamiento sexual en los animales: estrés calórico.....	17
IV. OBJETIVO	20
V. HIPÓTESIS	20
VI. MATERIALES Y MÉTODOS	21
6.1 Localización del estudio	21
6.2 Animales experimentales	22
6.2.1 Hembras	22

6.2.2	Machos.....	22
6.3	Tratamiento fotoperiódico aplicado a los machos.....	22
6.4	Variables evaluadas.....	23
6.4.1	Concentración plasmática de testosterona	23
6.4.2	Comportamiento sexual de los machos cabríos	23
6.4.3	Temperatura corporal	24
6.4.4	Temperatura ambiente y humedad relativa	24
6.5	Nota ética.....	24
6.6	Análisis estadísticos.....	25
VII.	RESULTADOS	26
7.1	Concentraciones plasmáticas de testosterona.....	26
7.2	Comportamiento sexual en los machos.....	27
7.3	Temperatura corporal de los machos	29
7.4	Temperatura ambiente y humedad relativa	29
VIII.	DISCUSIÓN	31
IX.	CONCLUSIÓN	34
X.	BIBLIOGRAFÍA	35

LISTA DE FIGURAS

		Página
Figura 1	Síntesis bioquímica de la melatonina. NE : norepinefrina, receptores adrenérgicos $\alpha 1$ y $\beta 1$, PKC : proteína kinasa C, Ca : calcio, AC : AMP cíclico, PKA : Proteína kinasa A, 5HTP : 5-hidroxitriptófano, 5HT : Serotonina, NAS : N-acetil serotonina, TPOH : triptófano hidroxilasa, AAAD : aminoácido aromático descarboxilasa, AA-NAT : aril alquilamina N-acetiltransferasa, HIOMT : hidroxilindol-O-metiltransferasa (Modificado de Hazlerigg y Simonneaux, 2015).	5
Figura 2	Representación esquemática del control neuroendocrino de la actividad reproductiva estacional. LCR : líquido cefalorraquídeo, ARQ : área retroquiasmática, APOV : área preóptico ventral, GnRH : hormona liberadora de gonadotropinas, LH : hormona luteinizante, FSH : hormona folículo estimulante, E2 : estradiol, GABA : Ácido gama-amino butírico, FB :- feedback negativo (Modificado de Chemineau <i>et al.</i> , 2010).	7
Figura 3	Conductas desplegadas por el caballo en la fase pre-copulatoria y durante la cópula (Modificado de McDonell, 1986).	9
Figura 4	Conductas desplegadas por los cerdos en la fase pre-copulatoria y la cópula (Modificado de Houpt, 2018).	10
Figura 5	Conductas desplegadas por el macho cabrío durante el cortejo y cópula (Modificado de Fabre-Nys, 2000; Hart y Jones, 1975).	13
Figura 6	Tratamiento fotoperiódico de 16 horas de luz, 6 horas de luz artificial y 10 h de luz natural, aplicado a machos cabríos en las instalaciones del Centro de Investigación de Reproducción Caprina de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en Torreón, Coahuila., México.	16
Figura 7	Mapa satelital de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Torreón, Coahuila.	21
Figura 8	Concentraciones plasmáticas de testosterona (media \pm eem) en machos cabríos con experiencia sexual fotoestimulados. Las flechas indican cuándo inició la exposición semanalmente de los machos a hembras ovariectomizadas durante marzo y abril. Los machos fueron sometidos a un tratamiento de días largos con luz artificial (16 h de luz y 8 h de oscuridad) del primero de noviembre al 15 de enero. Posteriormente, los machos recibieron el fotoperíodo natural. Se tomaron muestras de sangre semanalmente de 18 de enero al 31 de mayo. *P = 0.088, **P < 0.0001; Prueba secuencial de Bonferroni,	26

Figura 9	contraste simple, categoría de referencia 18 de enero. Comportamiento sexual de machos fotoestimulados durante el día y semanalmente durante marzo y abril. Los machos fueron sometidos a un tratamiento de días largos con luz artificial (16 h de luz y 8 h de oscuridad) del 1 de noviembre al 15 de enero. Posteriormente, los machos recibieron el fotoperíodo natural. **P < 0.0001; Prueba secuencial de Bonferroni, contraste simple, categoría de referencia a las 08:00 h del 1 de marzo.	28
Figura 10	Variaciones de la temperatura corporal de machos fotoestimulados (°C arriba), temperatura ambiente (°C medio) y humedad relativa (% abajo) a lo largo del día y semanalmente durante marzo y abril. Los machos fueron sometidos a un tratamiento de días largos con luz artificial (16 h de luz y 8 h de oscuridad) del 1 de noviembre al 15 de enero. Posteriormente, los machos recibieron el fotoperíodo natural. *P = 0.046, **P < 0.0001; Prueba secuencial de Bonferroni, contraste simple, categoría de referencia a las 08:00 h del 1 de marzo.	30

I. RESUMEN

El comportamiento sexual en machos caprinos fotoestimulados disminuye por la alta temperatura ambiental y la baja humedad relativa en la Comarca Lagunera de México. Por Luis Antonio Sifuentes Meléndez para obtener el grado de Maestro en ciencias agrarias. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Directora de tesis, Ilda Graciela Fernández García. Los objetivos del presente estudio fueron determinar si la frecuencia del comportamiento sexual de los machos cabríos fotoestimulados varía durante 24 h/día y, si la temperatura ambiente y la humedad relativa afectan su expresión. Seis machos cabríos de aproximadamente 3 años de edad fueron sometidos a un tratamiento de días largos artificiales (16 h luz y 8 h de oscuridad por día durante 2.5 meses). Posteriormente, durante el periodo de reposo sexual (marzo-abril) los machos cabríos fueron expuestos a hembras ovariectomizadas una vez por semana. En los machos, el comportamiento sexual se registró durante 15 min a intervalos de 2 h durante 24 h del día. La temperatura ambiente, la humedad relativa y la temperatura corporal se registraron en cada medición del comportamiento sexual. La concentración de testosterona plasmática, el comportamiento sexual, la temperatura ambiente, la humedad relativa y la temperatura corporal se analizaron mediante procedimientos de estimación de ecuaciones generalizadas. La testosterona plasmática difirió significativamente durante el estudio ($P < 0.0001$). Las aproximaciones y los olfateos ano-genital se expresaron con más frecuencia de las 08:00 h a 12:00 h ($P < 0.0001$). La frecuencia del flehmen y el desenvaine de pene fueron altamente variables durante las pruebas de comportamiento sexual ($P < 0.0001$). La temperatura ambiente más alta se registró de las 14:00 h a las 18:00 h, mientras que la humedad relativa más baja fue durante las mismas horas ($P < 0.0001$). La temperatura corporal más alta se registró a las 18:00 h, mientras que la más baja fue a las 06:00 h ($P < 0.0001$). En conclusión, los machos cabríos fotoestimulados mostraron variación en el comportamiento sexual durante las 24 h/día expuestos a cabras ovariectomizadas y estas actividades sexuales

fueron afectadas negativamente por la alta temperatura ambiente y la baja humedad relativa durante todo el estudio.

Palabras clave: Caprinos, estacionalidad, fotoperiodo, comportamiento sexual, descriptores ambientales

ABSTRACT

Sexual behavior in photo-stimulated male goats decreases due to high environmental temperature and low relative humidity in the Comarca Lagunera of Mexico. By Luis Antonio Sifuentes Meléndez to obtain the degree of Maestro en Ciencias Agrarias. Universidad Autonoma Agraria Antonio Narro. Thesis director, Ilda Graciela Fernández García. The objectives of this study were to determine, i) whether the frequency of sexual behavior of photo-stimulated males varies through 24 h/day and, ii) whether the ambient temperature and the relative humidity affect their expression. Six bucks of approximately 3 years old were submitted to a photoperiod treatment of artificial long days (16 h light and 8 h darkness per day for 2.5 months). Thereafter, males were exposed to ovariectomized females once a week during non-breeding period (March and April) and their sexual behavior was recorded for 15 min at 2 h intervals along 24 h/day. The ambient temperature, relative humidity and body temperature was recorded in each behavioral measurement. Plasma testosterone concentration, sexual behavior, ambient temperature, relative humidity and body temperature were analyzed using a generalized equation estimation procedure. Plasma testosterone concentrations differ significantly over the experimental period ($P < 0.0001$). Nudging and anogenital sniffing were expressed with highest frequency from 08:00-12:00 h ($P < 0.0001$). The frequency of flehmen and penis unsheathed were highly variable during the behavioral measurement ($P < 0.0001$). The highest ambient temperature was recorded from 14:00 to 18:00, while the lowest relative humidity was recorded at the same hours ($P < 0.0001$). The highest body temperature was at 18:00 h and the lowest was at 06:00 h ($P < 0.0001$). In conclusion, photo-stimulated male goats showed variation of sexual behavior through 24 h/day exposed to ovariectomized females, and these sexual activities were negatively affected by the high ambient temperature and the low relative humidity throughout the study.

Key words: Goats, photo-stimulated males, seasonality, sexual behavior, environmental descriptors.

II. INTRODUCCIÓN

La domesticación de los mamíferos fue en la edad neolítica hace aproximadamente 14,000 años (Dimon *et al.*, 2002). Los caprinos son descendientes de la cabra Bezoar (*Capra aegagrus*) (Mannen *et al.*, 2001; Pidancier *et al.*, 2006). Posteriormente a la edad neolítica en Asia, se difundió en Europa (Fernández *et al.*, 2006).

A través del tiempo, los caprinos han poblado principalmente regiones agrestes, como son las zonas áridas y semiáridas. Estas zonas se caracterizan por presentar bajo nivel vegetativo, permitiendo que estos animales desarrollen un alto nivel de adaptación y selectividad alimenticia. Esta especie es capaz de producir leche y carne para consumo humano recibiendo bajo consumo de alimentación (Ducoing, 1985).

En México, la producción de caprinos se asocia principalmente a estratos de población rural con bajos ingresos económicos, donde el 80% de los sistemas de producción son de subsistencia. En este país casi 1.5 millones de personas dependen de la producción caprina (SIAP, 2019).

La Comarca Lagunera en el norte de México (26°N) cuenta con una población de 393,035 cabezas de caprinos (SIAP, 2019). Los caprinos de esta región presentan una marcada estacionalidad reproductiva. En esta región los machos cabríos presentan un periodo de actividad sexual que ocurre de mayo a diciembre y otro periodo de reposo sexual que se observa de enero a abril. El fotoperiodo es el principal factor del medio ambiente que modula dicha actividad sexual (Delgadillo *et al.*, 1999, 2004). Sin embargo, existen otros factores que modifican la actividad sexual en el macho cabrío, entre ellos, se mencionan las relaciones socio-sexuales y algunos factores ambientales como la temperatura ambiente y la humedad relativa (Flores *et al.*, 2000; Delgadillo *et al.*, 2002; Alam *et al.*, 2011).

En el contexto de los machos fotoestimulados expuestos a hembras anéstricas durante marzo y abril, estudios previos reportan el comportamiento sexual en

dichos machos de 08:00 a 09:00 y de 18:00 a 19:00 h durante los primeros tres o cuatro días de exposición a las hembras (Bedos *et al.*, 2014; Muñoz *et al.*, 2016; Fernández *et al.*, 2018). Actualmente no está reportado en la literatura científica la frecuencia del comportamiento sexual de los machos fotoestimulados durante las 24 h/día en el periodo de reposo sexual natural.

Por otro lado, está demostrado que el cambio climático afecta a aquellas especies que presentan un patrón de reproducción estacional como son los ovinos y los caprinos (Bronson, 2009; IPCC, 2018). De hecho, los pequeños rumiantes son susceptibles a las altas temperaturas ambientales mismas que causan un efecto negativo en la producción, reproducción y bienestar animal (Marai *et al.*, 2008; Salama *et al.*, 2013). Por ello, el presente estudio se llevó a cabo para investigar si la frecuencia del comportamiento sexual de los machos fotoestimulados varía durante 24 h/día y, si la temperatura ambiente y la humedad relativa afectan su expresión.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Estacionalidad reproductiva en machos ovinos y caprinos

En los pequeños rumiantes como los ovinos y los caprinos, en condiciones subtropicales (23° a 40°) el comportamiento reproductivo ocurre en una época determinada del año, hecho que se conoce como estacionalidad reproductiva. En los mamíferos, la estacionalidad reproductiva se considera como una estrategia de adaptación con la finalidad de que sus crías nazcan en una época del año que les sea favorable para su supervivencia (Bronson, 1985, 2009).

Los cambios observados en los machos cabríos a nivel endocrino, gonadal, espermático y conductual han permitido diferenciar la época de mayor actividad sexual del reposo sexual (Delgadillo, 2011). Por ejemplo, en la región de Huelva, España, localizada a una latitud 37 °N, los machos cabríos de la raza Payoya muestran una estacionalidad reproductiva con mayor actividad sexual entre verano-otoño que en invierno-primavera. El efecto de la estacionalidad se observó en el peso testicular, el cual fue más alto al finalizar el verano y principios de otoño, mientras que el más bajo se registró al finalizar el invierno. También, la concentración media de testosterona plasmática mostró un patrón estacional donde los niveles más altos fueron (> 5 ng/ml) durante los meses de verano-otoño mientras que los niveles más bajos fueron en los meses de invierno-primavera (< 5 ng/ml) (Zarazaga *et al.*, 2009).

En otro estudio llevado a cabo en el subtrópico mexicano (latitud 26 °N), donde el objetivo fue evaluar el patrón estacional en la actividad sexual del macho cabrío. Los resultados mostraron que el peso testicular se incrementó durante los meses de mayo-noviembre siendo este el periodo de mayor actividad sexual y disminuyó en los meses de enero-abril en el periodo de reposo sexual. Asimismo, se demostró una mayor producción espermática durante la estación de mayor actividad sexual que en el reposo sexual. Los niveles de testosterona plasmática se incrementaron en los meses de mayo-diciembre (> 5 ng/ml), mientras que, en los meses de enero-abril la concentración plasmática de testosterona disminuyó (< 5 ng/ml) (Delgadillo *et al.*, 1999; Delgadillo, 2011).

3.2 El fotoperiodo es la señal ambiental que modula la estacionalidad reproductiva

En los pequeños rumiantes, el fotoperiodo es el principal factor medio ambiental que modula la estacionalidad reproductiva (Martin *et al.*, 1999; Delgadillo *et al.*, 2004). En las regiones subtropicales la refractariedad a los días largos y días cortos regula la transición entre la estación reproductiva y el reposo sexual, estos cambios ocurren a nivel neuroendocrino en el ritmo circanual (Delgadillo *et al.*, 2011).

Estudios previos muestran que la información fotoperiódica (luz/oscuridad) es captada por las células de la retina para convertirlo en un impulso nervioso, posteriormente es transmitida de la retina al núcleo supraquiasmático (NSQ), esta señal viaja al núcleo paraventricular (NPV). El NPV actúa como mediador entre el NSQ y la glándula pineal, ejerciendo una estimulación tónica durante las horas de oscuridad la cual es inhibida cuando aumenta la luz por medio de la liberación del ácido gama-amino butírico (GABA) secretado por el NSQ. Al disminuir el GABA durante la oscuridad las células intermedio lateral de los tres segmentos superiores de la médula espinal perciben esta disminución del GABA y envían una señal al ganglio cervical superior (GCS) y finalmente se libera norepinefrina (NE) que llega a la glándula pineal a los receptores adrenérgicos $\alpha 1$ y $\beta 1$ en la glándula pineal (Karsh *et al.*, 1984; Revel *et al.*, 2009; Hazlerigg y Simonneaux, 2015).

Una vez que la NE llega a los receptores adrenérgicos $\alpha 1$ y $\beta 1$, induce el incremento del AMPc y Ca^{+2} dentro de los pinealocitos, estos a su vez estimulan la proteína kinasa A (PKA) siendo un evento celular que conduce a la síntesis de melatonina. La síntesis de melatonina es iniciada a partir del aminoácido triptófano el cual es metabolizado en 5-hidroxitriptófano (5HTP) por medio de la enzima triptófano hidroxilasa (TPOH) para ser convertido en serotonina (5HT) con el aminoácido aromático descarboxilasa (AAAD), posteriormente la 5HT es acetilado por la aril alquilamina N-acetiltransferasa (AA-NAT) en N-acetil serotonina (NAS) y finalmente el NAS es convertido en 5-

metoxi-N-acetilriptamina (melatonina) por hidroxilindol-O-metiltransferasa (HIOMT) (Hazlerigg y Simonneaux, 2015; Figura 1).

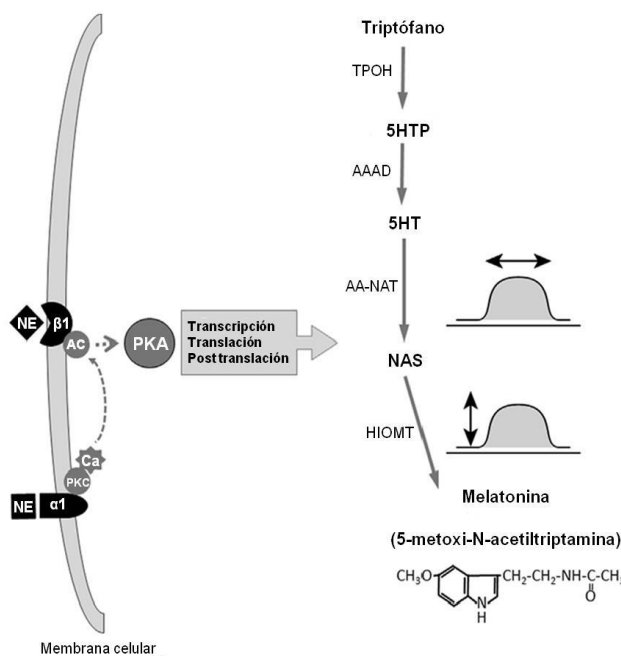


Figura 1. Síntesis bioquímica de la melatonina. **NE:** norepinefrina, receptores adrenérgicos α_1 y β_1 , **PKC:** proteína quinasa C, **Ca:** calcio, **AC:** AMP cíclico, **PKA:** Proteína quinasa A, **5HTP:** 5-hidroxitriptófano, **5HT:** Serotonina, **NAS:** N-acetil serotonina, **TPOH:** triptófano hidroxilasa, **AAAD:** aminoácido aromático descarboxilasa, **AA-NAT:** aril alquilamina N-acetiltransferasa, **HIOMT:** hidroxilindol-O-metiltransferasa (Modificado de Hazlerigg y Simonneaux, 2015).

3.3 Regulación neuroendocrina de la estacionalidad reproductiva

Como se mencionó anteriormente, el fotoperiodo regula la estacionalidad reproductiva mediante la participación de la glándula pineal que se localiza adyacente al tercer ventrículo en el piso del diencefalo por medio de la secreción de melatonina (Malpoux *et al.*, 2001). Estas variaciones fotoperiódicas sensibilizan al eje hipotálamo-hipófisis-gónadas induciendo un mecanismo de retroalimentación negativa, modulando así los procesos neuroendocrinos durante la actividad reproductiva y reposo sexual en ovinos y caprinos (Pelletier y Ortavant, 1975; Delgadillo *et al.*, 2004).

Cuando la melatonina es secretada durante la noche o en la oscuridad, ésta es vertida directamente sobre el tercer ventrículo cerebral alcanzando un nivel medio de 1497 ± 216 pg/ml en el líquido cefalorraquídeo de este mismo ventrículo y una vez que se incrementa la cantidad de luz percibida por el animal se deja de secretar la melatonina dando una concentración media de 71 ± 8 pg/ml en el tercer ventrículo cerebral. En este mismo estudio se observaron los niveles de melatonina en plasma sanguíneo registrando un valor de 117 ± 15 pg/ml durante la oscuridad y un valor de 8 ± 2 pg/ml durante la luz (Skinner y Malpaux, 1999).

Los mecanismos neuroendocrinos desencadenados por acción de la melatonina sobre la actividad reproductiva se han demostrado por la aplicación de microimplantes en la región pre-mamilar en el hipotálamo, área donde se han encontrado receptores afines a la melatonina (MT1), esta hormona es conducida por medio del líquido cefalorraquídeo para llegar a la región pre-mamilar, generándose de esta manera una cascada de reacciones que controlan la secreción de la hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH) (Malpaux *et al.*, 1988; Migaud *et al.*, 2005).

La regulación pulsátil de la GnRH está mediada por un grupo de neuronas denominadas Kiss1, en estas neuronas la melatonina actúa de dos maneras: 1) directamente en la secreción de kisspeptinas en el núcleo arcuato, y 2) sensibilizando los receptores en el área retroquiasmática y área preóptica ventral a la retroalimentación negativa de las hormonas esteroides (Revel *et al.*, 2007; Figura 2).

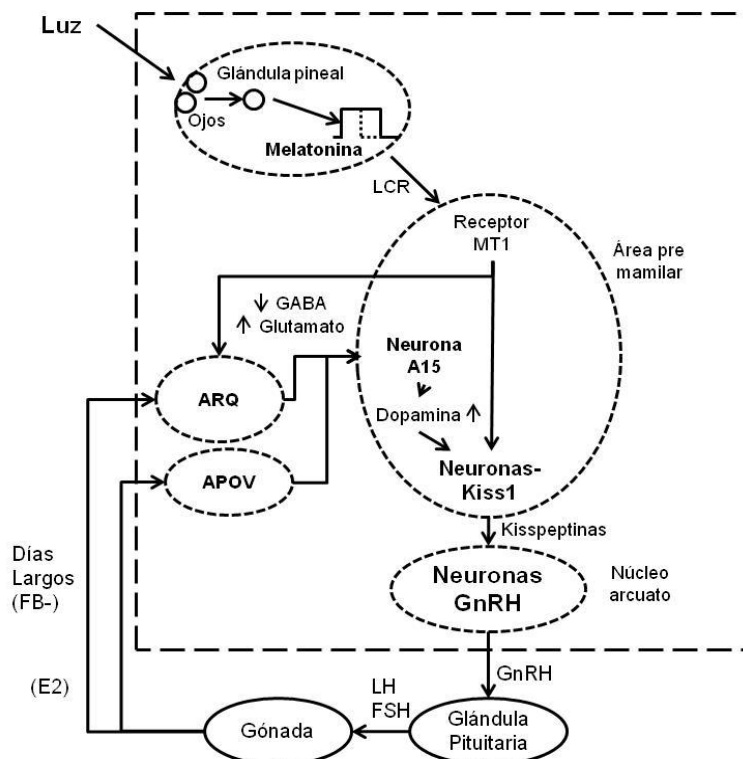


Figura 2. Representación esquemática del control neuro endocrino de la actividad reproductiva estacional. **LCR:** líquido cefalorraquídeo, **ARQ:** área retroquiasmática, **APOV:** área preóptica ventral, **GnRH:** hormona liberadora de gonadotropinas, **LH:** hormona luteinizante, **FSH:** hormona folículo estimulante, **E2:** estradiol, **GABA:** Ácido gama-amino butírico, **FB-:** feedback negativo (Modificado de Chemineau *et al.*, 2010).

En ovejas durante el anestro estacional el área retroquiasmática (ARQ) y el Área preóptica ventral (APOV) activan a los receptores α del estradiol ($RE\alpha$), al unirse el estradiol a estos receptores, las neuronas secretan glutamato y disminuyen la secreción del ácido gama-amino butírico (GABA), estos neurotransmisores actúan sobre las neuronas dopaminérgicas del grupo A15, regulando así la secreción de dopamina (DA), la DA actúa en las neuronas Kiss1 inhibiendo la secreción de kisspeptinas actuando directamente en el núcleo arcuato, y así disminuir la frecuencia pulsátil de la GnRH (Goodman *et al.*, 2010).

3.4 Comportamiento sexual del macho en diferentes especies de mamíferos

En los animales domésticos, el bajo nivel de actividad sexual siempre ha sido uno de los problemas principales en producción animal. Por ello, en esta actividad el objetivo principal es lograr que los machos o las hembras exhiban el mejor desempeño en su actividad sexual, el cual es el elemento clave para mejorar los parámetros reproductivos (Katz *et al.*, 2008).

En el macho de las diferentes especies domésticas, el comportamiento sexual comprende tres fases: la pre-copulatoria, la cópula, y la post-copulatoria (Price *et al.*, 1985; Senger, 2012). En la fase pre-copulatoria, el macho busca e identifica a la hembra en estro (receptiva), además el macho realiza conductas de olfateos ano-genital y flehmen, posteriormente el macho incrementa su libido y comienza a cortejar a la hembra aumentando la frecuencia en las aproximaciones, cuando la hembra permanece inmóvil, el macho inicia el desvainado del pene. En la fase de la cópula, el macho monta a la hembra, la penetra y eyacula. Una vez finalizada la cópula, el macho desmonta y, por último, sucede la fase post-copulatoria donde ocurre un periodo refractario y el macho espera nuevamente para realizar otra monta (Price *et al.*, 1985; Senger, 2012).

3.4.1 Equino (*Equus ferus caballus*)

El equino es especie estacional regulada por los días largos. Los caballos durante la primavera incrementan la libido, la testosterona, la actividad espermática y el volumen del eyaculado (Harris *et al.*, 1983; Magistrini *et al.*, 1987). El caballo al estar en contacto con un grupo de yeguas forma un harem, este tipo de socialización permite que los caballos incrementen el nivel de testosterona en comparación cuando se encuentran solos o separados del harem (McDonnell, 1995).

En los caballos durante el cortejo o fase pre-copulatoria inician la conducta de frotar el lomo de la yegua en dirección a la región perianal, esta interacción es

esencial para verificar que la yegua se encuentre en estro, una vez que el caballo olfatea la región perianal realiza una respuesta de flehmen. A medida que comprueba el estado de receptividad de la yegua el caballo emite vocalizaciones, mostrando un incremento en la libido realizando el desenvaine del pene, posteriormente realiza varios intentos para montar a la yegua antes de poder penetrarla y eyacular. Durante la cópula el caballo apoya su esternón sobre la grupa de la yegua y así poder penetrarla, alrededor de 15 segundos después de haber penetrado a la yegua, ocurre la eyaculación. El caballo al desmontarse realiza un olfateo en la región perianal de la yegua, seguido de la respuesta de flehmen como comprobación de que la yegua ha sido servida (McDonell, 1986, 1992, 2000; Figura 3).

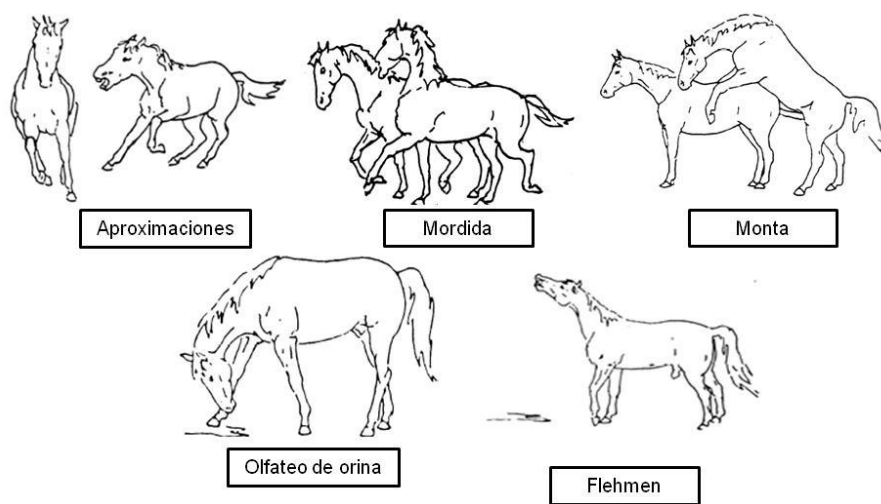


Figura 3. Conductas desplegadas por el caballo en la fase pre-copulatoria y durante la cópula (Modificado de McDonell, 1986).

3.4.2 Cerdo (*Sus scrofa domestica*)

El cerdo en la fase pre-copulatoria intenta comprobar si la cerda está receptiva, mediante conductas de olfateos naso-nasal realiza un reconocimiento en la cerda, posteriormente realiza olfateos en sus flancos hasta llegar al olfateo ano-genital en este punto puede llegar a levantar los cuartos traseros de la cerda. Una vez que el cerdo realizó el desenvaine de pene realiza intentos de montas

hasta llegar a montar a la cerda, penetrarla y eyacular finalmente (Houpt, 2018; Figura 4).

El cerdo muestra dos características particulares para llevar a cabo la cópula con la hembra, entre ellas, se menciona: la libido y las relaciones sociales con otros verracos (Chenoweth, 1981; Hemsworth y Tilbrook, 2007). Por ejemplo, los cerdos que son criados individualmente a partir de edad temprana muestran menos conductas sexuales como olfateos naso-nasal comparados con los cerdos que son criados en grupo social (Hemsworth y Beilharz, 1979). También, el contacto entre el cerdo y la cerda es esencial para incrementar la libido en el verraco. Por ejemplo, en un estudio se formaron tres grupos de cerdos adultos, el primer grupo fue alojado cerca a hembras no receptivas, el siguiente fue alojado cerca de hembras receptivas y el último se alojó sin contacto con hembras. Los resultados indicaron que los machos alojados en cercanía de cerdas no receptivas y receptivas mostraron mayor comportamiento sexual, esto es, mostraron mayor frecuencia de olfateos ano-genital, montas, contacto naso-nasal y vocalizaciones comparado con los cerdos que estuvieron aislados de cerdas (Hemsworth *et al.*, 1981). Estos estudios muestran que el cerdo muestra mayor comportamiento sexual cuando está en proximidad con la hembra.

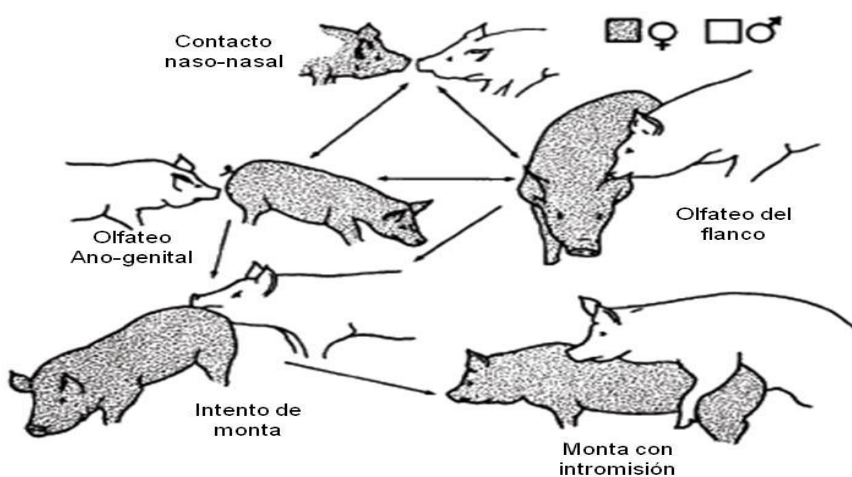


Figura 4. Conductas desplegadas por los cerdos en la fase pre-copulatoria y la cópula (Modificado de Houpt, 2018).

3.4.3 Bovino (*Bos primigenius taurus*)

El toro, al inicio de la fase pre-copulatoria identifica si la vaca está próxima a presentar estro mediante las feromonas detectadas en la orina. Por lo que, el olfato y el flehmen juegan un papel importante para diferenciar entre una vaca que está en estro y una que no se encuentra en estro (Haupt *et al.*, 1989; Hall, 1989). Posterior a esta identificación, el toro persigue a la vaca y muestra desenvaine de pene. Al mismo tiempo el toro comienza a realizar aproximaciones al flanco de la vaca para comprobar la receptividad, una vez que la vaca permanece inmóvil el toro se posiciona para realizar la monta y la penetración, la eyaculación ocurre segundos después de la penetración (Haupt, 2018). En los toros se ha observado que, en ausencia del contacto directo con la vaca, la vista juega un papel importante, es decir, el toro incrementa la libido al observar cómo un grupo de vacas se montan entre ellas (Geary y Reeves, 1992).

3.4.4 Ovino (*Ovis orientalis aries*)

El carnero muestra la conducta de flehmen para diferenciar a las ovejas que se encuentran en estro de aquellas que no lo están, al utilizar el flehmen las feromonas ingresan a través del órgano vomeronasal y ésta es la señal que le indica al carnero si la oveja es receptiva o no (Blissit *et al.*, 1990). De hecho, el carnero sexualmente inactivo no realiza la misma frecuencia de investigaciones comparada a cuando se encuentra sexualmente activo (Mirto *et al.*, 2017). Una vez comprobada la receptividad de la oveja, el carnero realiza las conductas de cortejo, iniciando con las aproximaciones esperando que la oveja no huya de él, y una vez que la oveja permanece inmóvil, inicia los intentos de monta, hasta que logra montarla y penetrarla, al igual que en otras especies domésticas, la eyaculación ocurre en segundos (Haupt, 2018). En los carneros las conductas sexuales como los olfateo ano-genital, aproximaciones, desenvaine de pene, montas y flehmen son desplegadas con mayor frecuencia durante la mañana, mientras que las vocalizaciones son mayormente expresadas por las tardes (Santos *et al.*, 2015).

3.4.5 Caprino (*Capra aegagrus hircus*)

Los machos cabríos muestran conductas sexuales como aproximaciones, olfateos ano-genital, flehmen, desenvaine de pene, auto-marcaje, intento de monta y monta con intromisión, con mayor frecuencia en una determinada época del año, como se menciono anteriormente. Por ejemplo, antes de llevar a cabo la cópula el macho cabrío se acerca a la cabra para realizar un olfateo en la región perianal, olfateando las secreciones vaginales y si la cabra llega a orinar, también olfatea la orina, con la finalidad de determinar las feromonas indicativas de estro, ello mediante la elevación de la cabeza y del labio superior, a esta conducta se le denomina flehmen el cual tiene una duración de 2 a 30 segundos (Fabre-Nys, 2000). También el macho realiza flehmen después de hacer un auto-marcaje, es decir cuando se orina así mismo la cara, barba, pecho y extremidades delanteras. Este auto-marcaje tiene la finalidad de incrementar el olor del mismo macho para atraer a la cabra. Asimismo, el auto-marcaje sirve para transmitir el olor a la hembra al momento de montarla y hacer que otros machos la perciban menos atractiva o para evitar que otros machos copulen con ella (Price *et al.*, 1986). La conducta sexual de aproximación, el macho cabrío al encontrarse con la hembra realiza una patada delantera mediante la cual el macho bloquea las extremidades delanteras de la hembra. Si la hembra no huye el macho puede realizar un giro de su cabeza acompañado de un empujón y un movimiento de la lengua que se realiza simultáneamente, este movimiento de la lengua se acompaña de un sonido gutural. El macho cabrío repite esta conducta hasta montar a la hembra (Longpre *et al.*, 2011). Antes de montar a la hembra el macho realiza un desenvaine del pene el cual está relacionado con la libido durante el cortejo (Ungerfeld *et al.*, 2014).

Después de realizar el cortejo el macho cabrío inicia la fase copulatoria donde una vez que la hembra permanece inmóvil, el macho realiza intentos de monta a la hembra hasta conseguir la intromisión y eyaculación. La eyaculación sigue después de la primera intromisión siendo de aproximadamente de 1-3 segundos y se acompaña de un movimiento de la cabeza hacia atrás con un empuje

pélvico denominado golpe de riñón (Fabre-Nys, 2000; Figura 5). En el mismo contexto, está demostrado una relación positiva entre la concentración plasmática de testosterona y la expresión de las conductas sexuales de los machos cabríos (Delgadillo *et al.*, 2002).

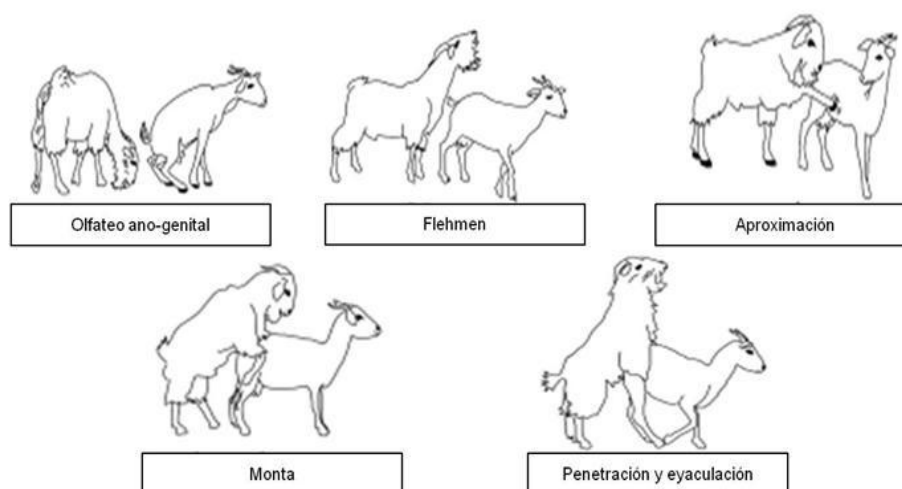


Figura 5. Conductas desplegadas por el macho cabrío durante el cortejo y cópula (Modificado de Hart y Jones, 1975; Fabre-Nys, 2000).

3.4.6 Actividad sexual de carneros y machos cabríos durante las 24 h/día

En un estudio donde el objetivo fue medir el comportamiento sexual y su relación con la radiación solar, se expusieron carneros de la raza Santa Cruz y Suffolk a ovejas anéstricas ubicados a una latitud media (19 °N) durante días largos; en dicho estudio se observó que las conductas sexuales como olfateos ano-genital y vocalizaciones fueron desplegadas con mayor frecuencia en los carneros de la raza Santa Cruz que en los de la raza Suffolk, mientras que las aproximaciones y flehmen no difirieron entre ambas razas. También se observó que el comportamiento sexual en los carneros Suffolk varió durante el transcurso día, observándose mayor comportamiento sexual a las 8:00 h, incrementándose nuevamente a las 17:00 h dicho patrón de respuesta sexual

está correlacionado negativamente con la radiación solar (Clemente *et al.*, 2013).

En un estudio realizado en carneros de la raza Morada Nova en una región semi-árida de Brasil llevado durante la época de sequía y en la temporada de lluvia con la finalidad de medir el comportamiento sexual durante el día en dichos animales, estableciendo los siguientes horarios: de las 05:01 a las 11:00 h, de las 11:01 a las 17:00 h, de las 17:01 h a las 23:00 h y de las 23:01 a las 05:00 h. En este estudio se registraron las variables climatológicas cada 2 h durante 24 h/día. Además se observó que los carneros realizaron mayor frecuencia de olfateos ano-genital durante la temporada seca en comparación con la temporada de lluvia, también se observó que los olfateos ano-genital y flehmen se presentaron con mayor frecuencia en la mañana. En el mismo sentido las aproximaciones se expresaron con mayor frecuencia en mañana durante la temporada de lluvia y en la tarde durante la temporada de sequía. En cuanto a las vocalizaciones se emitieron durante la tarde independientemente de la temporada de lluvia o sequía. En cambio, el desenvaine del pene se observó en las dos temporadas, expresándose más durante la mañana. Asimismo, las montas con intromisión tuvieron un patrón diurno en ambas temporadas. Este estudio muestra que el comportamiento sexual en los carneros de raza Morada Nova se expresa con mayor frecuencia durante el día (Santos *et al.*, 2015).

En el norte de México (25 °N), con una temperatura media anual de 5 °C a 29 °C se llevó a cabo un estudio donde utilizaron machos cabríos bajo el sistema extensivo de pastoreo comúnmente los animales pastorean de 10:00 a 18:00 h, se observó que los machos muestran mayor actividad sexual de las 08:00 a las 12:00 h, aunque dicho estudio se realizó en los días fríos del año cuando la temperatura ambiental registrada fue de 10-20°C (Mellado *et al.*, 2000).

3.5 Alternativas para inducir la actividad sexual en el macho cabrío durante el reposo sexual natural

3.5.1 Tratamiento fotoperiódico artificial

El tratamiento fotoperiódico artificial es una alternativa para modificar la estacionalidad reproductiva en el macho cabrío, permitiendo que los pequeños rumiantes se reproduzcan en una época del año en la que no sucede naturalmente (Delgadillo *et al.*, 2002; Chemineau *et al.*, 2008). Además, esta alternativa es considerada una forma limpia y ética en el manejo reproductivo de los animales en el sentido que se elimina el uso de hormonas exógenas para la inducción de la actividad sexual en el macho a contra-estación (Delgadillo y Martin, 2015).

El tratamiento fotoperiódico artificial consiste que los machos cabríos reciban 16 horas de luz y 8 horas de oscuridad por día durante 2.5 meses, iniciando el 1 de noviembre y finalizando el 15 de enero. De las 16 horas de luz que reciben los machos por día, 6 horas corresponden a la luz artificial (06:00 a 08:00 y de 18:00 a 22:00). El intervalo entre las 08:00 y 18:00 corresponde a la luz natural (10 horas) (Delgadillo *et al.*, 2002; Figura 6).

Estos machos incrementan el comportamiento sexual, además aumenta la testosterona plasmática, la cantidad y calidad del semen, el olor y la circunferencia escrotal en los meses de marzo y abril, estos dos meses son parte del periodo de reposo sexual natural (Delgadillo *et al.*, 2002; Rivas-Muñoz *et al.*, 2007).

En un estudio realizado por Ponce *et al.* (2014), investigaron la concentración de testosterona plasmática en machos sometidos a un tratamiento fotoperiódico por 75, 45, 30 y 15 días, los resultados indicaron que la concentración de testosterona plasmática fue mayor en los tratamientos de 75 y 45 días (> 5 ng/ml), mientras que en los tratamientos de 30 y 15 los niveles de testosterona fueron bajos o a nivel basal (< 5 ng/ml). Estos estudios muestran que los

machos fotoestimulados incrementaron la testosterona plasmática durante el reposo sexual natural.



Figura 6. Tratamiento fotoperiódico de 16 horas de luz, 6 horas de luz artificial y 10 h de luz natural, aplicado a machos cabríos en las instalaciones del Centro de Investigación de Reproducción Caprina de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en Torreón, Coahuila., México.

3.5.2 Relaciones socio-sexuales

La introducción de un macho cabrío sexualmente activo a un grupo de cabras en anestro estacional induce y sincroniza la actividad sexual en dichas hembras, hecho conocido como efecto macho (Delgadillo et al., 2002). Por ejemplo, Flores *et al.* (2000), realizaron un estudio donde se determinó la eficiencia de los machos cabríos fotoestimulados y de los machos cabríos sexualmente inactivos para inducir la actividad sexual en cabras anéstricas. Los resultados indicaron que los machos fotoestimulados sexualmente activos mostraron mayor frecuencia de olfateos ano-genital, aproximaciones, intentos de montas y montas. Mientras que los machos cabríos sexualmente inactivos no mostraron nivel alto de comportamiento sexual. Por lo que, los machos inactivos no estimularon la actividad sexual en las cabras anéstricas, mientras que los machos sexualmente activos estimularon el comportamiento sexual y la actividad ovárica en cabras anéstricas en los primeros 11 días.

En el mismo sentido, el efecto macho también se ha realizado bajo condiciones intensivas y extensiva de pastoreo, demostrando que los machos cabríos foto-estimulados son capaces de inducir la actividad sexual en las hembras durante la estación no reproductiva, independientemente del sistema de explotación en el que se encuentren estos animales (Rivas-Muñoz *et al.*, 2007).

3.6 Descriptores ambientales que modifican el comportamiento sexual en los animales: estrés calórico

Los caprinos son animales homeotérmicos, ya que son capaces de mantener un equilibrio entre el calor generado por su metabolismo y el calor ambiental, ello para evitar la hiper e hipotermia (Lu, 1989). Además, estos animales tienen la capacidad de soportar una restricción de agua hasta > 30 días, con una interrupción mínima en la composición de electrolitos, en los metabolitos plasmáticos, en su termorregulación y en su bienestar en general. Esta homeostasis en los fluidos y energía corporal, así como, en su termorregulación se debe a un proceso de adaptación previo a la escasez de agua, así como, por el estrés calórico activando así una respuesta fisiológica y conductual de ahorro de agua debido al aumento en la concentración de sodio y en la hormona antidiurética (Kaliber *et al.*, 2016).

En producción animal la zona termo-neutral o zona de confort es el rango de temperatura ambiental en el cual el animal realiza el menor esfuerzo para regular su temperatura corporal, esto es, el animal no está en estrés calórico. La zona termo-neutral es aquella donde el animal se siente más cómodo, en estas condiciones la tasa de crecimiento es más rápida y el animal logra mejor relación de la ingesta alimenticia con la ganancia de peso, la cual es más eficiente. Aunque la temperatura ambiente es muy variable, ésta depende de factores como la especie animal que la recibe, la humedad relativa, la velocidad del viento, la intensidad de rayos solares, la época del año, la edad del animal, la adaptación del animal, la grasa corporal o el aislamiento mediante el pelo y el nivel de producción, entre otros (Kerr, 2015).

En caprinos el estrés calórico ocurre cuando estos animales se exponen a temperaturas ambientales superiores de las que se registran en la zona termo-neutral, esa alta temperatura es el resultado del incremento en la producción de calor debido al incremento en la temperatura corporal (Yousef, 1985). Asimismo, el estrés calórico es el resultado de fuerzas ambientales continuas, actuando sobre el animal y en consecuencia se altera la homeostasis. Por lo tanto, en los caprinos el estrés calórico se define como la interrupción en la homeostasis debido a las altas temperaturas ambientales comparadas con las que se registran en la zona termo-neutral, esta alteración es perjudicial para el animal (Stott, 1981).

Por ejemplo, en la parte central de Arizona en Estados Unidos de Norteamérica, se realizó un estudio donde recabaron datos sobre la temperatura ambiental a diferentes horas del día, se consideró que < 21 °C como clima frío, de 21.1 a 27 °C como clima cálido y >27.1 °C fue considerado como clima caliente. En dicho estudio observaron que las horas más calurosas fueron entre 14:00 y las 18:00 h. Además, se observó que la temperatura ambiental disminuyó durante la noche por debajo de los 21°C durante 3 a 6 h, en ese tiempo las vacas fueron capaces de disipar la carga térmica ganada durante el día (Igono *et al.*, 1992).

De hecho, una de las habilidades que presentan los ungulados es la termorregulación como medio de adaptación a las altas temperaturas ambientales. Estos animales poseen termo receptores periféricos que envían una señal al sistema nervioso central el cual activa la región pre-óptica del hipotálamo para activar los mecanismos fisiológicos como son el aumento de la frecuencia respiratoria, la vasodilatación y el aumento en la frecuencia cardíaca con la finalidad de disipar el calor (Baker, 1989).

Estudios previos indican que los caprinos muestran tolerancia al calor cuando se encuentran en temperaturas ambientales entre 20 a 35 °C, y cuando se encuentran a temperaturas iguales o mayores a los 40 °C comienzan a mostrar formas de regular el calor (Appleman y Delouche, 1958; Lu, 1989). Cuando los caprinos se encuentran a temperaturas mayores a los 40 °C muestran algunos comportamientos como: disminución del consumo de alimento, incremento del

consumo de agua, además disminuye el comportamiento agresivo con sus compañeros del grupo. En cambio, cuando los caprinos se encuentran a temperaturas inferiores a los 20°C, el consumo de alimento se incrementa, disminuye el consumo de agua y aumenta la agresión entre estos animales (Appleman y Delouche, 1958; Alam *et al.*, 2011). También en carneros se ha observado que la temperatura rectal es más baja cuando se registra temperatura ambiente de 27, 32 y 38°C que cuando se registra una temperatura ambiental de 43 °C (Lindsay, 1969).

En caprinos y ovinos, estudios previos indican que las altas temperaturas en combinación con alta humedad relativa provocan estrés calórico el cual provoca que disminuya el comportamiento sexual, la calidad del semen y la calidad del ovocito (Lindsay, 1969; Al-Tamimi, 2007; Marai *et al.*, 2008; Salama *et al.*, 2013). Por ejemplo, en carneros de la raza Suffolk el comportamiento sexual presenta una correlación inversa en relación con el nivel de la radiación solar, esto es, a las 08:00 h durante los primeros 15 minutos de contacto de los carneros con las hembras se observa un nivel más alto de comportamiento sexual que en relación al resto del día. En dicho estudio también se observó que los carneros vuelven a incrementar el nivel del comportamiento sexual a las 17:00 h (Clemente *et al.*, 2013).

Por lo antes expuesto, los pequeños rumiantes, en particular los machos cabríos que están controlados por el fotoperiodo son susceptibles al cambio climático, y factores como la alta temperatura ambiental y la humedad relativa, influyen en la expresión del comportamiento sexual.

IV. OBJETIVO

Determinar las variaciones del comportamiento sexual de los machos cabríos fotoestimulados durante las 24 h del día y, si la temperatura ambiente y la humedad relativa afectan su expresión.

V. HIPÓTESIS

El comportamiento sexual de los machos cabríos fotoestimulados presenta variaciones durante las 24 h del día y, la temperatura ambiente y la humedad relativa afectan dicha actividad sexual.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Localización del estudio

El estudio se realizó en las instalaciones del Centro de Investigación en Reproducción Caprina (CIRCA) de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (Figura 7) en Torreón, Coahuila de Zaragoza, México ($25^{\circ} 23'N$, $104^{\circ} 47'O$, 1200 msnm).

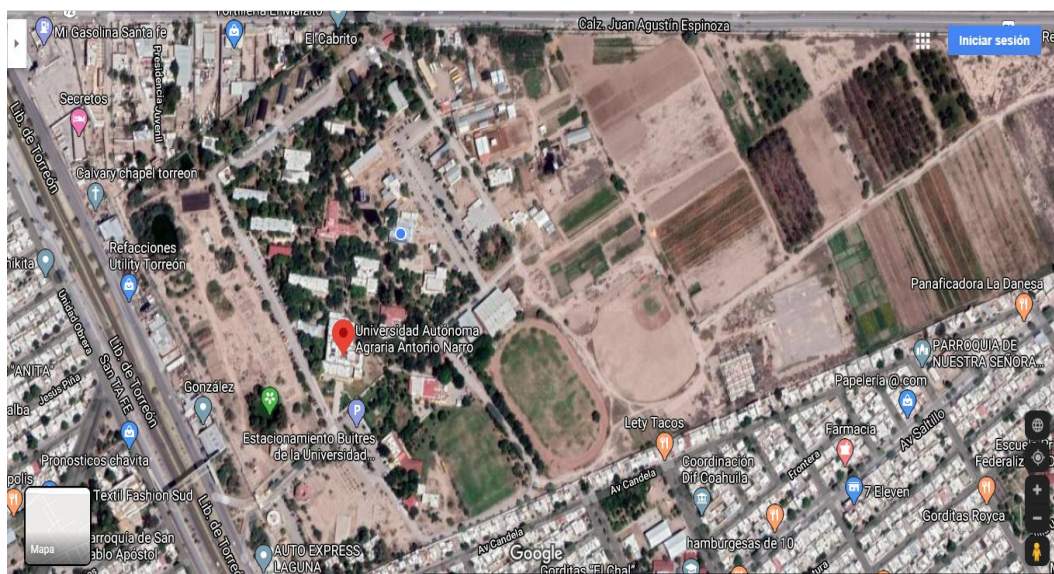


Figura 7. Mapa satelital de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en Torreón, Coahuila., México.

En Torreón, Coahuila, el clima se clasifica como $Bs_0 wh$, el clima es semiárido el cual se caracteriza por tener un clima extremo. Los datos muestran que la temperatura máxima extrema (a la sombra) durante la primavera es $44.8^{\circ}C$ y la temperatura mínima extrema (a la sombra) durante el invierno es $-1.0^{\circ}C$ (CONAGUA, 2013). En esta región los machos cabríos criollos muestran reposo sexual de enero a mayo (Delgadillo *et al.*, 1999).

6.2 Animales experimentales

6.2.1 Hembras

Se utilizaron hembras multíparas ovariectomizadas ($n = 8$) de 3.5 años de edad. Al inicio del experimento las hembras registraron un peso corporal y condición corporal de 34.7 ± 3.01 kg y 2.08 ± 0.08 (\pm eem), respectivamente. Las cabras fueron alimentadas con heno de alfalfa *ad libitum* (21% proteína cruda, 2.0 Mcal/kg de EM), cada hembra recibió 200 g de concentrado comercial por día (12% proteína cruda, 1.95 Mcal/kg de EM).

6.2.2 Machos

Se utilizaron machos cabríos ($n = 6$) adultos de 3 años de edad con experiencia sexual. Al inicio del experimento los machos cabríos registraron un peso corporal de 67.7 ± 3.01 kg y condición corporal de 2.8 ± 0.10 . Los machos fueron alimentados con heno de alfalfa *ad libitum* (21% proteína cruda, 2.2 Mcal/kg de EM), cada macho recibió 300 g de concentrado comercial por día (14% proteína cruda, 2.2 Mcal/kg de EM). Los machos y las hembras recibieron agua y las sales minerales (12% fósforo y 11% de calcio) los cuales fueron suministrados *ad libitum*. Está bien determinado el comportamiento sexual de los machos durante el reposo sexual natural, por ello en el presente estudio no se incluyó un grupo control sin recibir tratamiento fotoperiódico artificial debido a que estos animales no despliegan comportamiento sexual (Delgadillo *et al.*, 2002; Muñoz *et al.*, 2016).

6.3 Tratamiento fotoperiódico aplicado a los machos

Los machos cabríos fueron sometidos a un tratamiento fotoperiódico de días largos artificiales con la finalidad de inducir el incremento en la secreción de testosterona, comportamiento sexual, olor, vocalizaciones y producción espermática durante el reposo sexual natural (marzo-abril; Delgadillo *et al.*, 2002). Durante el tratamiento fotoperiódico se utilizaron lámparas de 65 W con una intensidad de al menos 300 lx al nivel de los ojos de los machos cabríos. El

tratamiento fotoperiódico fue aplicado durante 2.5 meses, el cual consistió de 16 horas de luz y 8 horas de oscuridad por día, mismo que inició el 1 de noviembre y finalizó el 15 de enero. A partir del 16 de enero, los machos percibieron el fotoperíodo natural.

6.4 Variables evaluadas

6.4.1 Concentración plasmática de testosterona

En todo el estudio se obtuvieron muestreos sanguíneos mediante veno-punción en la vena yugular para determinar la concentración plasmática de testosterona. Cada muestra fue puesta en un tubo de 5 ml conteniendo 30 μ l de heparina sódica como anticoagulante. El muestreo sanguíneo se realizó a las 08:00 h cada viernes a partir del 18 de enero cuando el tratamiento fotoperiódico terminó hasta el 31 de mayo cuando el experimento finalizó. Posteriormente, las muestras sanguíneas fueron centrifugadas a 3500 \times g durante 30 min y el plasma sanguíneo se almacenó en tubos de 1.5 ml conservándose a -15 °C hasta que se llevó a cabo la determinación hormonal. La concentración de testosterona fue determinada mediante un ensayo inmunoabsorbente ligado a enzimas (ELISA, EIA-1559, DRG International, Inc., USA) de acuerdo a la técnica descrita y validada para caprinos por Gholib *et al.* (2016). La sensibilidad de la prueba fue 0.30 ng/ml. Las muestras se procesaron en un solo ensayo, el coeficiente variación intra-ensayo fue de 2.82%.

6.4.2 Comportamiento sexual de los machos cabríos

El comportamiento sexual de los machos fue registrado semanalmente, cada viernes de marzo y abril durante 15 min a intervalos de 2 h durante las 24 h del día, iniciando el viernes a las 08:00 h y finalizando el sábado a las 06:00 h. En cada prueba de comportamiento los machos cabríos fueron expuestos individualmente a 4 hembras ovariectomizadas. El corral se dividió mediante una separación sólida donde cada macho estuvo bajo observación durante la medición del comportamiento sexual con el grupo de hembras para evitar interacciones como olfateos, el contacto visual y táctil con el otro macho. Los

corrales (4 x 5 m) donde se llevó a cabo la prueba de comportamiento fueron ubicados al menos a 100 m de distancia del corral donde se alojaban los machos. Las hembras fueron intercambiadas cada 2 h. Cada macho fue observado individualmente registrando las conductas sexuales como: olfateos ano-genital, aproximaciones, flehmen (Fernández *et al.*, 2018) y desenvaine de pene (Ungerfeld *et al.*, 2014). Durante la noche en cada medición del comportamiento sexual no se utilizó luz artificial para iluminar el área de los corrales donde se encontraban los animales experimentales. Personal experimentado y capacitado registró el comportamiento sexual de los machos, la temperatura ambiente, la humedad relativa y la temperatura corporal, para este fin se utilizaron linternas de mano para no molestar a los animales en cada medición del comportamiento sexual.

6.4.3 Temperatura corporal

La temperatura corporal (°C) se midió por vía rectal y fue registrada al finalizar cada prueba de comportamiento sexual en cada uno de los machos, para este fin se utilizó un termómetro digital (Neutek ®).

6.4.4 Temperatura ambiente y humedad relativa

La temperatura ambiente se registró en °C y la humedad relativa en porcentaje. Cada registro se llevó a cabo al iniciar cada prueba de comportamiento sexual en cada uno de los machos. Para realizar este fin se utilizó un termohigrómetro digital (Steren ®).

6.5 Nota ética

Todos los procedimientos realizados en este estudio se realizaron de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999 de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA, 2001), que provee especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de animales de laboratorio.

6.6 Análisis estadísticos

La concentración plasmática de testosterona , los olfateos ano-genital, las aproximaciones, el flehmen, el desenvaine del pene, la temperatura ambiente, la humedad relativa y la temperatura corporal se analizaron mediante las Ecuaciones de Estimación Generalizadas (EEG) mediante las rutinas implementadas en el procedimiento de Modelos Lineales Generalizados del SPSS versión 20.0 (IBM SPSS, 2011). El modelo incluyó el efecto del sujeto (machos), dentro del sujeto (hora y día) y su interacción. La cuasi-verosimilitud según el criterio del modelo de independencia (QIC) y la cuasi-verosimilitud corregida según el criterio del modelo de independencia (QICC) se utilizaron para determinar el mejor modelo, así como, la probabilidad de distribución y la matriz de correlación para dependencias intra-sujeto. El método de parámetro de estimación fue Fisher's Scoring y la estimación con la escala de máxima probabilidad, además, se obtuvo el intervalo de confianza de Wald al 95% para obtener las medias marginales estimadas. Se utilizó un contraste simple para comparar las medias estimadas utilizando una secuencial como referencia el nivel del primer valor del día (08:00), para ello se utilizó la prueba de Bonferroni. Los datos son expresados como las Medias Marginales Estimadas y el error estándar de la media (media \pm eem) y las diferencias se consideraron significativas cuando $P < 0.05$.

VII. RESULTADOS

7.1 Concentraciones plasmáticas de testosterona

Las concentraciones plasmáticas de testosterona difirieron significativamente a través del tiempo ($P < 0.0001$; Figura 8). Se observó un incremento (≥ 13 ng/ml) significativo en las concentraciones de testosterona a partir de la semana 4 de febrero, es decir, seis semanas después de que terminó el tratamiento fotoperiódico. Este incremento se mantuvo por siete semanas hasta la semana 4 de abril (≥ 5 ng/ml). Posteriormente, las concentraciones de testosterona disminuyeron en el mes de mayo (cuando el estudio finalizó) hasta ser similares a los observados en enero (cuando inició el muestreo de testosterona; Figura 8).

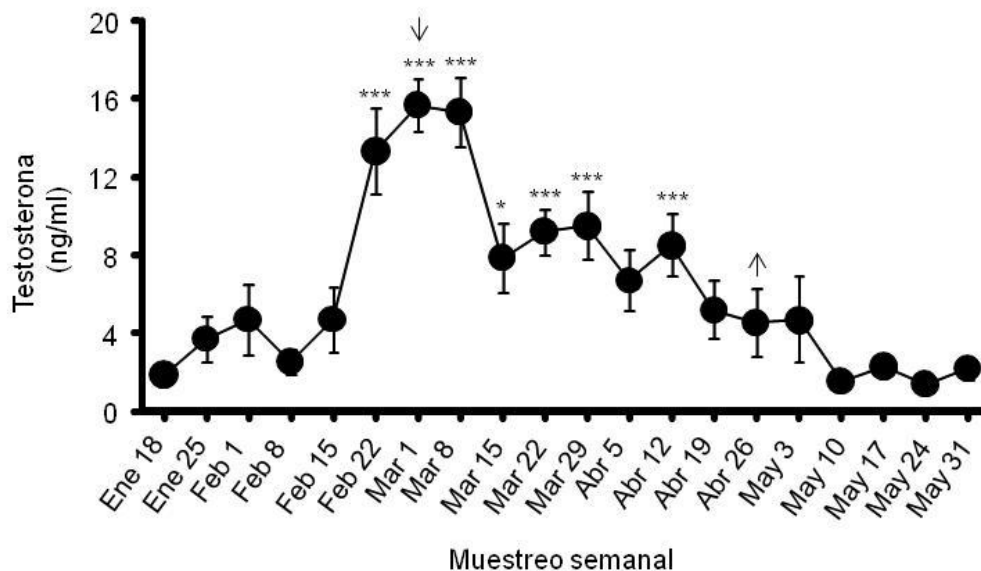


Figura 8. Concentraciones plasmáticas de testosterona (media \pm eem) en machos cabríos con experiencia sexual fotoestimulados. Las flechas indican cuándo inició la exposición semanalmente de los machos a hembras ovariectomizadas durante marzo y abril. Los machos fueron sometidos a un tratamiento de días largos con luz artificial (16 h de luz y 8 h de oscuridad) del primero de noviembre al 15 de enero. Posteriormente, los machos recibieron el fotoperíodo natural. Se tomaron muestras de sangre semanalmente de 18 de enero al 31 de mayo. * $P = 0.088$, ** $P < 0.0001$; Prueba secuencial de Bonferroni, contraste simple, categoría de referencia 18 de enero.

7.2 Comportamiento sexual en los machos

La interacción hora de medición \times semana difirió significativamente para las aproximaciones, olfateos ano-genital, flehmen y desenvaine de pene ($P < 0.0001$, en cada variable). La frecuencia de las aproximaciones varió durante el día siendo expresada con mayor frecuencia entre las 08:00 y las 12:00 h, difiriendo significativamente con las registradas de las 20:00 a las 06:00 h ($P < 0.0001$). Asimismo, las frecuencias de aproximaciones se incrementaron a través del tiempo, registrando el valor más bajo al inicio de la prueba llegando al valor más alto el 19 de abril ($P < 0.0001$; Figura 9 A). Los resultados muestran que los olfateos ano-genital se expresaron con mayor frecuencia a las 08:00 y 10:00 h, pero disminuyeron por el resto del día, del medio día hasta las 06:00 h del siguiente día ($P = 0.008$). El análisis detectó que la frecuencia de los olfateos ano-genital disminuyó a través del tiempo ($P < 0.021$; Figura 9 B).

La conducta del flehmen no difirió durante el día ($P > 0.24$), aunque no se observó a las 20:00 h ($P < 0.0001$). Sin embargo, cuando esta conducta fue analizada cada semana los resultados mostraron una tendencia a incrementar su frecuencia a través del tiempo ($P < 0.002$; Figura 9 C), aunque el 1 y 15 de marzo no se observó ($P = 0.814$; Figura 9 C).

Los resultados muestran que la frecuencia del desenvaine del pene fue variable durante el día y fue significativamente más bajo a las 20:00 y 02:00 h ($P < 0.037$). Además, durante el periodo de medición los resultados mostraron una tendencia a incrementarse a través del tiempo ($P = 0.013$; Figura 9 D). En el presente estudio el desenvaine del pene fue desplegado por los machos al menos durante 14 seg.

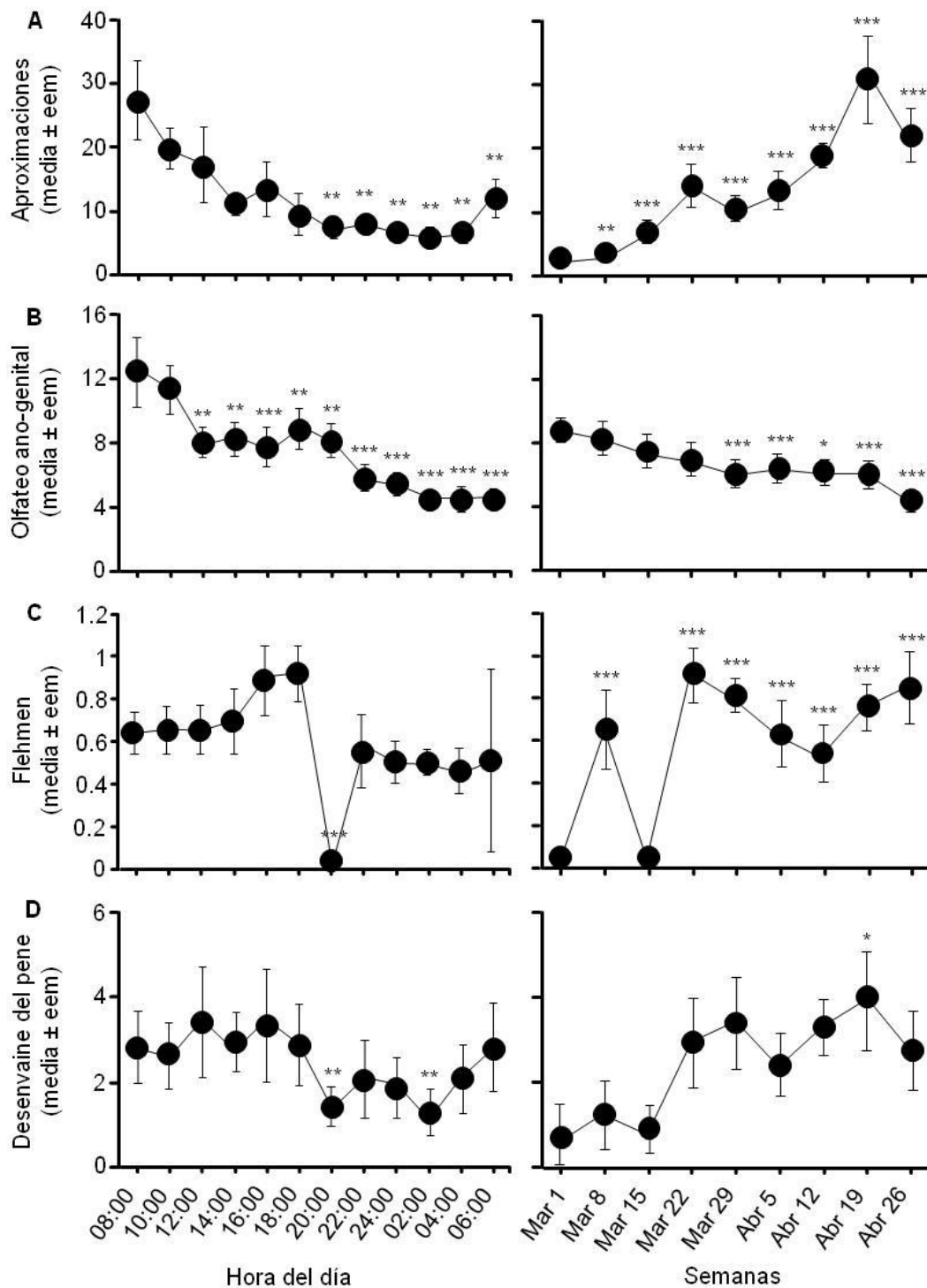


Figura 9. Comportamiento sexual de machos fotoestimulados durante el día y semanalmente durante marzo y abril. Los machos fueron sometidos a un tratamiento de días largos con luz artificial (16 h de luz y 8 h de oscuridad) del 1 de noviembre al 15 de enero. Posteriormente, los machos recibieron el fotoperíodo natural. ** $P < 0.0001$; Prueba secuencial de Bonferroni, contraste simple, categoría de referencia a las 08:00 h del 1 de marzo.

7.3 Temperatura corporal de los machos

La temperatura corporal difirió significativamente en cada hora y cada semana de medición ($P < 0.0001$). Cuando se analizó la temperatura corporal por día, la temperatura corporal más alta registrada fue de 38.9 ± 0.09 °C registrada a las 18:00 h, mientras que la más baja de 37.9 ± 0.07 °C registrada a las 06:00 h ($P < 0.0001$; Figura 10 arriba). Mientras que cuando la temperatura corporal se analizó cada semana, la medición inicial (1 de marzo) registró el valor más alto a las 08:00 h con 38.9 ± 0.07 °C, con respecto a los valores tomados a la misma hora las siguientes 4 semanas de marzo y las 4 semanas de abril ($P < 0.0001$; Figura 10 arriba).

7.4 Temperatura ambiente y humedad relativa

Los valores mínimos y máximos de temperatura ambiente fueron 13.8 °C y 32.1 °C, respectivamente; mientras que para la humedad relativa los porcentajes fueron de 12.2 y 36.9, respectivamente. Las correlaciones de Rho Spearman (R_s) revelaron asociaciones significativas entre la temperatura ambiente, la humedad relativa y la temperatura corporal. Los resultados indicaron que cuando se registró la temperatura ambiente más alta se observó la humedad relativa más baja ($R_s = -0.078$; $P < 0.0001$) y, en consecuencia, la temperatura corporal incrementó ($R_s = 0.47$; $P < 0.0001$), mientras que cuando la humedad relativa fue más alta la temperatura corporal disminuyó ($R_s = -0.27$; $P < 0.0001$).

El efecto de la hora y semana de medición y su interacción difirió significativamente para la temperatura ambiente, la humedad relativa y la temperatura corporal ($P < 0.0001$). Los valores más altos para temperatura ambiente se registraron de las 14:00 a 18:00 h ($P < 0.0001$; Figura 10 medio), mientras que el valor más bajo fue a las 06:00 h ($P < 0.0001$). Cuando esta variable se analizó semanalmente el valor más bajo se registró el 15 de marzo ($P < 0.0001$), mientras que el valor más alto fue el 26 de abril ($P < 0.0001$; Figura 10 medio).

Para los porcentajes de humedad relativa, los valores más bajos se registraron de las 14:00 a las 18:00 h ($P < 0.0001$; Figura 10 abajo). Cuando esta variable se analizó semanalmente, los valores más altos y más bajos se registraron el 15 de marzo y el 12 de abril, respectivamente ($P < 0.0001$; Figura 10 abajo).

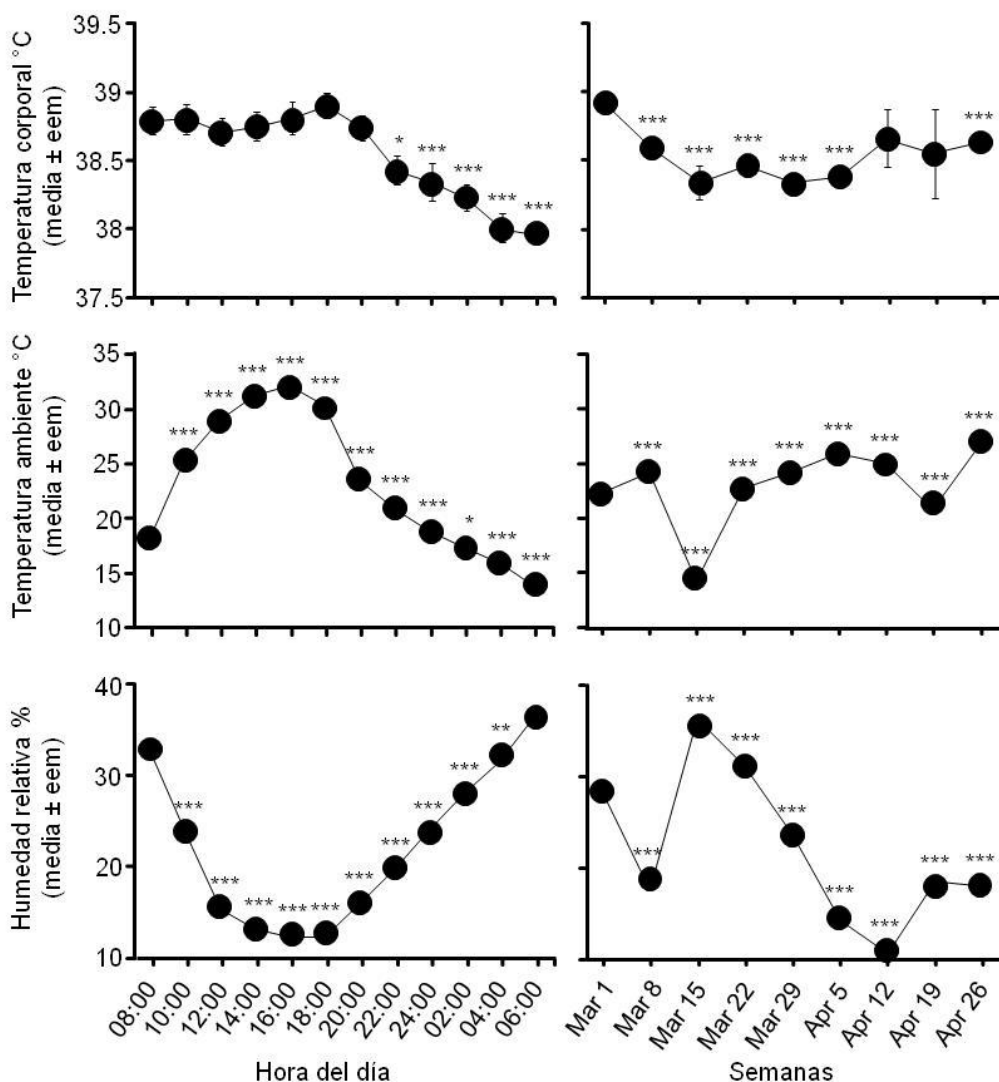


Figura 10. Variaciones de la temperatura corporal de machos fotoestimulados (°C arriba), temperatura ambiente (°C medio) y humedad relativa (% abajo) a lo largo del día y semanalmente durante marzo y abril. Los machos fueron sometidos a un tratamiento de días largos con luz artificial (16 h de luz y 8 h de oscuridad) del 1 de noviembre al 15 de enero. Posteriormente, los machos recibieron el fotoperíodo natural. * $P = 0.046$, ** $P < 0.0001$; Prueba secuencial de Bonferroni, contraste simple, categoría de referencia a las 08:00 h del 1 de marzo.

VIII. DISCUSIÓN

Los resultados del presente estudio indican que los machos fotoestimulados incrementaron la secreción de testosterona durante el reposo sexual natural, mostrando alta variabilidad en la frecuencia del comportamiento sexual durante 24 h/día cuando los machos fueron expuestos a las hembras ovariectomizadas, así como, durante todo el estudio. De hecho, el comportamiento sexual de los machos fue influenciado por la temperatura ambiente y la humedad relativa. Por lo tanto, los actuales resultados están en concordancia con la hipótesis declarada anteriormente. Los presentes resultados confirman que la fotoestimulación en los machos expuestos a hembras ovariectomizadas incrementaron la concentración de testosterona plasmática en marzo y abril, como lo demostró previamente Delgadillo *et al.* (2002). En cambio aquellos machos no tratados no incrementaron la testosterona plasmática durante el reposo sexual natural (Delgadillo *et al.*, 2002). Además, los machos fotoestimulados durante la misma estación reproductiva incrementaron el nivel de testosterona plasmática incluso sin la exposición a las hembras como lo reportaron Ponce *et al.* (2014).

Los resultados del presente estudio muestran que la frecuencia del comportamiento sexual, determinado por las aproximaciones y los olfateos ano-genital fueron afectadas negativamente por la alta temperatura ambiental. En el presente estudio se observó que los machos desplegaron alta frecuencia en las aproximaciones y en los olfateos ano-genital durante las mañanas (08:00 h) cuando la temperatura ambiente fue más baja (18°C). Los resultados actuales muestran concordancia con un estudio previo donde el comportamiento sexual de carneros de raza Morada Nova se expresó con más frecuencia durante las mañanas (Santos *et al.*, 2015). En el presente estudio el nivel del comportamiento sexual es similar al desplegado por machos con experiencia sexual fotoestimulados expuestos a hembras anéstricas durante el efecto macho (Bedos *et al.*, 2014; Fernández *et al.*, 2018). De hecho, las conductas sexuales como las aproximaciones y los olfateo ano-genital son componentes esenciales para inducir la actividad sexual en las hembras anéstricas (Loya-

Carrera *et al.*, 2014; Muñoz *et al.*, 2016). En el presente estudio, las conductas sexuales como el flehmen y desenvaine del pene mostraron variaciones a lo largo del día. Tal vez, los machos fotoestimulados mostraron variabilidad en la respuesta del flehmen debido a que no recibieron la señal olfativa en la orina de las hembras ovariectomizadas y así incrementar su frecuencia (Mirto *et al.*, 2017). Cabe mencionar que tal vez otro factor importante pudo haber influido en la respuesta del flehmen. De hecho, esta conducta no se observó en el 15 de marzo, el día cuando la temperatura ambiente más baja y la más alta humedad relativa que se registraron. Similarmente, los presentes resultados indican que los machos mostraron alta variabilidad en la frecuencia del desenvaine del pene durante todo el día, esta misma respuesta también fue reportado por Ungerfeld *et al.* (2014).

En el presente estudio, la temperatura corporal más alta fue $38.9 \pm 0.09^\circ \text{C}$, la cual fue registrada a las 18:00 h, cuando la temperatura ambiente también fue la más alta ($32.0 \pm 0.06^\circ \text{C}$), indicando que tanto la alta temperatura ambiente como la alta temperatura corporal afectaron negativamente la expresión del comportamiento sexual en los machos fotoestimulados. En caprinos, la temperatura corporal normal es de 38.5°C (Ayo *et al.*, 1999), por lo tanto, un incremento de 0.4°C por arriba con relación a su temperatura corporal normal afectó negativamente la expresión del comportamiento sexual en los machos fotoestimulados. Además, cuando la temperatura ambiente disminuye durante la noche, también la temperatura corporal disminuye, y la actividad sexual de los machos fotoestimulados también disminuye. Entonces, este hecho puede ser la respuesta de dos causas: en primer lugar, los caprinos como especie diurna necesitan descansar durante la noche, y en segundo lugar, estos machos necesitan disipar la carga térmica acumulada durante el día (Berihulay *et al.*, 2019).

Los descriptores medio ambientales mostraron que cuando la temperatura ambiente fue más alta, la humedad relativa fue más baja. Entonces, los actuales resultados muestran que tanto la temperatura ambiente como la humedad relativa fueron altamente variables durante el estudio en condiciones

del desierto Chihuahuense de México (CONAGUA, 2013). Finalmente, los presentes resultados muestran que la temperatura ambiente y la humedad relativa afectan aquellas especies que manifiestan un patrón estacional de reproducción, en particular, aquellos machos cabríos ubicados en latitudes subtropicales (Bronson, 2009; IPCC, 2018).

IX. CONCLUSIÓN

Los machos cabríos fotoestimulados mostraron variación en el comportamiento sexual durante las 24 h/día cuando fueron expuestos a las hembras ovariectomizadas y, estas actividades sexuales fueron afectadas negativamente por la alta temperatura ambiente y la baja humedad relativa durante el estudio.

X. BIBLIOGRAFÍA

- Al-Tamimi, H.J. 2007. Thermoregulatory response of goat kids subjected to heat stress. *Small Ruminant Research*. 71: 280-285
- Alam, M.M., Hashem, M.A., Rahman, M.M., Hossain, M.M., Haque, M.R., Sobhan, Z., Islam, M.S. 2011. Effect of heat stress on behavior, physiological and blood parameters of goat. *Progressive Agriculture*. 22: 37-45
- Appleman, R.D., Delouche, J.C. 1958. Behavioral, physiological and biochemical responses of goats to temperature, 0 to 40° C. *Journal of Animal Science*. 17: 326-335
- Ayo, J.O., Oladele, S.B., Ngam, S., Fayomi, A., Afolayan, S.B. 1999. Diurnal fluctuations in rectal temperatura of the Red Sokoto goat during the harmattan season. *Research in Veterinary Science*. 66: 7-9
- Baker, M.A. 1989. Effects of dehydration and rehydration on thermoregulatory sweating in goats. *The Journal of Physiology*. 417: 421-435
- 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 anestrous goats. *Domestic Animal Endocrinology*. 48: 93-99
- Berihulay, H., Abied, A., He, X., Jiang, L., Ma, Y. 2019. Adaptation mechanisms of small ruminants to environmental heat stress. *Animals*. 9: 75
- Blissitt, M.J., Bland, K.P., Cottrell, D.F. 1990. Olfactory and vomeronasal chemoreception and the discrimination of oestrous and non-oestrous ewe urine odours by the ram. *Applied Animal Behaviour Science*. 27: 325-335
- Bronson, F.H. 1985. Mammalian reproduction: an ecological perspective. *Biology of Reproduction*. 32: 1-26

- Bronson, F.H. 2009. Climate change and seasonal reproduction in mammals. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 364: 3331-3340
- Chemineau, P., Guillaume, D., Migaud, M., Thiéry, J.C., Pellicer-Rubio, M.T., Malpoux, B. 2008. Seasonality of reproduction in mammals: intimate regulatory mechanisms and practical implications. *Reproduction in Domestic Animals*. 43: 40-47
- Chemineau, P., Bodin, L., Migaud, M., Thiéry, J.C., Malpoux, B. 2010. Neuroendocrine and genetic control of seasonal reproduction in sheep and goats. *Reproduction in Domestic Animals*. 45: 42-49
- Chenoweth, P.J. 1981. Libido and mating behavior in bulls, boars and rams. A review. *Theriogenology*. 16: 155-177
- Clemente, N., Orihuela, A., Flores-Pérez, I., Aguirre, V., Valencia, J. 2013. Reproductive behaviour of Saint Croix and Suffolk rams at medium latitudes (19°N) during long days while being exposed to Suffolk ewes in seasonal anestrus. *Archivos de Medicina Veterinaria*. 45: 67-70
- CONAGUA. 2013. Comisión Nacional del Agua. Cuencas centrales del Norte Disponible en: <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/cuencas-centrales-del-norte>. Fecha de acceso 9 marzo de 2020.
- 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., Flores, J.A., Véliz, F.G., Hernández, H.F., Duarte, G., Vielma, J., Poindron, P., Chemineau, P., 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., Cortez, M.E., Duarte, G., Chemineau, P., Malpoux, B. 2004. Evidence that the photoperiod controls the annual changes in testosterone

- secretion, testicular and body weight in subtropical male goats. *Reproduction Nutrition Development*. 44: 183-193
- Delgadillo, J.A. 2011. Environmental and social cues can be used in combination to develop sustainable breeding techniques for goat reproduction in the subtropics. *Animal*. 5: 74-81
- Delgadillo, J.A., De La Torre-Villegas, S., Arellano-Solis, V., Duarte, G., Malpoux, 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., Martin, G.B. 2015. Alternative methods for control of reproduction in small ruminants: A focus on the needs of grazing industries. *Animal Frontiers*. 5: 57-65
- Dimon, J. 2002. Evolution, consequences and future of plant and animal domestication. *Nature*. 418: 700-707
- Ducoing, A.E. 1985. Unidad 5. Zootecnia de caprinos. Disponible en: http://www.fmvz.unam.mx/fmvz/p_estudios/apuntes_zoo/unidad_%205_zootecniadecaprinos.pdf. Fecha de acceso 20 diciembre de 2019.
- Fabre-Nys, C. 2000. Le comportement sexual des caprins: controle hormonal et facteurs sociaux. *Productions Animales*. 13: 11-23
- Fernández, H., Hughes, S., Vigne, J.D., Helmer, D., Hodgins, G., Miquel, C., Hänni, C., Luikart, G., Taberlet, P. 2006. Divergent mtDNA lineages of goats in an Early Neolithic site, far from the initial domestication areas. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 103: 15375-15379
- Fernández, I.G., Flores Medina, E., Flores, J.A., Hernández, H., Vielma, J., Fitz-Rodríguez, G., Duarte, G. 2018. Absence of previous sexual experience did not modify the response of anoestrous goats to photo-stimulated bucks in spring. *Italian Journal of Animal Science*. 17: 306-311
- Flores, J.A., Véliz, F.G., Pérez-Villanueva, J.A., Martínez De la Escalera, G., Chemineau, P., Poindron, P., Malpoux, B., Delgadillo, J.A. 2000. Male

reproductive condition is the limiting factor of efficiency in the male effect during seasonal anestrus in female goats. *Biology of Reproduction*. 62: 1409-1414

Geary, T.W., Reeves, J.J. 1992. Relative importance of vision and olfaction for detection of estrus by bulls. *Journal of Animal Science*. 70: 2726-2731

Gholib, G., Wahyuni, S., Kadar, O.H., Adam, M., Lubis, T.M., Azhar, A., Akmal, M., Siregar, T.N., Armansyah, T., Nugraha, T.P. 2016. Measurement of serum testosterone in kacang goat by using enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) technique: the importance of kit validation. *Jurnal Kedokteran Hewan*. 10: 32-36

Goodman, R.L., Jansen, H.T., Billings, H.J., Coolen, L.M., Lehman, M.N. 2010. Neural systems mediating seasonal breeding in the ewe. *Journal of Neuroendocrinology*. 22: 674-681

Hall, S.J. 1989. Chillingham cattle: social and maintenance behavior in an ungulate that breeds all year round. *Animal Behavior*. 38: 215-225

Harris, J.M. Irvine, C.H., Evans, M.J. 1983. Seasonal changes in serum levels of FSH, LH and testosterone and in semen parameters in stallions. *Theriogenology*. 19: 311-322

Hart, B.L., Jones, T.O.A.C. 1975. Effects of castration on sexual behavior of tropical male goats. *Hormones and Behavior*. 6: 247-258

Hazlerigg, D., Simonneaux, V. 2015. Seasonal regulation of reproduction in mammals. 4 ed. Knobil and Neill's *Physiology of Reproduction*. Pittsburgh, PA, USA. 1575-1604

Hemsworth, P.H., Beilharz, R.G. 1979. The influence of restricted physical contact with pigs during rearing on the sexual behavior of the male domestic pig. *Animal Science*. 29: 311-314

- Hemsworth, P.H., Winfield, C.G., Chamley, W.A. 1981. The influence of the presence of the female on the sexual behavior and plasma testosterone levels of the mature male pig. *Animal Science*. 32: 61-65
- Hemsworth, P.H., Tilbrook, A.J. 2007. Sexual behavior of male pigs. *Hormones and Behavior*. 52: 39-44
- Houpt, K.A. Rivera, W., Glickstein, L. 1989. The flehmen response of bulls and cows. *Theriogenology*. 32: 343-350
- Houpt, K.A. 2018. *Domestic animal behavior for veterinarians and animal scientists*. John Wiley Sons. 83-126
- IBM Corp. Released 2011. *IBM SPSS Statistics for Windows. Version 20.0*. Armonk, NY: IBM Corp
- Igono, M.O., Bjotvedt, G., Sanford-Crane, H.T. 1992. Environmental profile and critical temperature effects on milk production of Holstein cows in desert climate. *International Journal of Biometeorology*. 36: 77-87
- IPPC. 2018. Intergovernmental Panel on Climate Change Global warming of 1.5°C. Disponible en: https://report.ipcc.ch/sr15/pdf/sr15_spm_final.pdf. Fecha de acceso 10 agosto de 2020.
- Kaliber, M., Koluman, N., Silanikove, N. 2016. Physiological and behavioral basis for the successful adaptation of goats to severe water restriction under hot environmental conditions. *Animal*. 10: 82-88
- Karsh, F.J., Bittman, E.L., Foster, D.L., Goodman, R.L., Legan, S.J., Robinson, J.E. 1984. Neuroendocrine basis of seasonal reproduction. *Recent Progress in Hormone Research*. 40: 185-232
- Katz, L.S. 2008. Variation in male sexual behavior. *Animal Reproduction Science*. 105: 64-71
- Kerr, S.R., 2015. *Livestock heat stress: recognition, response, and prevention*. Disponible en:

<https://research.libraries.wsu.edu:8443/xmlui/bitstream/handle/2376/5277/FS157E.pdf?sequence=2&isAllowed=y>. Fecha de acceso 28 julio de 2020.

- Lindsay, D.R. 1969. Sexual activity and semen production of rams at high temperatures. *Reproduction*. 18: 1-8
- Longpre, K.M., Koepfinger, M.E., Katz, L.S. 2011. Female goats use courtship display as an honest indicator of male quality. *Hormones and Behavior*. 60: 505-511
- Loya-Carrera, J., Bedos, M., Ponce-Covarrubias, J.L., Hernández, H., Chemineau, P., Keller, M., Delgadillo, J.A. 2014. Switching photo-stimulated males between groups of goats does not improve the reproductive response during the male effect. *Animal Reproduction Science*. 146: 21-26
- Lu, C.D. 1989. Effects of heat stress on goat production. *Small Ruminant Research*. 2: 151-162
- Magistrini, M., Chanteloube, P.H. Palmer, E. 1987. Influence of season and frequency of ejaculation on production of stallion semen for freezing. *Journal of Reproduction and Fertility*. 35: 127-133
- Malpaux, B., Daveau, A., Maurice-Mandon, F., Duarte, G., Chemineau, P. 1988. Evidence that melatonin acts in the premammillary hypothalamic area to control reproduction in the ewe: presence of binding sites and stimulation of luteinizing hormone secretion by in situ microimplant delivery. *Endocrinology*. 139: 1508-1516
- Malpaux, B., Migaud, M., Tricoire, H., Chemineau, P. 2001. Biology of mammalian photoperiodism and the critical role of the pineal gland and melatonin. *Journal of Biological Rhythms*. 16: 336-347
- Mannen, H., Nagata, Y., Tsuji, S. 2001. Mitochondrial DNA reveal that domestic goat (*Capra hircus*) are genetically affected by two subspecies of bezoar (*Capra aegagurus*). *Biochemical Genetics*. 39: 145-154

- Marai, I.F.M., El-Darawany, A.A., Fadiel, A., Abdel-Hafez, M.A.M. 2008. Reproductive performance traits as affected by heat stress and its alleviation in sheep. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 8: 209-234
- Martin, G.B., Tjondronegoro, S., Boukhliq, R., Blackberry, M.A., Briegel, J.R., Blache, D., Fisher, J.A., 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
- McDonell, S. 1986. Reproductive behavior of stallion. *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*. 2: 535-555
- McDonell, S.M. 1992. Normal and abnormal sexual behavior. *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*. 8: 71-89
- McDonell, S.M. 1995. Stallion behavior and endocrinology: what do we really know. In *Proceedings American Association of Equine Practitioners*. 41: 18-19
- McDonell, S.M. 2000. Reproductive behavior of stallions and mares: comparison of free-running and domestic in-hand breeding. *Animal Reproduction Science*. 60: 211-219
- Mellado, M., Cárdenas, C., Ruíz, F. 2000. Mating behavior of bucks and does in goat operations under range conditions. *Applied Animal Behavior Science*. 67:89-96
- Migaud, M., Daveau, A., Malpoux, B. 2005. MTNR1A melatonin receptors in the ovine premammillary hypothalamus: day-night variation in the expression of the transcripts. *Biology of Reproduction*. 72: 393-398
- Mirto, A.J., Austin, K.J., Uthlaut, V.A., Roselli, C.E., Alexander, B.M. 2017. Fos expression in the olfactory pathway of high-and low-sexually performing rams exposed to urine from estrous or ovariectomized ewes. *Applied Animal Behavior Science*. 186: 22-28

- Muñoz, A.L., Bedos, M., Aroña, R.M., Flores, J.A., Hernández, H., Moussu, C., Briefer, E.F., Chemineau, P., Keller, M., Delgadillo, J.A., 2016. Efficiency of the male effect with photostimulated bucks does not depend on their familiarity with goats. *Physiology and Behavior*. 158: 137-142
- Pelletier, J., Ortavant, R. 1975. Photoperiodic control of LH release in the ram II. *European Journal of Endocrinology*. 78: 442-450
- Pidancier, N., Jordan, S., Luikart, G., Taberlet, P. 2006. Evolutionary history of the genus *Capra* (*Mammalia, Artiodactyla*): discordance between mitochondrial DNA and Y-chromosome phylogenies. *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 40: 739-749
- Ponce, J.L., Velázquez, H., Duarte, G., Bedos, M., Hernández, 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
- Price, E.O. 1985. Sexual behavior of large domestic farm animals: an overview. *Journal of Animal Science*. 61: 62-74
- Price, E.O., Smith, V.M., Katz, L.S. 1986. Stimulus conditions influencing self-enurination, genital grooming and flehmen in male goats. *Applied Animal Behaviour Science*. 16: 371-381
- Rivas-Muñoz, R., Fitz-Rodríguez, G., Poindron, P., Malpoux, B., Delgadillo, J.A. 2007. Stimulation of estrous behavior in grazing female goats by continuous or discontinuous exposure to males. *Journal of Animal Science*. 85: 1257-1263
- Revel, F.G., Ansel, L., Klosen, P., Saboureau, M., Pévet, P., Mikkelsen, J.D., Simonneaux, V. 2007. Kisspeptin: a key link to seasonal breeding. *Reviews in Endocrine and Metabolic Disorders*. 8: 57-65

- Revel, F.G., Masson-Pévet, M., Pévet, P., Mikkelsen, J.D., Simonneaux, V. 2009. Melatonin controls seasonal breeding by a network of hypothalamic targets. *Neuroendocrinology*. 90: 1-14
- SAGARPA. 2001. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Norma Oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999, Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio. Diario Oficial de la Federación. Agosto 22
- Salama, A.A.K., Caja, G., Hazaoui, S., Badaoui, B., Castro-Costa, A., Façanha, D.A.E., Guilhermino, M.M., Bozzi, R. 2013. Different levels of response to heat stress in dairy goats. *Small Ruminant Research*. 121: 73-79
- Santos, S.G.C.G.D., Saraiva, E.P., Pimenta Filho, E.C., Santos, L.D.F.D.D., Fonseca, V.D.F.C., Veríssimo, T.N.S., Pinheiro, A.D.C. 2015. Seasonal and circadian variation of the sexual behavior of Morada Nova rams in tropical environment. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 44: 8-14
- Senger, P.L. 2012. Pathways to pregnancy and parturition. 3rd ed. Current Conception, Redmond, OR.
- SIAP. 2019. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Población caprina en México 2010-2019. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/564339/Inventario_2019_caprino.pdf. Fecha de acceso 28 julio de 2020.
- Skinner, D.C., Malpoux, B. 1999. High melatonin concentrations in third ventricular cerebrospinal fluid are not due to Galen vein blood recirculation through the choroid plexus. *Endocrinology*. 140: 4399-4405
- Stott, G.H. 1981. What is animal stress and how is it measured? *Journal of Animal Science*. 52: 150-153
- Ungerfeld, R., Giriboni, J., Freitas-d-Melo, A., Lacuesta, L. 2014. Homosexual behavior in male goats is more frequent during breeding season and in bucks isolated from females. *Hormones and Behavior*. 65: 516-520

Yousef, M.K. 1985. Stress physiology in livestock. Basic principles, 1. Boca Raton, Florida: CRC press.

Zarazaga, L.A., Guzmán, J.L., Domínguez, C., Pérez, M.C., Prieto, R. 2009. Effects of season and feeding level on reproductive activity and semen quality in Payoya buck goats. *Theriogenology*. 71: 1316-1325