

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



EN LOS MACHOS CABRÍOS FOTOESTIMULADOS EN CONDICIONES
EXTENSIVAS NO DISMINUYE SU EFICIENCIA PARA ESTIMULAR LA
ACTIVIDAD SEXUAL DE LAS CABRAS ANOVULATORIAS

Tesis

Que presenta ERICK RAMÓN GUZMÁN LANDEROS

Como requisito parcial para obtener el Grado de

MAESTRO EN CIENCIAS AGRARIAS

Torreón, Coahuila

Diciembre 2018

EN LOS MACHOS CABRÍOS FOTOESTIMULADOS EN CONDICIONES
EXTENSIVAS NO DISMINUYE SU EFICIENCIA PARA ESTIMULAR LA
ACTIVIDAD SEXUAL DE LAS CABRAS ANOVULATORIAS

Tesis

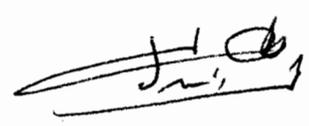
Elaborada por ERICK RAMÓN GUZMÁN LANDEROS como requisito parcial
para obtener el grado de Maestro en Ciencias Agrarias con la supervisión y
aprobación del Comité de Asesoría



Dr. José Alfredo Flores Cabrera
Asesor Principal



Dr. Horacio Hernández Hernández
Asesor



Dr. José Alberto Delgadillo Sánchez
Asesor



Dra. Leticia Romana Gaytán Alemán
Jefe del Departamento de Postgrado



Dr. Marcelino Cabrera De la Fuente
Subdirector de Postgrado

Agradecimientos

Mi principal y más grande agradecimiento es para JESUCRISTO, que me permitió llegar hasta donde no imaginé, haciendo el recuento de todo lo que pase para la realización de este trabajo de investigación solo puedo decir que sin Él no hubiera sido posible, a Él Toda la Honra y La Gloria por los Siglos de los Siglos, Amen.

Más buscad primeramente el Reino de Dios y su Justicia, y todas estas cosas os serán añadidas.
Mateo 6:33

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo brindado estos 24 meses, gracias al cual pude realizar mis labores académicas y de investigación con entusiasmo.

Al área de Investigación de mi Alma Mater, por brindarme el financiamiento requerido para la realización de este trabajo de investigación.

Al Doctor José Alfredo Flores Cabrera por el apoyo, confianza y amistad brindada todo este tiempo.

Al Doctor Horacio Hernández Hernández por la atención puesta a este trabajo de investigación, gracias por confiar en mí.

Al Doctor José Alberto Delgadillo Sánchez por su tiempo y apoyo en este trabajo de investigación.

Índice General

Lista de cuadros.....	iv
Lista de figuras	v
Resumen	vii
Abstract	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Estacionalidad de la reproducción en los caprinos.	3
2.1.1. Latitudes templadas.....	3
2.1.2. Latitudes tropicales.....	4
2.1.3. Latitudes subtropicales.....	4
2.2. Efecto del fotoperiodo en la estacionalidad reproductiva.....	5
2.3. Tratamientos fotoperiodicos utilizados para modificar la actividad sexual de ovinos y caprinos.....	6
2.3.1. Alternancia rápida de días largos y días cortos artificiales.	7
2.3.2. Días largos artificiales y melatonina.....	7
2.3.3. Días largos artificiales seguidos de días largos naturales.....	8
2.3.4. Reducción del tiempo en la aplicación de días largos artificiales.	8
2.4. Inducción de la actividad sexual de las cabras durante el periodo de anestro estacional.	9
2.5. Influencia del sistema de producción y la alimentación de los machos cabríos en su actividad reproductiva.....	10
2.5.1 . Sistemas de producción	10
2.5.1.1. Sistema intensivo	10
2.5.1.2. Sistema extensivo	10
2.5.1.3. Sistema de producción predominante en la Comarca Lagunera	11
III. OBJETIVOS	13
IV. HIPÓTESIS	13
V. MATERIALES Y METODOS.....	14
5.1. Condiciones generales del experimento.	14

5.2. Descripción de los animales del estudio	14
5.2.1. Machos y tratamientos fotoperiódicos	14
5.2.2. Hembras.	16
5.3. Variables determinadas en los machos.....	17
5.3.1. Peso corporal.....	17
5.3.2. Condición corporal.....	17
5.3.3. Circunferencia escrotal.....	17
5.3.4. Intensidad de olor.....	18
5.3.5. Comportamiento sexual.....	18
5.4. Efecto macho.	18
5.5. Variables determinadas en las hembras.....	19
5.5.1. Conducta estral.....	19
5.5.2. Latencia al estro.....	19
5.5.3. Duración del estro.....	19
5.5.4. Duración del ciclo estral.....	20
5.5.5. Actividad ovulatoria.....	20
5.5.6. Tasa ovulatoria.....	20
5.5.7. Tasa de gestación.....	20
5.6. Análisis estadísticos.....	21
VI. RESULTADOS	22
6.1. Machos.....	22
6.1.1. Peso corporal.....	22
6.1.2. Condición Corporal.....	23
6.1.3. Circunferencia Escrotal.....	24
6.1.4. Intensidad del olor.....	25
6.1.5. Comportamiento Sexual.....	26
6.2. Hembras.....	27
6.2.1. Conducta estral.....	27
6.2.2. Actividad ovulatoria.....	28
6.2.3. Latencia al estro.....	29
6.2.4. Tasa ovulatoria.....	29
6.2.5. Gestación.....	30

VII. DISCUSION 31
VIII. CONCLUSIONES 35
IX. REFERENCIAS 36

Lista de cuadros

Cuadro 1	Condición corporal, peso, circunferencia escrotal e intensidad del olor de los machos al inicio del tratamiento fotoperiódico de días largos artificiales.....	14
Cuadro 2	Tasa ovulatoria de ambos grupos de hembras, determinada mediante dos ultrasonografías el día 6 y el día 18 después de haber sido puestas en contacto con los machos foto estimulados.....	29

Lista de figuras

Figura 1	Diagrama del sistema de energía fotovoltaico aislado (tipo isla) utilizado para el tratamiento de días largos artificiales del 1 de noviembre de 2016 al 15 de enero de 2017.....	15
Figura 2	Evolución del peso corporal (promedio \pm SEM) de los machos cabríos foto-estimulados durante 2.5 meses de días largos artificiales en condiciones intensivas (○) y de los machos foto-estimulados en condiciones extensivas (●).....	22
Figura 3	Condición corporal (CC) de los dos grupos de machos foto-estimulados con días largos artificiales en condiciones intensivas (○) y en condiciones extensivas (●).....	23
Figura 4	Evolución de la circunferencia escrotal durante el tiempo del estudio en los machos foto-estimulados con días largos artificiales en condiciones intensivas (○) y de los machos foto-estimulados en condiciones extensivas (●).....	24
Figura 5	Evolución de la intensidad del olor sexual de los machos foto-estimulados con días largos artificiales en condiciones intensivas (○) y machos foto-estimulados con días largos artificiales en condiciones extensivas (●).....	25
Figura 6	Despliegue del comportamiento sexual de los machos cabríos foto estimulados en condiciones intensivas (□) y de los machos foto estimulados en condiciones extensivas (■) los machos fueron puestos en contacto con hembras anovulatorias y se registraron las conductas durante una hora diaria (08:00-09:00 hrs) los primeros 5 días de contacto.....	26

Figura 7 Actividad estral de las hembras puestas en contacto con los machos foto estimulados en condiciones intensivas (○) y extensivas (●)..... 27

Figura 8 Porcentaje de hembras que ovularon del día 0 al 5 (primera ovulación), posteriormente del día 6 al 15 (segunda ovulación) y total de hembras que ovularon durante el tiempo de contacto con los machos foto-estimulados con días largos en condiciones intensivas (□) y machos en condiciones extensivas (■)..... 28

Resumen

En los machos cabríos fotoestimulados en condiciones extensivas no disminuye su eficiencia para estimular la actividad sexual de las cabras anovulatorias

POR

ERICK RAMÓN GUZMÁN LANDEROS

MAESTRO EN CIENCIAS AGRARIAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DR. JOSÉ ALFREDO FLORES CABRERA -DIRECTOR DE TESIS-

El objetivo del presente trabajo fue determinar si los machos cabríos tratados con días largos (DL) artificiales y mantenidos en condiciones extensivas son capaces de estimular la actividad sexual de las cabras anovulatorias mediante el efecto machos. Seis machos fueron mantenidos en condiciones intensivas y alimentados con alfalfa y concentrado comercial. Otros seis machos fueron alojados en condiciones extensivas y alimentados con la vegetación disponible en las aéreas de pastoreo. Ambos grupos recibieron un tratamiento de DL

artificiales (16 horas/luz/día) para inducir su actividad sexual durante el reposo sexual natural (marzo-abril). En marzo, 2 grupos de cabras anovulatorias fueron estimuladas con 2 machos tratados con DL en intensivo o en extensivo. El comportamiento sexual de los machos se evaluó 1 hora diaria/5 días. La conducta estral se determinó dos veces por día. El porcentaje de hembras que ovularon y quedaron gestantes fue determinado mediante ecografías. El comportamiento sexual de los machos fue similar en machos en intensivo y en extensivo, a excepción del número de olfateos ($P < 0.05$). El porcentaje de estros no difirió entre las hembras estimuladas con machos tratados en intensivo y las hembras estimuladas con machos tratados en extensivo (95% en ambos grupos; $P > 0.05$). El porcentaje de hembras que ovularon y resultaron gestantes tampoco difirió entre los dos grupos ($P > 0.05$). Se concluye que los machos cabríos tratados con días largos y mantenidos en condiciones extensivas son capaces de inducir la actividad sexual de las cabras anéstricas mediante el efecto macho.

Palabras Clave: Días largos, comportamiento sexual, estros, ovulación, gestación

Abstract

Photostimulated male goats maintained under extensive conditions does not diminish its efficiency to stimulate the sexual activity of the anovulatory goats

BY

ERICK RAMÓN GUZMÁN LANDEROS

MAESTRO EN CIENCIAS AGRARIAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DR. JOSÉ ALFREDO FLORES CABRERA -ADVISOR-

The present study was carried out to determine if the goats treated with artificial long days (DL) and maintained under extensive conditions are able to stimulate the sexual activity of the anovulatory goats through the male effect. Six males were kept in intensive conditions and fed alfalfahay and commercial concentrate. Six other males were housed in extensive conditions and fed under vegetation available in the grazing areas. Both groups received a treatment of artificial long days (16 hours/light/day) to induce their sexual activity during natural sexual rest (March-April). In March, two groups of anovulatory female goats were stimulated with 2 males treated with long days in intensive or extensive conditions. The sexual behavior of the males was evaluated 1 hour

daily/5 days. The estrous behavior was determined twice a day. The number of females that ovulated and were pregnant in each group was determined by ultrasound. The sexual behavior of the males was similar in males in intensive and extensive conditions, except for the number of sniffs ($P < 0.05$). The percentage of goats in estrus did not differ between the females stimulated with males treated in intensive (95%) and the females stimulated with males treated and maintained under extensive conditions (95%, $P > 0.05$). The percentage of females that ovulated and were pregnant also did not differ between the two groups ($P > 0.05$) it is conclude, that male goats treated with long days under extensive conditions are able to induce the sexual activity of the anestrous female goats through the male effect.

Key words: Long days, sexual behavior, estrus, ovulation, gestation

I. INTRODUCCIÓN

La Comarca Lagunera es una de las principales regiones que más producen leche y cabrito en el país. Sin embargo, la obtención de estos productos se da de manera estacional. Debido a que la mayoría de las cabras (>80 %) paren entre los meses de diciembre a enero, la producción de cabrito se concentra en esa época del año (Sáenz-Escárcega *et al.*, 1991), en cambio en otras épocas del año existe escasez de estos productos. Lo anterior provoca grandes variaciones en el precio de este producto. Lo anterior es debido a una estacionalidad reproductiva que manifiestan machos y hembras caprinas que son explotados en estas regiones (Delgadillo *et al.*, 1999; Duarte *et al.*, 2008). Esta problemática en la producción caprina puede disminuir considerablemente si los partos de las hembras ocurren fuera de la estación natural. Para ello, se han desarrollado varios métodos para inducir y sincronizar la actividad sexual de los animales fuera de la estación natural. Algunos de estos tratamientos utilizan hormonas exógenas (EcG, Melatonina, FGA, prostaglandinas, etc). Otros métodos se basan en la manipulación del número de horas luz que los animales perciben diariamente. Por ejemplo, se puede inducir la actividad sexual de los machos durante el periodo de reposo sexual al exponerlos en el otoño e invierno (días cortos naturales) a días largos artificiales (16 h/luz/día) (Delgadillo *et al.*, 2002; 2009; Ponce *et al.*, 2014). Los machos tratados de esta manera aumentan durante el periodo de reposo sexual natural (marzo-abril), el peso testicular, la secreción de testosterona y el olor, eventos que son acompañados de un intenso comportamiento sexual (Perkins and Fitzgerald, 1994; Flores *et al.*, 2000; Fabre-Nys, 2000; Rivas-Muñoz *et al.*, 2007). Durante más de 15 años se ha demostrado la efectividad de este tratamiento para inducir en la época de reposo sexual natural, una intensa actividad sexual de los machos cabríos. A su vez, la utilización de estos machos sexualmente activos durante el reposo natural permite la inducción de la actividad sexual (estros y ovulaciones) de las cabras en anestro estacional (Flores *et al.*, 2000; Delgadillo *et al.*, 2002). En efecto, los machos sometidos a días largos artificiales son más eficientes para

estimular el comportamiento estral y la ovulación en las hembras anéstricas, que los machos no tratados que despliegan un débil comportamiento sexual (Flores *et al.*, 2000; Delgadillo *et al.*, 2002; Vielma *et al.*, 2009; Zarazaga *et al.*, 2012; Bedos *et al.*, 2014).

Los trabajos antes descritos fueron desarrollados en machos cabríos que han recibido el tratamiento de luz manteniéndolos en condiciones de estabulación y por ello, bien alimentados. En estos machos, la actividad sexual es estimulada de febrero a abril (época de reposo sexual natural), y los machos son muy eficientes para inducir la actividad sexual de las cabras anovulatorias mediante el efecto macho. Sin embargo, se desconoce si los machos que se encuentran en pastoreo y son sometidos al tratamiento de días largos artificiales responden positivamente al tratamiento fotoperiódico y si son capaces de inducir la actividad sexual de las cabras anovulatorias. Por ello, el objetivo del presente trabajo es evaluar la respuesta de estos machos tratados con días largos y mantenidos en condiciones de pastoreo extensivo. Además, evaluar la habilidad para inducir la actividad sexual (estros y ovulaciones) y reproductiva (gestación) de las cabras anéstricas.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Estacionalidad de la reproducción en los caprinos

2.1.1. Latitudes templadas

Los pequeños rumiantes originarios de latitudes templadas como los ovinos y caprinos, se caracterizan por presentar una marcada estacionalidad en su reproducción como una estrategia para asegurar la sobrevivencia de las crías, ya que los partos ocurren durante la primavera cuando las condiciones climáticas son más favorables (Ortavant *et al.*, 1985). En las hembras de estas dos especies, la actividad reproductiva solo está presente durante el otoño-invierno, mientras que en la primavera-verano se registra un decremento de su actividad sexual. Un ejemplo de ello son las cabras de la raza Alpina, en las cuales la estación reproductiva se caracteriza por la presencia de estros acompañados de ovulación cada 21 días, en contraste, el periodo de anestro estacional se caracteriza por la ausencia de dichas actividades (Chemineau *et al.*, 1982; Amoha *et al.*, 1996). En los machos de estas dos especies también existen variaciones estacionales en su reproducción a lo largo del año, presentando un periodo de intensa actividad sexual y otro periodo de reposo sexual. Por ejemplo, en los carneros Ile-de-france, la libido, el peso testicular y la producción espermática son más elevadas durante el periodo de actividad sexual que en el periodo de reposo (Pelletier *et al.*, 1971). En los machos cabríos de las razas Alpino y Saanen la disminución de la actividad espermatogénica registrada durante el periodo de reposo sexual, es causa de una disminución del peso testicular de 150g en invierno a 117g en primavera (Delgadillo *et al.*, 1995). Esta disminución en el peso testicular está directamente relacionada con el decremento de las concentraciones plasmáticas de testosterona en sangre, y por consecuencia el comportamiento y actividad sexual disminuyen drásticamente (Delgadillo *et al.*, 2004).

2.1.2. Latitudes tropicales

Los ovinos y caprinos originarios de latitudes tropicales a diferencia de los originarios de latitudes templadas no presentan variaciones estacionales en su reproducción. La mayoría de las razas explotadas en estas latitudes, tienen una actividad sexual permanente durante todo el año (Restall, 1992; Chemineau, 1993). Por ejemplo, las cabras de la Isla de Guadalupe en el caribe mantienen de forma continua los ciclos ovulatorios y estrales. Así mismo, los machos no presentan variaciones en la libido, peso testicular y producción espermática durante todo el año (Chemineau, 1986). Otro ejemplo son las cabras Brown Savanna de Nigeria, las cuales manifiestan tres picos reproductivos anuales (febrero-abril, julio-agosto y noviembre) con un alto porcentaje de fecundaciones (Molokwu y Igono., 1978). De manera general, en las regiones tropicales, la actividad reproductiva, así como las fecundaciones ocurren durante todo el año, aunque existen periodos más favorables que otros (Riera, 1982).

2.1.3. Latitudes subtropicales

En las regiones subtropicales, la mayoría de las razas de ovinos y caprinos estudiados hasta la fecha, manifiestan una marcada variación estacional en su actividad reproductiva durante el año. En las hembras caprinas de la Comarca Lagunera, por ejemplo, la estación reproductiva se presenta de septiembre a marzo, y el periodo de anestro se manifiesta en los meses de marzo a agosto (Duarte *et al.*, 2008). De igual manera, los machos manifiestan una marcada estacionalidad en su reproducción, estos muestran un periodo de actividad sexual intensa en los meses de mayo a diciembre, en esta fase registran concentraciones plasmáticas de testosterona muy elevadas, comportamiento y olor sexual muy intenso y una elevación en su peso testicular, así como en su producción espermática (Delgadillo *et al.*, 1999; Cruz-Castrejón *et al.*, 2007).

En contraste, en los meses de enero a abril se observa el periodo de reposo sexual, en el cual las mismas variables disminuyen de manera considerable (Delgadillo *et al.*, 1999).

2.2. Efecto del fotoperiodo en la estacionalidad reproductiva

En los caprinos y ovinos originarios de latitudes templadas y subtropicales se ha demostrado que la estacionalidad reproductiva es controlada por las variaciones anuales del fotoperiodo.

En estas especies, la actividad reproductiva anual es el reflejo de la expresión de un ritmo endógeno que es sincronizado por el fotoperiodo. El fotoperiodo (la cantidad de horas luz que percibe el animal diariamente durante el año) actúa como señal del medioambiente para sincronizar el inicio y el final de la estación sexual (Chemineau *et al.*, 1982a; Gómez-Brunet *et al.*, 2008; Duarte *et al.*, 2010; Delgadillo *et al.*, 2011). El animal interpreta la duración del día a través de un sistema óptico-nervioso- La glándula pineal es la encargada de traducir la información fotoperiódica a través de la secreción de melatonina (Arendt, 1998; Karsch *et al.*, 1984; Robinson y Karsch, 1988). La información fotoperiódica es percibida por los fotorreceptores de la retina del ojo, y de ahí se transmite a los núcleos supraquiasmáticos y paraventriculares del hipotálamo. Posteriormente, la vía nerviosa desciende a la médula espinal y alcanza el ganglio cervical superior, de donde una vía postganglionar simpática inerva la glándula pineal (Arendt, 1998; Legan y Karsch, 1983). Esta glándula secreta melatonina la cual se sintetiza y secreta en mayor cantidad durante la noche. La duración de la secreción de melatonina está determinada por la duración del periodo de obscuridad. Durante los días cortos, la secreción de melatonina es más larga. A través de redes neuronales desconocidas, la melatonina estimula la secreción del péptido kisspeptina en el núcleo paraventricular anteroventral y el núcleo arcuato del hipotálamo (Malpoux *et al.*, 1998, 2002; Sliwowska *et al.*, 2004; Smith *et al.*, 2008).

Este péptido estimula la secreción de GnRH en el área preóptica y en el hipotálamo medio basal. Posteriormente, la GnRH es liberada en la eminencia media y a través del sistema porta-hipofisiario llega a la hipófisis anterior donde estimula los gonadotropos. En respuesta, estas células secretan las gonadotropinas LH y FSH (Clarke *et al.*, 2009; Smith, 2012).

2.3. Tratamientos fotoperiodicos utilizados para modificar la actividad sexual de ovinos y caprinos

Se ha demostrado que días largos son los responsables de sensibilizar a los animales a los días cortos, mientras que los días cortos se encargan de mantener el periodo de actividad sexual, por lo tanto, los días largos son necesarios para poder proyectar el efecto de los días cortos naturales (Malpaux *et al.*, 1989).

En los ovinos y caprinos originarios de regiones templadas o adaptados a regiones subtropicales son sensibles a las variaciones anuales del fotoperiodo. En estos animales, el ciclo anual de reproducción observado bajo condiciones naturales puede ser modificado cambiando artificialmente el fotoperiodo (Delgadillo *et al.*, 2004b).

Existen tratamientos fotoperiodicos que permiten inducir la actividad sexual durante el periodo de reposo sexual o atenuar la estacionalidad reproductiva tanto en ovinos como en caprinos (Pelletier y Almeida, 1987; Delgadillo *et al.*, 1992; Delgadillo *et al.*, 2004b; Ponce *et al.*, 2014). A continuación, se describen algunos de estos tratamientos.

2.3.1. Alternancia rápida de días largos y días cortos artificiales

En los machos cabríos Alpinos y Saanen, la alternancia de dos o tres meses de días cortos (8h de luz / 16h de oscuridad) seguida de dos o tres meses de días largos (16h de luz / 8h de oscuridad) provoca un incremento en la secreción de la testosterona la cual inicia al final de los días cortos y alcanza su máximo nivel durante los días largos (Chemineau *et al.*, 1992b; Delgadillo *et al.*, 1992). De igual manera, en el norte de México, la aplicación de dos meses de días largos seguidos de 2 meses de días cortos induce periodos de actividad y reposo sexual (Delgadillo *et al.*, 2004). Bajo estas condiciones experimentales, se ha observado que la actividad sexual de los machos se estimula mediante los días cortos y es inhibida durante los días largos (Delgadillo *et al.*, 2004).

2.3.2. Días largos artificiales y melatonina

Un tratamiento asociado días largos y melatonina puede inducir la actividad sexual en machos ovinos y caprinos. En los machos ovinos de las razas Ile de France y ManechTêteRousse, la aplicación de 2 meses de DL artificiales a partir de enero o febrero seguido de la inserción de 2 o 3 implantes subcutáneos de melatonina, estimula la actividad sexual a partir de abril o mayo, durante el periodo de reposo sexual (Arranz *et al.*, 1995; Chemineau *et al.*, 1992b). De igual manera, en los machos cabríos locales de la Comarca Lagunera, un tratamiento con 75 días largos artificiales (16 horas de luz/día) a partir del 1 de noviembre seguidos la inserción subcutánea de 2 implantes de melatonina, estimulan la secreción de LH, la testosterona, el comportamiento sexual, la producción espermática y el aumento del olor, de febrero a abril, meses que corresponden al periodo de reposo sexual estacional (Delgadillo *et al.*, 2001, 2002; Flores *et al.*, 2000; Rivas-Muñoz *et al.*, 2007).

2.3.3. Días largos artificiales seguidos de días largos naturales

Un estudio realizado por Delgadillo y colaboradores demuestra que, en el norte de México, los machos cabríos tratados con días largos al final de la temporada de reproducción seguidos de días cortos naturales muestran una estimulación clara de la secreción de testosterona de manera similar a los machos tratados con días largos y melatonina (Delgadillo *et al.*, 2002). Este estudio demuestra que la melatonina exógena no es necesaria para estimular la actividad endocrina en machos sometidos a este tipo de tratamiento.

2.3.4. Reducción del tiempo en la aplicación de días largos artificiales

Un estudio reciente realizado por Ponce *et al.* (2014) demuestra que la reducción en la duración de los tratamientos de días largos no afecta la respuesta sexual de los machos al tratamiento de días largos artificiales ni su capacidad para inducir la actividad sexual de las hembras mediante el efecto macho. Dicho estudio muestra que los machos expuestos a 45, 30 o 15 días largos artificiales fueron capaces de desplegar un intenso comportamiento sexual, similar a los tratados durante 75 días largos artificiales. Estos resultados indican que 30 días de tratamiento fotoperiódico fueron suficientes para estimular y mantener la espermatogénesis (Ponce *et al.*, 2014). Además, demuestran que la exposición a solo 15 días largos artificiales seguidos de condiciones fotoperiódicas naturales puede inducir la secreción de testosterona de los machos cabríos durante la temporada de reposo sexual.

2.4. Inducción de la actividad sexual de las cabras durante el periodo de anestro estacional

Durante el anestro estacional, la introducción de un macho en un grupo de hembras logra estimular su actividad reproductiva en pocos días. Esta técnica de inducción ha sido ampliamente documentada y es conocida como “efecto macho” (Chemineau, 1987; Walkden-Brown *et al.*, 1999; Flores *et al.*, 2000; Delgadillo *et al.*, 2009). Cuando se ponen en contacto machos con hembras anéstricas, éstas responden de manera inmediata con un incremento de las concentraciones plasmáticas de LH. Más del 90% de las cabras ovulan alrededor de 3 días después de la introducción de los machos. Sin embargo, esta primera ovulación inducida se asocia con el comportamiento del estro únicamente en el 62% de los casos. La mayoría de las cabras (75%) experimenta un ciclo ovárico corto y vuelve a ovular 6 días después de la primera ovulación. Si no quedan gestantes, ovulan por tercera vez 21 días después. Las otras cabras (25%) experimentan un ciclo normal después de la primera ovulación y, si no quedan gestantes, vuelven a ovular 21 días después de la primera ovulación. Después de la primera ovulación están todas las siguientes ovulaciones asociadas con el comportamiento estral (Chemineau, 19987; Vielma *et al.*, 2009; Bedos *et al.*, 2014).

La respuesta de las hembras al efecto macho varía con la intensidad del comportamiento sexual de los machos. Cuando los machos son sometidos a un tratamiento de días largos artificiales inducen el estro y ovulación en una proporción mayor de cabras que los machos no tratados, que se encuentran en reposo sexual (Flores *et al.*, 2000; Muñoz *et al.*, 2016). De igual manera, en ovinos, un mayor porcentaje de hembras ovula (95%) cuando son expuestas a machos que despliegan un intenso comportamiento sexual, que cuando se exponen a machos que despliegan débil comportamiento sexual (78%: Perkins y Fitzgerald, 1994).

Estos resultados sugieren que la intensidad del comportamiento sexual de los machos es un factor importante que modifica la respuesta sexual de las hembras expuestas al efecto macho.

2.5. Influencia del sistema de producción y la alimentación de los machos cabríos en su actividad reproductiva

2.5.1 Sistemas de producción

2.5.1.1. Sistema intensivo

El sistema de producción intensivo puede ser de dos tipos: el sistema intensivo de tipo pastoril y el intensivo de manejo estabulado sin pastoreo. En el sistema intensivo de tipo pastoril se asociaron praderas artificiales, lo que requiere de habilidad y conocimiento del productor respecto a rotación de potreros y carga animal de acuerdo con el rendimiento de la pastura (García *et al.*, 1991).

Los sistemas intensivos estabulados son aquellos donde los animales se encuentran confinados la mayor parte del tiempo y dado su alto costo de producción son sistemas especializados, ya sea en la producción de leche de cabra o de engorda de corderos para la producción de carne (Salinas y Martínez, 1988). Estos sistemas se localizan en regiones como la Comarca Lagunera, Guanajuato y Querétaro (FIRA, 1999).

2.5.1.2. Sistema extensivo

Los sistemas extensivos son aquellos sistemas donde los pequeños rumiantes obtienen su alimento de áreas de agostadero de gran extensión y para realizarlo recorren diariamente grandes distancias. Cuando la condición ecológica es benigna y existe diversidad en la composición botánica, se logra

un buen balance de la dieta. Sin embargo, en regiones áridas y semiáridas de Norte de México existe mucha variabilidad en cuanto a la composición del agostadero y en las diferentes épocas del año (Echavarría *et al.*, 2006).

2.5.1.3. Sistema de producción predominante en la Comarca Lagunera

En el norte de México, como en otras regiones áridas y semiáridas del mundo, la mayoría de los machos y hembras caprinos son explotados en condiciones extensivas (Sáenz-Escárcega *et al.*, 1991). Los animales generalmente pastan de 10:00 a 18:00 hrs y consumen únicamente la vegetación natural disponible sin que se les proporciona algún alimento extra o suplementación. Por la noche, los animales permanecen en corrales al aire libre cerca de la casa de los caprinocultores. En este sistema de producción extensivo, los machos y las hembras permanecen juntos durante todo el año; las hembras se usan para producir leche y carne. Las crías son amamantadas por sus madres y son destetados y vendidos aproximadamente a las cuatro semanas de edad. Debido a que las hembras y los machos permanecen juntos en el rebaño, no hay control de la reproducción. En este sistema de producción, la mayoría de las fecundaciones ocurren durante el verano (junio-septiembre), lo que lleva al nacimiento de las crías en otoño e invierno (noviembre-febrero; Delgadillo *et al.*, 2017). En este sistema de producción, la temporada de partos no es la mejor para la producción de leche y carne, así como para la supervivencia de las crías. Esto se debe al menos a tres razones: (a) los partos coinciden con el inicio de la época de sequía, lo que conlleva una reducción dramática de la disponibilidad de alimentos para las madres, lo anterior provoca una baja producción de leche tanto para las crías como para las industrias lácteas; (b) existe una amplia variación diaria de las temperaturas ambientales (5°-30° C), lo que aumenta la mortalidad de las crías hasta en un 50% principalmente por problemas respiratorios (Sáenz-Escárcega *et al.*, 1991); y, (c) existe una reducción drástica del precio de los cabritos a partir de diciembre debido al aumento de la alta disponibilidad de los mismos.

Como se mencionó en capítulos anteriores, dos meses y medio de días largos artificiales (16 horas luz), estimulan la actividad sexual de los machos durante la época natural de reposo (marzo-abril; Flores *et al.*, 2000; Delgadillo *et al.*, 2002). Debido a este tratamiento artificial, los machos aumentan (durante la época de reposo sexual natural) el peso testicular, la cantidad y calidad del semen y un fuerte olor sexual. Estos eventos son acompañados de un intenso comportamiento sexual (aproximaciones, vocalizaciones, intentos de montas y montas). La mayoría de los caprinos del norte de México son explotados en un sistema de producción extensivo. En este sistema, los animales salen al campo alrededor de 8 horas por día para alimentarse principalmente de la vegetación nativa de los agostaderos. En estos sistemas de producción, la cantidad y calidad de los pastos disminuye drásticamente entre noviembre y mayo debido a la falta de lluvia (Sáenz-Escárcega *et al.*, 1991). La reducción de la disponibilidad de alimento en estos meses provoca una subalimentación de los animales, principalmente entre noviembre y mayo. Esa época coincide con los meses en los cuales se aplica el tratamiento fotoperiódico de los machos y esto podría afectar su respuesta sexual a dicho tratamiento. Por ello, el objetivo de este estudio es determinar la respuesta sexual de los machos tratados con días largos en condiciones extensivas y compararla con la respuesta de los machos estabulados y bien alimentados en condiciones intensivas.

III. OBJETIVOS

Determinar la respuesta sexual de los machos cabríos tratados con días largos artificiales y mantenidos en condiciones extensivas.

Determinar si los machos cabríos tratados con días largos artificiales y mantenidos en condiciones extensivas son capaces de inducir la actividad sexual y reproductiva de las cabras anéstricas mediante el efecto macho.

IV. HIPÓTESIS

Los días largos artificiales inducen la actividad sexual de los machos cabríos que son mantenidos en condiciones extensivas.

Los machos cabríos tratados con días largos artificiales en condiciones extensivas inducen la actividad sexual y reproductiva de las cabras anovulatorias mediante el efecto macho.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Condiciones generales del experimento

El presente estudio se realizó en las instalaciones del Centro de Investigación en Reproducción Caprina (CIRCA), de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en el municipio de Torreón, Coahuila y en un rebaño privados ubicado en el Ejido Santo Tomás, municipio de Matamoros, Coahuila. Ambos municipios se localizan en la Comarca Lagunera, con una latitud de 26° Norte y a una altitud que varía de 1100 a 1400 msnm. Las variaciones del fotoperiodo en la región son de 13:41 horas luz durante el solsticio de verano y 10:19 horas luz durante el solsticio de invierno. La Comarca Lagunera tiene un clima seco, semicálido y se presenta una precipitación media anual de 200 mm (rango 163-504 mm). La estación de lluvias generalmente ocurre de mayo-junio a septiembre-octubre con una amplia variabilidad entre años (CONAGUA 2016).

5.2. Descripción de los animales del estudio

5.2.1. Machos y tratamientos fotoperiódicos

Para llevar a cabo el estudio se utilizaron se utilizaron 12 machos cabríos Criollos adultos de entre 2 y 5 años (Cuadro 1). Un grupo de machos (Intensivo; n=6) fueron alojados en instalaciones abiertas y sometidos a un tratamiento de días largos artificiales del 1 de noviembre al 15 de enero utilizando la energía eléctrica. Este grupo fue tratado dentro de las instalaciones de la UAAAN. Durante el estudio, los machos se alimentaron con heno de alfalfa a libre acceso y 300 g de concentrado comercial (14% de P.C). Además, tenían libre acceso a agua limpia y sales minerales.

El otro grupo de machos (Extensivo; n=6) fue alojado en un rebaño privado en el Ejido Santo Tomás, Municipio de Matamoros Coahuila y mantenido durante todo el estudio en un sistema de pastoreo extensivo sedentario. A los machos de este grupo, se les colocó un mandil para evitar que penetraran las hembras. Diariamente, los machos salían a pastorear con el resto del rebaño de 9:00 a 17:00 hrs y se alimentaban únicamente con la flora nativa en las áreas de pastoreo, y en ocasiones con esquilmos agrícolas.

Por la tarde, al regresar del pastoreo, los machos eran separados del rebaño y alojados en un corral continuo (4 x 4 m) donde recibieron el tratamiento fotoperiódico de días largos artificiales del 1 de noviembre al 15 de enero. Para ello, el corral fue equipado con 4 focos Led (40 W). El tratamiento fotoperiódico se realizó mediante el uso de un sistema de energía fotovoltaica. Para ello, se diseñó previamente el tamaño y capacidad del panel solar, regulador, así como el inversor y las baterías necesarios para llevar a cabo dicho tratamiento (Figura 1).

Cuadro 1. Condición corporal, peso, circunferencia escrotal e intensidad del olor (promedio \pm SEM) de los machos al inicio del tratamiento fotoperiódico de días largos artificiales.

Grupo	Condición corporal <i>(Escala 1-4)</i>	Peso corporal (kg)	Circunferencia escrotal (cm)	Intensidad del olor <i>(Escala 1-3)</i>
Extensivo	1.94 \pm 0.06	36.25 \pm 1.79	25.56 \pm 0.82	1.0 \pm 0.0
Intensivo	2.42 \pm 0.15	55.00 \pm 3.94	28.25 \pm 1.48	1.8 \pm 1.2

En ambos grupos de machos, el tratamiento fotoperiódico consistió en la aplicación de días largos artificiales (16h luz/día) del 1 noviembre al 15 de enero. A partir del 16 de enero los machos de ambos grupos percibieron las variaciones naturales del fotoperiodo de la región.

Estudios anteriores han demostrado que este tratamiento estimula la actividad sexual de los machos durante el periodo de reposo sexual natural (marzo-abril; Delgadillo *et al.*, 2002).

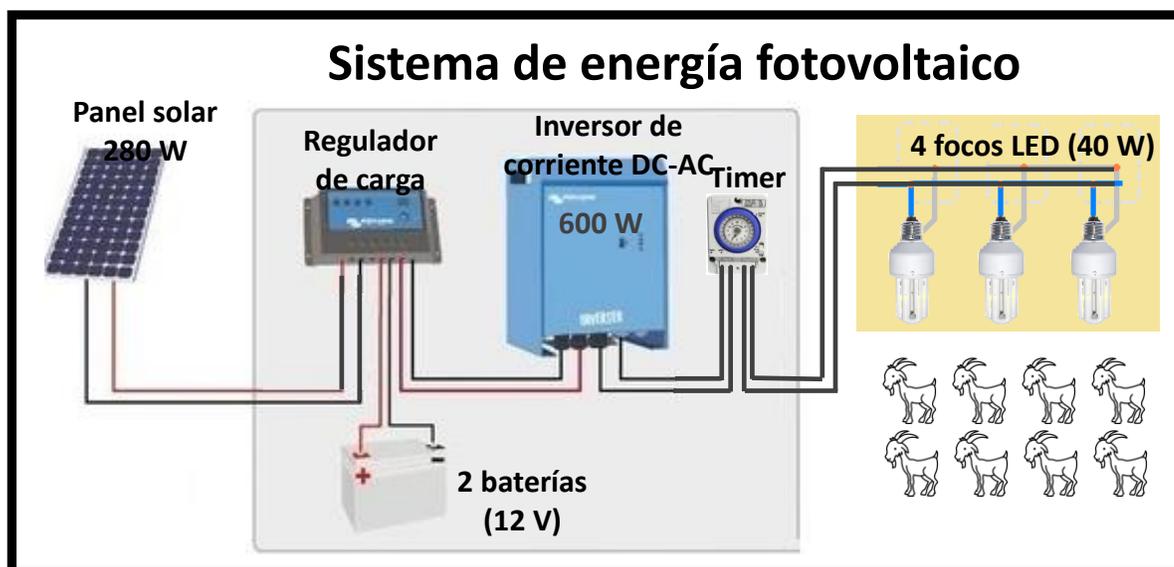


Figura 1. Diagrama del sistema de energía fotovoltaico aislado (tipo isla) utilizado para el tratamiento de días largos artificiales del 1 de noviembre de 2016 al 15 de enero de 2017.

5.2.2. Hembras

Se seleccionaron 43 hembras caprinas adultas múltiparas y anovulatorias. Todas las hembras producían leche y eran ordeñadas a mano una vez al día por las mañanas. Las hembras seleccionadas fueron separadas del resto del rebaño y estabuladas 2 días antes de ser puestas en contacto con los machos. Desde el momento de su estabulación, las hembras fueron divididas en dos grupos homogéneos en cuanto a su condición corporal. En ambos grupos, las hembras fueron alimentadas diariamente con 2 kg de heno de alfalfa y concentrado comercial (14 % de P.C) por día/animal. Además, tenían acceso a agua limpia y sales minerales. El estado anovulatorio de las hembras fue determinado mediante una ultrasonografía transrectal, la cual se realizó 8 días

antes de la introducción de los machos. El criterio para determinar si una hembra se encontraba anovulatoria, fue la ausencia de cuerpos lúteos en los ovarios determinado mediante una ecografía.

5.3. Variables determinadas en los machos

5.3.1. Peso corporal

El peso en ambos grupos se determinó cada 15 días durante todo el estudio. Para ello, se utilizó una báscula mecánica con una capacidad de 500 kg y una precisión de 100 g. Los machos fueron siempre pesados por la mañana antes de proporcionarles el alimento.

5.3.2. Condición corporal

La condición corporal fue determinada cada 15 días durante todo el estudio en los dos grupos de machos. Para la condición corporal se utilizó la técnica descrita por Walkden-Brown *et al.* (1994), la cual consiste en determinar por palpación la cantidad de tejido muscular y graso de la región lumbar del animal. Se utilizó una escala de valores que van del 1 al 4 con una precisión de 0.5 puntos.

5.3.3. Circunferencia escrotal

La circunferencia escrotal se determinó cada 15 días del 1 de noviembre hasta el 15 de marzo. Esta variable fue determinada con una cinta métrica flexible

graduada en milímetros; esta variable fue determinada en la parte más ancha de ambos testículos.

5.3.4. Intensidad de olor

La intensidad del olor se evaluó cada 15 días del 1 de noviembre al 15 de marzo. Esta variable fue determinada con la técnica descrita por Walkden-Brown *et al.* (1994). La técnica consiste en oler la parte posterior de la región de la base de los cuernos a una distancia de 15 cm. Esta técnica, utiliza una escala de 0 a 3, que corresponde a: 0) neutro o igual a hembras o macho castrado, 1) olor sexual ligero, 2) olor sexual moderado y 3) olor sexual.

5.3.5. Comportamiento sexual

Para evaluar el comportamiento sexual de los machos, cada macho fue puesto individualmente en contacto con 10 hembras anéstricas.

Esta variable se determinó durante 1 hora (08:00–09:00 h) los primeros 5 días de contacto entre machos y hembras. Se registraron las conductas: número de olfateos ano-genitales, aproximaciones, intentos de monta, montas con y sin penetración, automarques con orina y flehemen.

5.4. Efecto macho

El 20 de marzo (época de reposo sexual natural) a las 8:00 AM, un grupo de cabras (n=21) fue puesto en contacto con 2 machos foto-estimados en condiciones intensivas (1 macho por 10/11 hembras). El otro grupo de hembras (n=22) fue puesto en contacto con 2 machos foto-estimados en condiciones extensivas (1 macho por 11 hembras). Los machos permanecieron con las

hembras durante 18 días consecutivos y cada 12 horas (AM y PM) eran intercambiados dentro de cada grupo.

5.5. Variables determinadas en las hembras

5.5.1. Conducta estral

La conducta estral de las hembras se determinó dos veces al día (8:00 AM y 6:00 PM) durante 15 días. El criterio que se utilizó para determinar si una hembra estaba o no en estro fue la inmovilidad y/o aceptación de la monta por del macho (Chemineau *et al.*, 1992). Cada vez que se detectaba una hembra en estro, era sacada del corral para evitar interferencia con el macho y permitir que este detectara otras hembras en estro.

5.5.2. Latencia al estro

La latencia al estro fue considerada como el tiempo que transcurrió desde la exposición de las hembras al macho hasta el inicio de la manifestación de la conducta estral.

5.5.3. Duración del estro

La duración del estro se consideró como el tiempo en horas desde el inicio hasta la terminación del estro en cada hembra.

5.5.4. Duración del ciclo estral

La duración del ciclo estral se define como el número de días entre el inicio de dos períodos de estro consecutivos. Los ciclos estrales se clasificaron de acuerdo en su duración como: corto (<17 días), normal (17-25 días) o largo (> 25 días).

5.5.5. Actividad ovulatoria

La proporción de hembras que ovularon en los dos grupos fue determinada mediante 2 ecografías transrectales realizadas los días 6 y 15 después de la introducción de los machos. El criterio para determinar si una hembra había ovulado fue la presencia de al menos un cuerpo lúteo en alguno de los dos ovarios.

5.5.6. Tasa ovulatoria

La tasa ovulatoria fue determinada mediante el número de cuerpos lúteos registrados en ambos ovarios dividido entre el número de hembras que ovularon en cada grupo, al momento de realizarse las ecografías al día 6 y 15 después de la introducción de los machos.

5.5.7. Tasa de gestación

Para la determinación del porcentaje de hembras que resultaron gestantes después de la estimulación se realizó una ultrasonografía abdominal al día 35 después de la introducción de los machos. Para ello, se utilizó un equipo de ultrasonido equipado con un transductor transrectal de 7.5 Mhz.

5.6. Análisis estadísticos

El total de las frecuencias de las conductas mostradas por los machos en cada grupo fue comparado utilizando una prueba de Chi-cuadrada con la bondad de ajuste, utilizando el criterio de una distribución completamente al azar. Los datos obtenidos del peso corporal y la circunferencia escrotal fueron analizados con un análisis de varianza considerando dos factores (grupo y tiempo del experimento) y posteriormente una prueba post hoc para determinar las diferencias entre grupos. La condición corporal y la intensidad del olor fueron analizados con la prueba U de Mann-Whitney.

La latencia al estro y su duración se compararon mediante una t de Student. Los porcentajes de hembras en estro, ciclos cortos y tasa gestación se analizaron con una prueba de Chi-cuadrada. Por último, la tasa ovulatoria se analizó con la prueba U de Mann-Whitney. En todas las comparaciones estadísticas se utilizó el programa estadístico SYSTAT Ver. 10.

VI. RESULTADOS

6.1. Machos

6.1.1. Peso corporal

El ANOVA reveló un efecto del grupo en el peso corporal ($P < 0.001$), así como un efecto del tiempo ($P < 0.001$) y una interacción grupo-tiempo del estudio ($P < 0.001$). En la comparación dos a dos, el peso corporal de los machos mantenidos en intensivo fue siempre superior al peso corporal de los machos explotados en extensivo ($P < 0.05$). En efecto, en el grupo de machos foto estimulados en intensivo el peso corporal registró un incremento paulatino de diciembre a marzo. En cambio, en el grupo de machos foto-estimados en extensivo el peso corporal se incrementó de diciembre a finales de febrero y posteriormente decreció hasta el final del estudio (Figura 2).

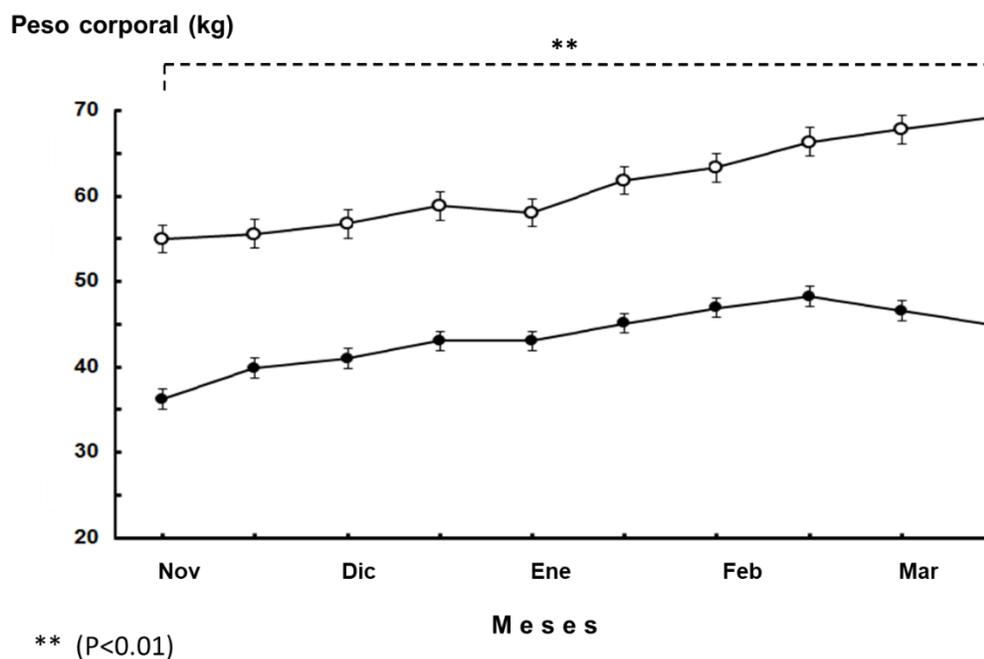


Figura 2. Evolución del peso corporal (promedio \pm SEM) de los machos cabríos foto-estimulados durante 2.5 meses de días largos artificiales en condiciones intensivas (O) y de los machos foto-estimulados en condiciones extensivas (●).

6.1.2. Condición Corporal

En la Figura 3 se muestra la evolución de la condición corporal de los machos foto-estimulados en condiciones intensivas y en extensivas. El ANOVA indicó un efecto del grupo sobre la condición corporal ($P < 0.001$), así como un efecto del tiempo ($P < 0.001$) y una interacción grupo-tiempo del estudio ($P < 0.001$). Durante todo el estudio, la condición corporal fue siempre mayor en el grupo mantenido en condiciones intensivas que en el grupo mantenido en condiciones extensivas ($P < 0.05$). En el grupo de machos foto-estimulados en intensivo, la condición corporal registró un incremento de noviembre a enero, posteriormente disminuyó durante enero y febrero para después incrementarse de manera progresiva hasta el final del estudio. En contraste, en el grupo de machos foto-estimulados en extensivo la condición corporal se mantuvo sin cambios durante los meses de noviembre y diciembre. A partir de enero se registró de esta variable un incremento gradual hasta finalizar el estudio.

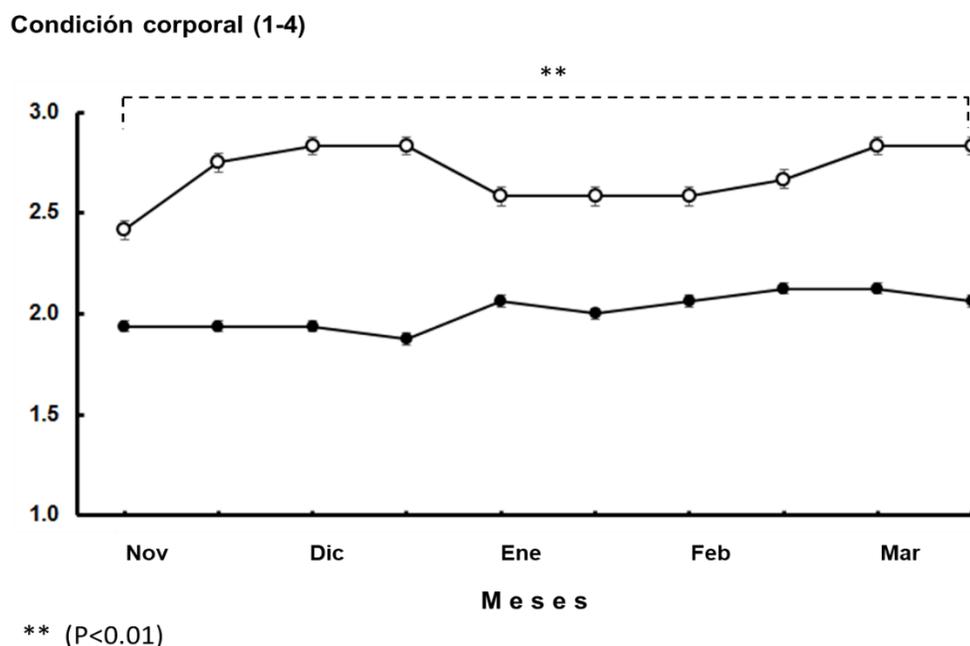


Figura 3. Promedio (\pm SEM) de la condición corporal (CC) de los dos grupos de machos foto-estimulados con días largos artificiales en condiciones intensivas (O) y en condiciones extensivas (●).

6.1.3. Circunferencia Escrotal

En la Figura 4 se muestra la evolución en la circunferencia escrotal de los machos cabríos foto-estimulados en condiciones intensivas y en condiciones extensivas. El Análisis de varianza (ANOVA) reveló que no existe un efecto del grupo sobre la evolución de la circunferencia escrotal ($P > 0.05$). Sin embargo, se registró un efecto del tiempo ($P < 0.001$), así como una interacción grupo-tiempo del estudio ($P < 0.001$). En la comparación dos a dos no se registró diferencia entre ambos grupos. La circunferencia escrotal disminuyó paulatinamente durante los meses de noviembre a enero, a partir de este mes inicio un incremento el cual se mantuvo hasta finalizado el estudio en ambos grupos.

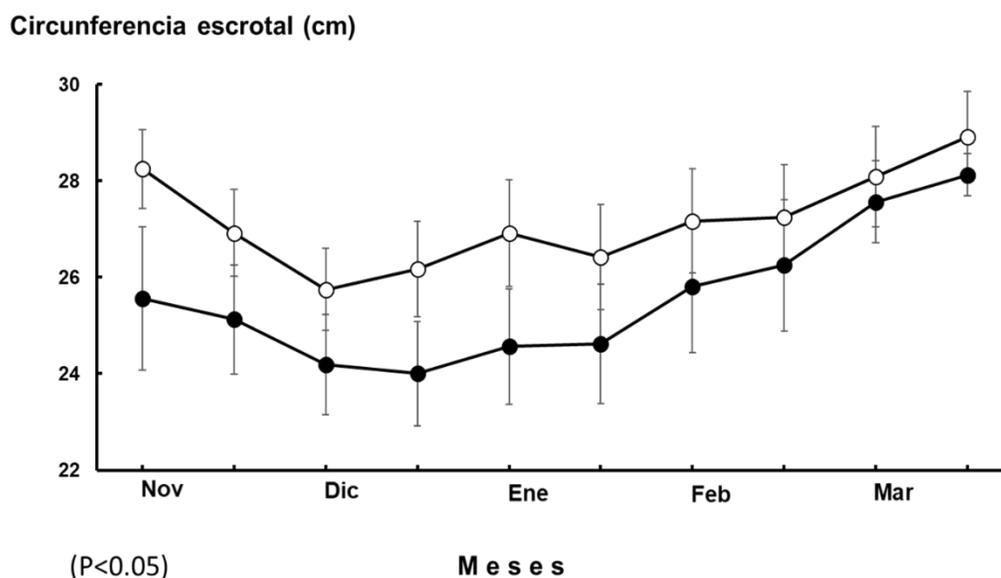


Figura 4. Evolución de la circunferencia escrotal (promedio \pm SEM) durante el tiempo del estudio en los machos foto-estimulados con días largos artificiales en condiciones intensivas (O) y de los machos foto-estimulados en condiciones extensivas (●).

6.1.4. Intensidad del olor

En la Figura 5 se puede observar la evolución de la intensidad del olor sexual durante el estudio. El ANOVA no reveló un efecto del grupo sobre la evolución de la intensidad del olor ($P>0.05$). Sin embargo, se registró un efecto del tiempo ($P<0.001$), así como una interacción grupo-tiempo del estudio ($P<0.05$).

En ambos grupos, el olor comenzó a disminuir dos semanas después del inicio del tratamiento de días largos y permaneció en sus niveles mínimos hasta el mes de febrero. A partir de esa fecha, la intensidad del olor se incrementó al mismo tiempo en los dos grupos de machos y no existió diferencia significativa ($P>0.05$) entre los machos de los dos grupos en ninguna fecha.

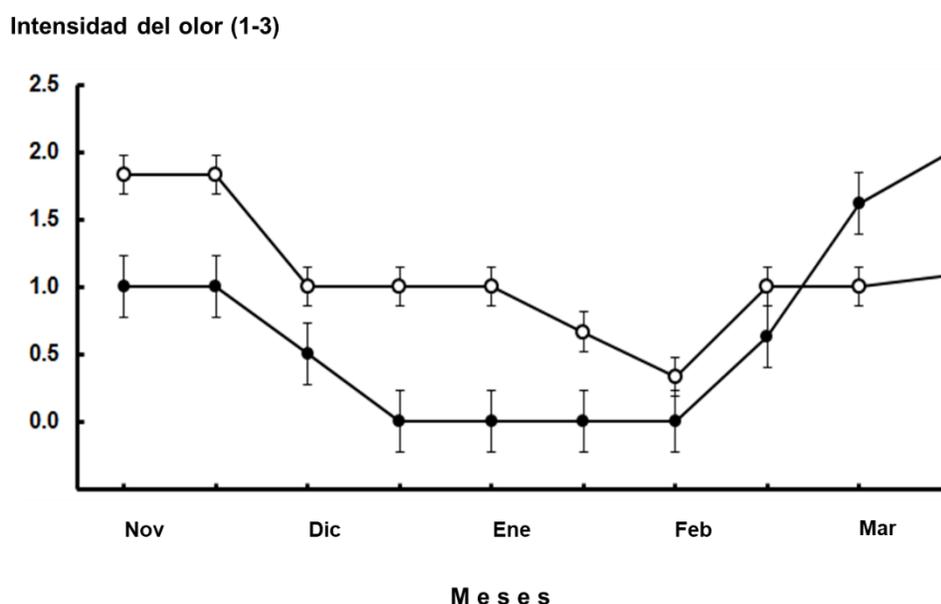


Figura 5. Evolución de la intensidad del olor (promedio \pm SEM) sexual de los machos foto-estimulados con días largos artificiales en condiciones intensivas (O) y machos foto-estimulados con días largos artificiales en condiciones extensivas (●).

6.1.5. Comportamiento Sexual

El número total de olfateos anogenitales que desplegaron los machos dentro de los días 0 y 5 de contacto con las hembras anéstricas fue mayor en los machos foto estimulados en condiciones intensivas que en los machos foto estimulados en condiciones extensivas ($P < 0.05$). No obstante, en las demás conductas que fueron determinadas (aproximaciones, intentos de monta, montas, auto marcaje y flehemen), no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre ambos grupos ($P > 0.05$: Figura 6).

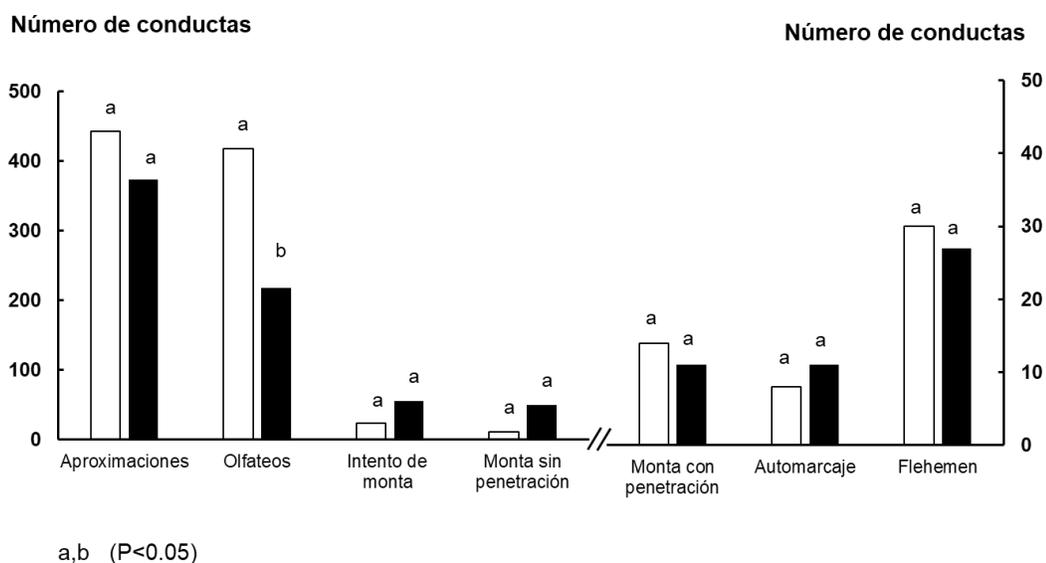


Figura 6. Despliegue del comportamiento sexual de los machos cabríos foto estimulados en condiciones intensivas (□) y de los machos foto estimulados en condiciones extensivas (■). Los machos fueron puestos en contacto con hembras anovulatorias y se registraron las conductas durante una hora diaria (08:00-09:00 hrs) los primeros 5 días de contacto.

6.2. Hembras

6.2.1. Conducta estral

El porcentaje total de hembras caprinas que manifestaron conducta estral en los primeros 5 días de contacto con los machos fue similar entre el grupo en contacto con machos estimulados en condiciones intensivas (12/22; 55%) y el grupo de hembras en contacto con machos estimulados en condiciones extensivas (15/21; 71%; $P>0.05$). De igual manera, no se registró diferencia en el porcentaje de hembras que manifestaron conducta estral entre el día 6 y 15 después de iniciado el contacto con los machos ($P>0.05$; 95 y 95 %, respectivamente). En la Figura 7 se muestra la distribución de estros de las hembras de los dos grupos en los 15 días de contacto con los machos.

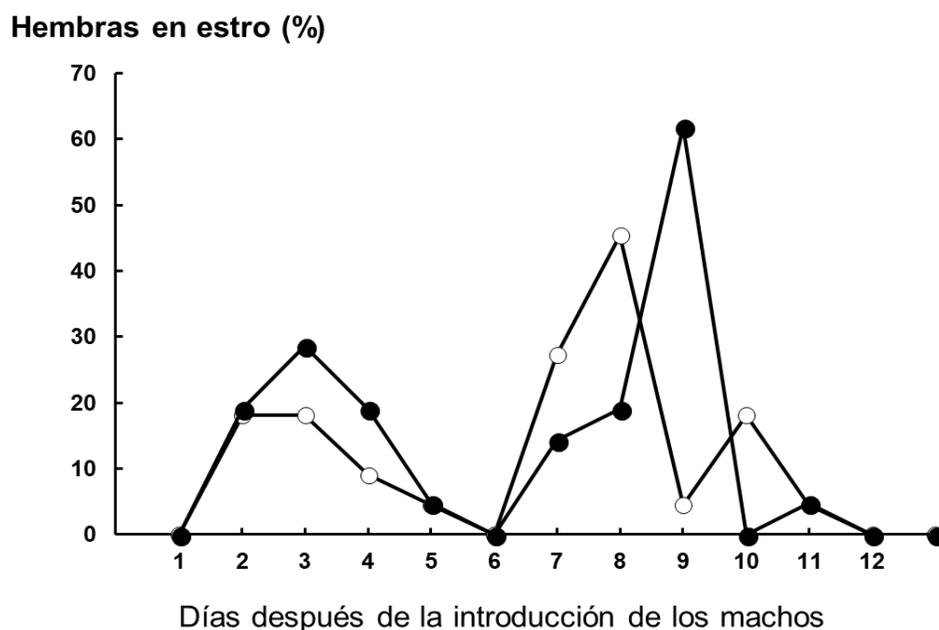


Figura 7. Porcentaje diario de las hembras que mostraron conducta estral a partir de que fueron puestas en contacto con los machos foto estimulados en condiciones intensivas (O) y extensivas (●).

6.2.2. Actividad ovulatoria

El porcentaje de hembras que ovularon del día 0 al día 6 y día 6 al 18 no fue diferente entre los dos grupos de hembras expuestas a machos tratados en intensivo y machos tratados en extensivo ($P>0.05$) figura 8. De igual manera, el porcentaje total de hembras que ovularon en los 18 días después de la introducción de los machos no fue diferente entre las hembras con machos tratados en intensivo (100% 22/22) y hembras con machos tratados en extensivo (95% 20/21).

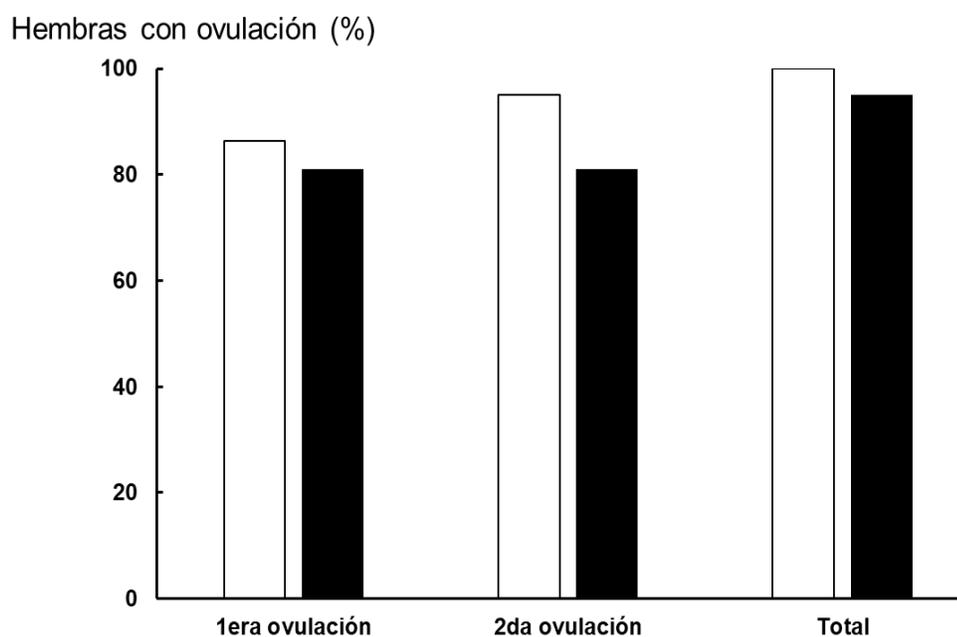


Figura 8. Porcentaje de hembras que ovularon del día 0 al 5 (primera ovulación), posteriormente del día 6 al 15 (segunda ovulación) y total de hembras que ovularon durante el tiempo de contacto con los machos fotoestimulados con días largos en condiciones intensivas (□) y machos en condiciones extensivas (■).

6.2.3. Latencia al estro

El intervalo entre la introducción de los machos y el inicio del estro no difirió entre el grupo de hembras expuestas a machos foto-estimulados en condiciones intensivas (58 ± 4.2 h) y el grupo de hembras expuestas a machos foto-estimulados en condiciones extensivas (55.2 ± 8.5 h).

6.2.4. Tasa ovulatoria

El número de cuerpos lúteos que presentaron las hembras en ambos ovarios, lo cual se determinó con dos ultrasonografías los días 6 y 18 después de haber sido puestas en contacto con los machos, fue similar en ambos grupos ($P > 0.05$). En efecto no hubo diferencia estadística significativa en la tasa ovulatoria de ambos grupos de hembras.

Cuadro 2. Tasa ovulatoria (promedio \pm SEM) de ambos grupos de hembras, determinada mediante dos ultrasonografías el día 6 y el día 18 después de haber sido puestas en contacto con los machos foto estimulados.

	Tasa ovulatoria	
	1ra ovulación (día 0 al 5)	2da ovulación (día 6 al 18)
<i>Hembras con machos en Intensivo</i>	1.3 \pm 0.12	1.7 \pm 0.12
<i>Hembras con machos en Extensivo</i>	1.1 \pm 0.07	1.6 \pm 0.13

6.2.5. Gestación

El porcentaje de hembras que se diagnosticaron gestantes al día 35 después de la introducción de los machos foto-estimulados en condiciones intensivas (77%) y en condiciones extensivas (76%), no fue diferente entre ambos grupos de hembras ($P>0.05$).

VII. DISCUSION

Los resultados del presente trabajo demuestran que el tratamiento fotoperiódico de días largos artificiales aplicado a machos cabríos mantenidos en condiciones manejo extensivas es efectivo para inducir su actividad sexual durante el periodo de reposo sexual natural. En efecto, variables como la circunferencia escrotal, la intensidad del olor y el comportamiento sexual fueron estimulados mediante el tratamiento fotoperiódico y estas variables fueron similares a los machos tratados en condiciones intensivas. Además, estos machos tratados en extensivo son capaces de inducir la actividad sexual de las cabras anéstricas mediante el efecto macho.

La respuesta encontrada en los machos tratados en condiciones extensivas coincide con la mayoría los estudios realizados anteriormente en la Comarca Lagunera donde se utiliza el tratamiento de días largos artificiales seguidos o no de la aplicación de melatonina, para inducir la actividad sexual de los machos cabríos durante el periodo de reposo sexual natural (Flores *et al.*, 2000; Delgadillo *et al.*, 2002; Rivas-Muñoz *et al.*, 2007; Luna-Orozco *et al.*, 2008; Ponce *et al.*, 2014). En todos los estudios, los machos tratados con días largos artificiales responden al tratamiento fotoperiódico y muestran un incremento en las concentraciones de testosterona, peso testicular, intensidad del olor y conductas sexuales durante el periodo de reposo sexual (Flores *et al.*, 2000; Delgadillo *et al.*, 2002; Rivas-Muñoz *et al.*, 2007; Ponce *et al.*, 2014).

Por otro lado, la condición corporal de los machos tratados con días largos artificiales en condiciones extensivas fue inferior durante todo el estudio con respecto a los machos foto-estimulados en condiciones intensivas. A pesar de ello los machos en extensivo respondieron al tratamiento fotoperiódico de manera similar a los tratados en condiciones intensivas. Lo anterior no coincide con estudios reportados en machos Cashmere en Australia (28° S) donde se demostró que cuando los machos sufren una desnutrición esto provoca un retraso en el inicio de la actividad sexual, indicado por un tardío incremento del

peso testicular, la secreción de testosterona y del olor sexual en comparación con los machos bien alimentados (Walkden-Brown *et al.*, 1994). Sin embargo, en el presente estudio a pesar de que los animales se encontraban en una condición corporal baja, tuvieron la capacidad de responder al tratamiento fotoperiódico. Esto demuestra que el fotoperiodo es el factor más importante en la regulación de la actividad sexual de estas especies estacionales y es probable que en estos machos, el fotoperiodo tenga una influencia mayor que la alimentación sobre la actividad sexual, así como se propuso para las razas originarias de zonas templadas (Malpoux *et al.*, 1999; Delgadillo 2009). El bajo peso y condiciones extensivas se debió muy probablemente a que la cantidad de alimento que consumían en el campo alcanzaba únicamente para los requerimientos de mantenimiento de dichos machos. Por el contrario, a los machos mantenidos en condiciones intensivas se les proporcionó alfalfa, además de 300g. de concentrado comercial por día y por animal. Al respecto, existen estudios que demuestran que los machos subalimentados, que no cubren sus requerimientos nutricionales ni en cantidad ni en calidad, el peso corporal se ve disminuido y esto se refleja también en su condición corporal. Cuando los requerimientos nutricionales básicos no logran ser cubiertos, comienzan a utilizar sus reservas corporales, con la consecuente pérdida de peso y bajas en la condición corporal. A su vez esto se ve reflejado en un bajo rendimiento productivo y reproductivo (Birkelo *et al.*, 1991; Ramírez-Pérez *et al.*, 2000; Gómez–Pasten *et al.*, 2000). Sin embargo, en nuestro estudio, a pesar de la baja condición corporal la cual fue resultado del pastoreo extensivo, estos machos en extensivo exhibieron un incremento en su actividad sexual en respuesta al tratamiento fotoperiódico al cual fueron sometidos. Este incremento en la actividad sexual se vio reflejado también la manifestación de conductas sexuales cuando los machos fueron expuestos a hembras anovulatorias en el mes de marzo.

Con respecto a las hembras, los resultados obtenidos permiten demostrar que los machos cabríos fotoestimulados en condiciones extensivas son capaces de inducir la actividad ovulatoria de las hembras anovulatorias. De hecho, el porcentaje de hembras que ovularon durante los 18 días que estuvieron en contacto con los machos tratados en condiciones extensivas fue de 90%, similar al grupo de hembras que fue expuesto a los machos tratados en condiciones intensivas.

La ausencia de diferencias entre las hembras en contacto con machos en extensivo y con machos en intensivo se debió probablemente al tratamiento fotoperiódico al cual fueron sometidos los machos de ambos grupos. En efecto, los machos tratados con días largos artificiales responden al tratamiento incrementando las concentraciones de testosterona, peso testicular, intensidad del olor y conductas sexuales durante el periodo de reposo sexual (Flores *et al.*, 2000; Delgadillo *et al.*, 2002). Es muy probable que el tratamiento fotoperiódico al cual fueron sometidos todos los machos fue suficiente para que éstos manifestaran conductas sexuales suficientes para desencadenar una respuesta sexual y reproductiva en las cabras. Recientemente se demostró que el comportamiento sexual desplegado por los machos sometidos a días largos contribuye a mantener una elevada secreción de LH en las hembras, permitiendo que una alta proporción de éstas ovule al ser expuestas a estos machos cabríos sexualmente activos (Martínez-Alfaro *et al.*, 2011). Los resultados encontrados en el presente estudio son originales y es la primera vez que se determina la capacidad de los machos tratados en condiciones extensivas para estimular la actividad sexual de las hembras anovulatorias mediante el efecto macho. Los resultados del presente trabajo permiten concluir que los machos cabríos foto-estimulados mantenidos en condiciones extensivas son capaces de inducir la actividad sexual de las cabras anéstricas mediante el efecto macho.

Finalmente, la implementación de un sistema de energía fotovoltaico en el tratamiento de días largos artificiales es buena alternativa para inducir la actividad sexual fuera de la estación natural en las regiones donde la energía eléctrica es escasa o no existe. Efectivamente, en las regiones subtropicales de México y el mundo, la mayoría de los productores caprinos se localizan en zonas suburbanas o rurales y no hay acceso a dicha energía. La implementación de un sistema de energía fotovoltaica es económica, accesible y fácil de usar en las condiciones que se encuentran la mayoría de los caprinocultores. Además, la energía eléctrica que producen las celdas fotovoltaicas resulta amigable con el medio ambiente.

VIII. CONCLUSIONES

Los días largos artificiales en efecto estimulan la actividad sexual de los machos cabríos mantenidos en condiciones extensivas.

Los machos cabríos foto-estimulados con días largos artificiales en condiciones extensivas son eficientes para inducir la actividad sexual de las cabras anovulatorias mediante el efecto macho.

IX. REFERENCIAS

- AMOAHA, E. A., S. GELAYE, P. GUTHRIE, and REXROAD C. E., Jr. Breeding season and aspects of reproduction of female goats. *Journal of Animal science*. 1996. 74:723–728.
- ARENDR, J. Melatonin and the pineal gland: influence on mammalian seasonal and circadian physiology. *Reproduction*. 1998. 3: 13-22.
- BEDOS, M., DUARTE, G., FLORES, J.A, FITZ-RODRIGUEZ, G., HERNANDEZ, H., VIELMA, J., FERNANDEZ, I., CHEMINEAU, P., KELLER, M. and DELGADILLO, J.A. Two or 24 h of daily contact with sexually active males' results in different profiles of LH secretion that both lead to ovulation in anestrus goats. *Domestic Animal Endocrinology*. 2014. 48: 93-99. DOI: 10.1016/j.domaniend.2014.02.003
- BIRKELO, C.P., JOHNSON, D.E., and PHETTEPLACE, H.P. Maintenance requirements of beef cattle as affected by season on different planes of nutrition. *Journal of Animal Science*. 1991. 69: 1214–1222.
- BOUKHLIQ, R. and MARTIN, G.B. Nutrition and reproduction in the ram in a Mediterranean environment Seminars Mediterranean; Seminar of the FAOCIHEAM Network of Cooperative Research on Sheep and Goats, Subnetwork on nutrition.1997. 34: 227-232.
- BLACHE, D., CHAGAS, M.L., BLACBERRY, A.M., VERCOE, P.E. and MARTIN, G.B. Metabolic factors affecting the reproductive axis in male sheep. *Reproduction Fertility and development*. 2000. 120: 1- 11.
- CHEMINEAU, P., GAUTHIER, D., POIRIER, J.C. and SAUMANDE, J. Plasma levels of LH, FSH, prolactin oestradiol-17 and progesterone during natural and induced oestrus in the dairy goat. *Theriogenology*. 1982. 17: 313–323.
- CHEMINEAU, P. Possibilities for using bucks to stimulate ovarian and oestrus cycles in anovulatory goats — a review. *Livestock Production Science*. 1987. 17: 135–147.
- CHIMINEAU P Médioambiente y reproducción animal. *World Animal Review*. 1993. 77: 2–14.
- CHEMINEAU, P., MALPAUX, B., DELGADILLO, J.A., GUÉRIN, Y., RAVAUULT, J.P., THIMONIER, J. and PELLETIER, J. Control of sheep and goat reproduction: use of light and melatonin. *Animal Reproduction Science*. 1992. 30: 157-184.

- CHEMINEAU, P. 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*. 1986. 26: 453–460.
- CRUZ-CASTREJÓN, V., VELIZ, F, G., RIVAS-MUÑOZ, FLORES, J.A., HERNÁNDEZ, H. and DUARTE, G. Respuesta de la actividad sexual a la suplementación alimenticia de machos cabríos tratados con días largos, con un manejo extensivo a libre pastoreo, *Técnica Pecuaria México*. 2007. 45: 93-100.
- DELGADILLO, J.A. and CHEMINEAU, P. Abolition of the seasonal release of luteinizing hormone and testosterone in Alpine male goats by short photoperiodic cycles. *Journal Reproduction Fertility*. 1992. 94: 45-55.
- DELGADILLO, J.A., HOCHEREAU-DE-REVIERS, M.T., DAVEAU. A. and CHEMINEAU, P. Effect of short photoperiodic cycles on male genital tract and testicular parameters in male goats (*Capra hircus*). *Reproduction Nutrition and Development*. 1995. 35: 549-558.
- DELGADILLO, J.A., CANEDO, G.A., CHEMINEAU, P., GUILLAUME, D. and MALPAUX, B. Evidence for an annual reproductive rhythm independent of food availability in male creole goats in subtropical northern Mexico. *Theriogenology*. 1999. 52: 727-737.
- DELGADILLO, J.A., CARRILLO, E., MORÁN, J., DUARTE, G., CHEMINEAU, P. and MALPAUX, B. Induction of sexual activity of male Creole goats in subtropical northern Mexico using long days and melatonin. *Journal of Animal Science*. 2001. 79: 2245-2252.
- DELGADILLO, J.A., FLORES, J.A., VÉLIZ, F.G., HERNÁNDEZ, H.F., DUARTE, G., VIELMA, J., POIDRON, P., CHEMINEAU, P. and MALPAUX, B. Induction of sexual activity in lactating anovulatory female goats using male goats treated only with artificially long days. *Journal of Animal Science*. 2002. 80: 2780-2786.
- DELGADILLO, J.A., FITZ-RODRÍGUEZ, G., DUARTE, G., VÉLIZ, F.G., CARRILLO, E. and FLORES, J.A. Management of photoperiod to control caprine reproduction in the subtropics. *Reproduction Fertility and Development*. 2004. 16:471-478. DOI: org/10.1071/RD04030
- DELGADILLO, J.A., CORTEZ, M.A., DUARTE, G., CHEMINEAU, P. and MALPAUX, B. Evidence that the photoperiod controls the annual changes in testosterone secretion, testicular and body weight in subtropical male goats. *Reproduction Nutrition and Development*. 2004b. 44: 183-193.
- DELGADILLO, J.A., GELEZ, H., UNGERFELD, R., HAWKEN, A.R. and MARTIN, G.B. The male effect in sheep and goats – revisiting the dogmas. *Behavioral Brain Research*. 2009. 200: 304-314.

DELGADILLO, J.A. Environmental and social cues can be used in combination to develop sustainable breeding techniques for goat reproduction in the subtropics. *Animal*. 2011. 5: 74–81.

DOI: [org/10.1017/S1751731110001400](https://doi.org/10.1017/S1751731110001400)

DONOVAN, A., BOLAND, M.P., ROCHE, J.F. and O'CALLAGHAN, D. The effect of supplementary long days, a subcutaneous melatonin implant and exposure to a ram on the onset of the breeding season in ewes. *Animal Reproduction Science*. 1994. 34: 231-240.

DUARTE, G., FLORES, J.A., MALPAUX, B. and DELGADILLO, J.A. Reproductive seasonality in female goats adapted to a subtropical environment persists independently of food availability. *Domestic Animal Endocrinology*. 2008. 35: 362–370.

DUARTE, G., NAVA-HERNÁNDEZ, M.P., MALPAUX, B. and DELGADILLO, J.A. Ovulatory activity of female goats adapted to the subtropics is responsive to photoperiod. *Animal Reproduction Science*. 2010. 120: 65-70.

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. Male reproductive condition is the limiting factor of efficiency in the male effect during seasonal anestrus in female goats. *Biology of Reproduction*. 2000. 62: 1409-1414.

FABRE-NYS, C. Hormonal and social control of sexual behavior in goats. *Production Animal*. 2000. 13: 11-23.

GOMEZ-BRUNET, A., SANTIAGO-MORENO, J., DEL CAMPO, A., MALPAUX, B., CHEMINEAU, P., TORTONESE, D.J., GONZALEZ-BULNES, A. and LOPEZ-SEBASTIAN, A. Endogenous circannual cycles of ovarian activity and changes in prolactin and melatonin secretion in wild and domestic female sheep maintained under a long-day photoperiod. *Biology of Reproduction*. 2008. 78: 552–562.

GÓMEZ-PASTÉN, M., MORA-IZAGUIRRE, O., VERA-AVILA, H., MELÉNDEZSOTO, R.M. and SHIMADA A. Fatty acid profiles in the adipose tissue of underfed goats. *Proceedings Western Section American Society of Animal Science*. 2000. 51: 552- 555.

KARSCH F., J., E. L. BITTMAN, D. L. FOSTER, R. L. GOODMAN, S. J. LEGAN, and J. E. ROBINSON. Neuroendocrine basis of seasonal reproduction. *Recent Progress in Hormone Research*. 1984. 40: 185-231.

- KARSCH, F.J., MALPAUX, B., WAYNE, N.L. and ROBINSON, J.E. Characteristics of the melatonin signal that provide the photoperiodic code for timing seasonal reproduction in the ewe. *Reproduction Nutrition and Development*. 1988. 28: 459-472.
- LEGAN, S.J. and KARSCH, F.J. Importance of retinal photoreceptors to the photoperiodic control of seasonal breeding in the ewe. *Biology of Reproduction*. 1983. 29: 316–325.
- LUNA-OROZCO, J.R., FERNÁNDEZ, I.G., GELES, H. and DELGADILLO, J.A. Parity of female goats does not influence their estrus and ovulatory responses to the male effect. *Animal Reproduction Science*. 2008. 106: 352-360.
- MALPAUX, B., ROBINSON, J.E., WAYNE, N.L. and KARSCH, F.J. Regulation of the onset of the breeding season of the ewe: importance of long days and of an endogenous reproductive rhythm. *Journal of Endocrinology*. 1989. 122: 269–278.
- MALPAUX, B., DAVEAU, A., MAURICE-MANDON, F., DUARTE, G. and CHEMINEAU, P. 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 micro implant delivery. *Journal of Endocrinology*. 1998. 139: 1508–1515.
- MALPAUX, B., THIÉRY J.C. and CHEMINEAU P. Melatonin and the seasonal control of reproduction. *Reproduction Nutrition and Development*. 1999. 339: 355-366
- MARTIN, G.B. and WALKDEN-BROWN, S.W. Nutritional influences on reproduction in mature male sheep and goats. *Journal of Reproduction and Fertility Supplement* . 1995. 49: 437-449.
- MOLOKWO, E.C.L. and LGNO, M.O. Reproductive performances and patterns in the brown goat of Nigerian savanna zone. In proc. *VIth Int. conf. On Anim. Prod., L. Verde & A. Fernández Eds*. Vol. 1978. 2: 1-11.
- MUÑOZ A. L., BEDOS M., AROÑA R. M., FLORES J. A., HERNÁNDEZ H., MOUSSU C., BRIEFER E. F., CHEMINEAU P., KELLER M. and DELGADILLO J. A. Efficiency of the male effect with photosimulated bucks does not depend on their familiarity with goats. *Physiology and Behavior*. 2016. 158: 137-142.
- OLDHAM, C.M., ADAMS, N.R., GHERARDI, P.B., LINDSAY, D.R. and MACKINTOSH, J.B. The influence of level of feed intake on sperm producing capacity of testicular tissue in the ram. *Australian Agriculture Research*. 1978. 29: 173-179.

- ORTAVANT, R., PELLETIER, J., RAVAULT, J.P., THIMONIER, J. and VOLLAND-NAIL, P. Photoperiod: main proximal and distal factor of circannual cycle of reproduction in farm mammals. *Oxford Reproduction Review Biology*. 1985. 7: 305-345.
- PELLETIER, J. and ALMEIDA, G. Short light cycles induce persistent reproductive activity in Ile-de-France rams. *Journal of Reproduction and Fertility Supplement*. 1987. 34: 215-226.
- PERKINS, A. and FITZGERALD, J.A. The behavioral component of the ram effect: The influence of ram sexual behavior on estrus in anovulatory ewes. *Journal of Animal Science*. 1994. 72: 51-55.
- PONCE, J.L., VELÁZQUEZ, H., DUARTE, G., BEDOS, M., HERNÁNDEZ, H. and KELLER, M. 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*. 2014. 48: 119-25.
- RAMÍREZ-PÉREZ, A.H., BUNTINX, S.E., TAPIA-RODRÍGUEZ, C. and ROSILES R. Effect of breed and age on the voluntary intake and the micromineral status of non-pregnant sheep. 1. Estimation of voluntary intake. *Small Ruminant Research*. 2000. 36: 49-55.
- RESTALL, B. J., RESTALL, H. and WALKDEN-BROWN, S. W. The induction of ovulation in anovulatory goats by oestrous females. *Animal Reproduction Science*. 1995. 40: 299–303. DOI:10.1016/0378-4320(95) 01433-0
- RIVAS-MUÑOZ, R., FITZ-RODRÍGUEZ, G., POINDRON, P., MALPAUX, B. and DELGADILLO, J.A. Stimulation of estrous behavior in grazing female goats by continuous or discontinuous exposure to males. *Journal of Animal Science*. 2007. 85: 1257-1263.
- RESTALL, B.J. Seasonal variation in reproductive activity in Australian goats. *Animal Reproduction Science*. 1992. 27: 305-318
- RIERA, S. Reproductive efficiency and management in goats. Proc. 3rd Inter. Conf. on Goat Prod. and Disease, Tucson, Arizona, USA. 1982. 162-174
- SYSTAT 13. Cranes Software International Ltd, San José, CA, USA 2010
- SANÉZ-ESCÁRCEGA, P., HOYOS, F.G.L., SALINAS, G.H., MARTÍNEZ, M., ESPINOZA, J., GUERRERO, A. and CONTRERAS, G.E. Establecimiento de módulos caprinos con productores cooperantes. En memorias, Evaluación de módulos caprinos en la Comarca Lagunera, SARH-INIFAP, Matamoros, Coahuila, México. 1991. P 124-34.

- SMITH, J.T., COOLEN, L.M., KRIEGSFELD, L.J., SARI, I.P., JAAFARZADEHSHIRAZI, M.R., MALTBY, M., BATEMAN, K., GOODMAN, R.L., TILBROOK, A.J., UBUKA, T., BENTLEY, G.E., CLARKE, I.J. and LEHMAN, M.N. Variation in kisspeptin and RFamide-related peptide (RFRP) expression and terminal connections to gonadotropin-releasing hormone neurons in the brain: a novel medium for seasonal breeding in the sheep. *Endocrinology*. 2008. 149: 5770–5782.
- SMITH, J.T. The role of kisspeptin and gonadotropin inhibitory hormone in the seasonal regulation of reproduction in sheep. *Domestic Animal Endocrinology*. 2012. 43: 75–84.
- VIELMA, J., CHEMINEAU, P., POINDRON, P., MALPAUX, B. and DELGADILLO, J.A. Male sexual behavior contributes to the maintenance of high LH pulsatility in anestrus female goats. *Hormone Behavior Research*. 2009. 56: 444-449.
- WLAKDEN- BROWN, S.W., RESTALL, B.J., NORTON, B.W., SCARAMUZZI, R.J. and MARTIN, G.B. Effect of nutrition on seasonal patterned of LH, FSH and testosterone concentration, testicular mass, sebaceous gland, volume and odour in Australian Cashmere goats *Reproduction*. 1994. 102: 351-360. DOI: [org/10.1530/jrf.0.1020351](https://doi.org/10.1530/jrf.0.1020351)
- WALKDEN-BROWN, S.W., MARTIN, G.B. and RESTALL, B.J. Role of male-female interaction in regulating reproduction in sheep and goats. *Reproduction*. 1999. 54: 243-257.
- ZARAZAGA, L.A., GUZMÁN, J.L., DOMINGUEZ, C., PÉREZ, M.C. and PRIETO, R. Effect of plane of nutrition on seasonality of reproduction in Spanish Payoya goats. *Animal Reproduction Science*. 2005. 87: 253-267.
- ZARAZAGA, L.A., CELI, I., GUZMAN, J.L. and MALPAUX, B. Melatonin concentrations in the two jugular veins, and relationship with the seasonal reproductive activity in goats. *Theriogenology*. 2010. 74: 221–228.
- ZARAZAGA, L.A., CELI, I., GUZMÁN, J.L. and MALPAUX, B. Enhancement of the male effect on reproductive performance in female Mediterranean goats with long day and/or melatonin treatment. *The Veterinary Journal*. 2012. 192: 441-444. DOI: [org/10.1016/j.tvjl.2011.09.012](https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2011.09.012)