

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



Estimulación de la testosterona plasmática de los machos cabríos  
foto-estimulados en condiciones extensivas utilizando un sistema de  
energía fotovoltaica.

Por:

**JOSÉ PABLO LIMA RAMOS**

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**MEDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA**

Torreón, Coahuila, México

Marzo de 2021

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

Estimulación de la testosterona plasmática de los machos cabríos foto-estimulados  
en condiciones extensivas utilizando un sistema de energía fotovoltaica.

Por:

**JOSÉ PABLO LIMA RAMOS**

TESIS


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

**MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA**

Aprobada por:

  
\_\_\_\_\_  
Dr. José Alfredo Flores Cabrera  
Presidente

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Horacio Hernández Hernández  
Vocal

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Juan Carlos Martínez Alfaro  
Vocal

  
\_\_\_\_\_  
MC. Andrés Sánchez Hernández  
Vocal Suplente (externo)

  
\_\_\_\_\_  
MVZ. JOSÉ GUADALUPE RODRÍGUEZ MARTÍNEZ  
Coordinador de la División Regional de Ciencia Animal

Torreón, Coahuila, México

Marzo de 2021

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

Estimulación de la testosterona plasmática de los machos cabríos foto-estimulados en condiciones extensivas utilizando un sistema de energía fotovoltaica.

Por:

**JOSÉ PABLO LIMA RAMOS**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA**

Aprobada por el Comité de Asesoría:

\_\_\_\_\_  
Dr. José Alfredo Flores Cabrera  
Asesor Principal

\_\_\_\_\_  
Dr. Horacio Hernández Hernández  
Co-asesor

\_\_\_\_\_  
Dr. Juan Carlos Martínez Alfaro  
Co-asesor

\_\_\_\_\_  
MVZ. JOSÉ GUADALUPE RODRÍGUEZ MARTÍNEZ  
Coordinador de la División Regional de Ciencia Animal

\_\_\_\_\_  
Torreón, Coahuila, México  
Marzo de 2021

## AGRADECIMIENTOS

Le **gradezco a dios** por permitirme llegar a este momento de mi vida, la salud brindada en estos momentos difíciles que nos enfrentamos como humanidad debido a la pandemia y por haberme dado la fortaleza de seguir en momentos de debilidad.

**A mis padres**, Dominga Brígida Ramos Sánchez y Pedro Ismael Lima Aranda a quienes amo inconmensurablemente, por haberme inculcado los valores de la vida y ser mi motivo para seguir adelante.

**A mis hermanos**, María de los Ángeles, Analy, Jimena y Juan Carlos por su apoyo emocional y afectuoso, por ser una bendición tenerlos como hermanos.

**A mis abuelos**, Livia Leonides Aranda Herrera, Valentina Victoria Sánchez Calderón, Celerino Ramos Trujillo y Leonides Ciriaco Lima Trujillo (en paz descanse) por el cariño incondicional que me han brindado.

**A mi tío**, Flavio Macario Ramos Sánchez, por el afecto y los sabios consejos en el momento oportuno.

**A mi Alma Mater**, por la formación académica brindada, por las buenas experiencias académicas, deportivas y sociales que viví en ella y tener la gratitud de conocer a personas y maestros que se volvieron tan buenos amigos.

**Al Dr. José Alfredo Flores Cabrera**, por la oportunidad de formar parte de esta investigación para realizar mi tesis de titulación, así como el apoyo y la amistad brindada desde el inicio de la carrera académica profesional. ¡Muchas gracias!

**Al M en C. Andrés Sánchez Hernández**, por el apoyo en el proceso de realización de tesis.

**A mis co-asesores, Dr. Horacio Hernández Hernández y Dr. Juan Carlos Martínez Alfaro**, por la atención brindada y la ayuda en la redacción de tesis.

## DEDICATORIA

Dedico mi tesis con todo cariño a **mis padres**, quienes me dieron vida, educación, su invaluable apoyo, amor, los valores y consejos inculcados a mí ser y por ser mi motivo a seguir adelante, ya que sin ellos no sería lo que soy.

### **A mis hermanos**

Quienes me apoyaron en todo momento que lo necesité desde que nací hasta la fecha, sus consejos, su afecto han sembrado frutos, los quiero mucho.

### **A mis abuelos**

Por sus bendiciones, cariño y apoyo en todo momento.

A mi amigo **Erick González Hernández**, por la amistad brindada durante tanto tiempo, los consejos, las palabras de aliento en momentos difíciles. ¡Gracias hermano!

## RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue determinar la respuesta sexual de los machos cabríos foto-estimulados mediante un sistema de energía fotovoltaica en condiciones de pastoreo extensivo. Se utilizaron 15 machos cabríos Criollos los cuales fueron distribuidos en tres grupos homogéneos (n=5 cada grupo) en cuanto a condición corporal y circunferencia escrotal. El grupo Control percibió las variaciones naturales del fotoperiodo de la región. Otros dos grupos recibieron un tratamiento de días largos artificiales (DL; 16h de luz/día). En uno de estos grupos (EE), se utilizó para el tratamiento fotoperiódico energía eléctrica convencional mientras que en el otro grupo (EF), se utilizó un sistema de energía fotovoltaica (energía solar). Los 3 grupos experimentales de machos salían a pastar diariamente junto con el resto del rebaño de las 09:00 a 17:00 horas. Al regresar del pastoreo, los machos se aislaban del resto del rebaño en corrales continuos donde recibían el tratamiento fotoperiódico. En los tres grupos se determinó el peso corporal, la circunferencia escrotal y las concentraciones plasmáticas de testosterona cada 15 días. En las concentraciones de testosterona, el ANOVA mostró un efecto del grupo ( $P < 0.01$ ), así como un efecto del tiempo (efecto tiempo;  $P < 0.001$ ) y estas variaciones fueron diferentes entre los grupos (interacción tiempo x grupo;  $P < 0.001$ ). La condición corporal de los tres grupos varió a través del estudio (efecto tiempo;  $P < 0.001$ ). La circunferencia escrotal de los tres grupos de machos mostró un efecto del tiempo ( $P < 0.001$ ) y estas variaciones fueron diferentes entre los grupos (interacción tiempo-grupo;  $P < 0.001$ ). Los resultados del presente trabajo demuestran que un sistema de energía fotovoltaica es efectivo para generar la energía eléctrica necesaria para realizar el tratamiento fotoperiódico para estimular la actividad sexual de los machos cabríos en condiciones extensivas.

**Palabras clave:** Machos cabríos, Tratamiento fotoperiódico, Energía fotovoltaica, Reposo sexual.

# Contenido

AGRADECIMIENTOS.....	i
DEDICATORIA.....	ii
RESUMEN .....	iii
INTRODUCCIÓN.....	1
REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
<b>1. Descripción de las variaciones estacionales de la reproducción de los caprinos.....</b>	<b>3</b>
<b>2. Factores del medio ambiente responsables de las variaciones estacionales de la reproducción .....</b>	<b>4</b>
<b>3. Tratamientos fotoperiódicos para inducir la actividad sexual de los machos cabríos .....</b>	<b>6</b>
<b>4. Descripción de los sistemas de producción caprina .....</b>	<b>8</b>
<b>5. Sistema de producción predominante en la Comarca Lagunera .....</b>	<b>8</b>
OBJETIVO.....	10
HIPOTESIS.....	10
MATERIALES Y MÉTODOS .....	11
<b>1. Ubicación del estudio.....</b>	<b>11</b>
2. Animales experimentales .....	11
3. Grupos experimentales .....	12
4. Variables evaluadas .....	13
<b>4.1. Condición corporal.....</b>	<b>13</b>
<b>4.3. Concentración plasmática de testosterona .....</b>	<b>14</b>
5. Análisis de datos .....	14
6. RESULTADOS .....	15
<b>6.1. Condición corporal.....</b>	<b>15</b>
<b>6.2. Circunferencia escrotal.....</b>	<b>15</b>
<b>6.3. Concentraciones plasmáticas de testosterona .....</b>	<b>15</b>
8. DISCUSIÓN.....	19
9. CONCLUSIONES.....	21





## INTRODUCCIÓN

En México, la producción caprina tiene un enorme valor debido a que en nuestro país existen aproximadamente 10 millones de cabezas de dicha especie. Esa cantidad de ganado se encuentra distribuido por todo el territorio nacional. Sin embargo, algunos estados como Guanajuato, Oaxaca, Puebla, Nuevo León, San Luis Potosí y Coahuila, acumulan el mayor porcentaje de esa población. En algunos estados la producción se basa únicamente en la producción de carne, mientras que otras regiones como la Comarca Lagunera la producción caprina está basada en la producción de carne (cabrito) y leche. Otra característica de la caprinocultura nacional es que la mayoría de las regiones donde se explotan los caprinos tienen características áridas y semiáridas y la mayoría de los caprinos son explotados en condiciones de pastoreo extensivas (Delgadillo *et al.*, 2017). Los animales generalmente salen a pastar por las mañanas y tardes consumiendo únicamente la vegetación natural disponible sin recibir alimentos complementarios. Durante la noche, los animales permanecen en corrales al aire libre cerca de la casa de los productores. En este sistema de producción, generalmente los machos y las hembras permanecen juntos durante todo el año y las hembras se usan para producir leche y cabrito. Además, una de las principales limitantes en la producción de caprinos es la marcada estacionalidad reproductiva que manifiestan tanto machos como hembras (Delgadillo *et al.*, 1999; Duarte *et al.*, 2008). Debido a esta estacionalidad, la mayoría (>80 %) de las cabras tienen sus partos entre los meses de diciembre a enero y ello ocasiona que la producción de leche y cabritos esté disponible y se acumule en esa época del año (Sáenz-Escárcega *et al.*, 1991). Lo anterior provoca que el precio de los mismos disminuya considerablemente. Además, existe una alta mortalidad de las crías al nacer durante el invierno. Esos problemas pueden ser atenuados si parte de los partos de las hembras ocurren fuera de la estación natural. Sin embargo, para que ello ocurra es necesario realizar los empadres fuera de la época natural de reproducción. Durante los últimos 20 años se han desarrollado diversos métodos para el control de la reproducción caprina. Algunos de ellos involucran el uso de hormonas exógenas, lo que conlleva un alto costo y la asistencia de un

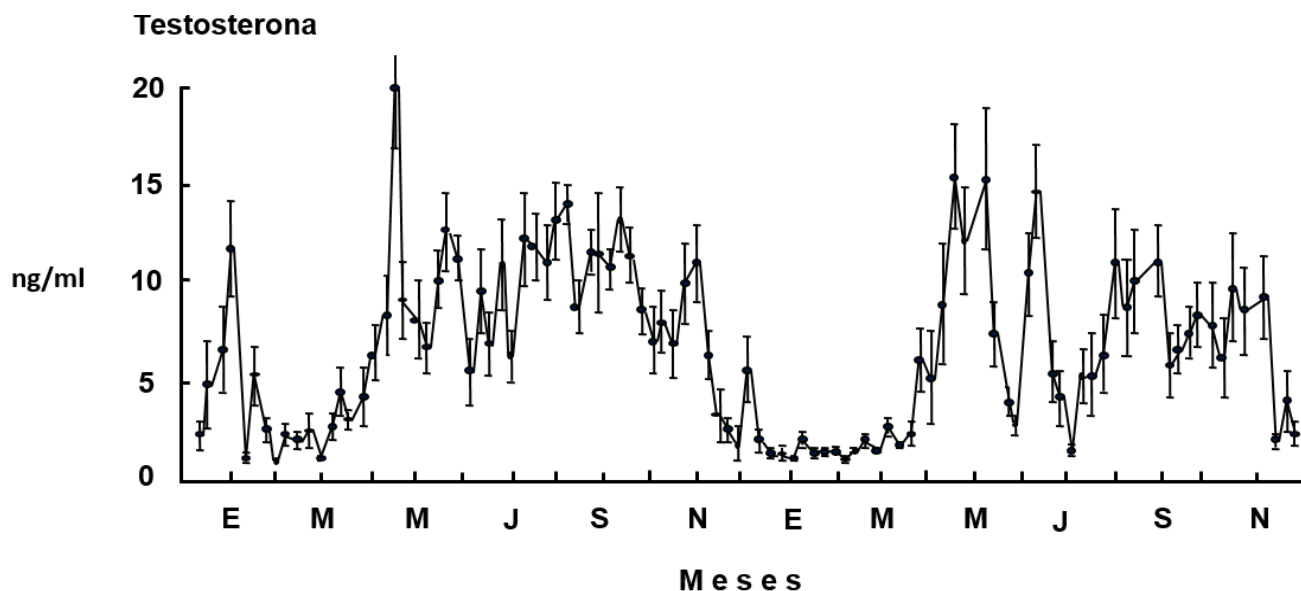
técnico por lo cual muy pocos productores tienen acceso a dichas técnicas. Otros métodos están basados en la manipulación del número de horas luz que los animales perciben diariamente. Por ejemplo, es posible inducir la actividad sexual de los machos durante el periodo de reposo sexual al exponerlos en el otoño e invierno (días cortos naturales) a días largos artificiales durante 2.5 meses (16 horas luz por día; Flores *et al.*, 2000; Delgadillo *et al.*, 2002; 2009). Estos machos foto-estimulados fotoperiódicamente mejoran la calidad de sus señales (olor y comportamiento sexual) como consecuencia del incremento de la secreción de testosterona (Perkins y 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 la actividad sexual de los machos cabríos fuera del periodo normal de reproducción. Sin embargo, dicho tratamiento sólo está disponible para aquellos productores que cuentan en sus instalaciones con energía eléctrica para realizar el tratamiento fotoperiódico. La mayoría de los productores caprinos se encuentran fuera del área urbana y por lo tanto no tienen acceso a la energía eléctrica. Por ello, es necesario implementar un sistema que no dependa del acceso a la energía eléctrica para realizar el tratamiento fotoperiódico. Una opción es diseñar un sistema de energía solar que sea económico y fácil de utilizar en las condiciones que se encuentran la mayoría de los caprinocultores de la Región Lagunera y de otras regiones del País. El objetivo de este proyecto es diseñar e implementar un sistema de energía solar para realizar el tratamiento fotoperiódico de días largos artificiales y determinar la respuesta sexual de los machos tratados en condiciones extensivas y compararla con la respuesta de los machos tratados utilizando la energía eléctrica.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### 1. Descripción de las variaciones estacionales de la reproducción de los caprinos

A excepción de las regiones ecuatoriales, en todas las otras regiones del mundo los animales son expuestos a cambios estacionales de las condiciones ambientales como la temperatura y la duración del día. En los mamíferos la duración del día y la disponibilidad de alimentos determinan el periodo de reproducción. Para adaptarse a esas variaciones, la mayoría de las especies presentan ciclos estacionales fisiológicos, de comportamiento y morfológicos (Malpaux, 2001). En las regiones templadas o frías, los mamíferos encuentran las condiciones favorables para la supervivencia y crecimiento de las crías durante la primavera y el verano. En los mamíferos de regiones tropicales y subtropicales, la estación de lluvias es el factor determinante. Las diferentes especies de mamíferos, a lo largo de su evolución, han desarrollado una estacionalidad en su actividad reproductiva; es decir, el cese o manifestación de la actividad reproductiva durante un periodo específico del año (Bronson, 1985). Esta estrategia se desarrolló para hacer frente a las adversidades climáticas y de escases de alimento presentadas en algunas épocas del año para asegurar el mayor índice de sobrevivencia de sus crías (Malpaux *et al.*, 2006). Además de esto, la madre tiene mayores posibilidades de tener una mejor alimentación y en consecuencia una mejor producción láctea para ofrecer a sus crías (Lincoln y Short, 1980). En el caso particular de las hembras caprinas locales de la Región Lagunera (26° latitud Norte), la estación reproductiva es registrada durante los meses de otoño e invierno (agosto-febrero; Duarte *et al.*, 2008). Durante este periodo de actividad sexual presentan ciclos estros y ovulatorios, en promedio cada 21 días (Chemineau *et al.*, 1992). En contraste, el anestro estacional ocurre durante primavera y verano, (marzo a julio; Duarte *et al.*, 2008). Durante ese periodo la mayoría de las hembras cesan su actividad sexual (no se registran estros ni ovulaciones). Los machos cabríos locales de esta misma región presentan actividad sexual de mayo a diciembre y se caracteriza por elevadas concentraciones plasmáticas de testosterona, un intenso comportamiento, un

incremento en la intensidad del olor sexual, un elevado peso testicular, así como un incremento en la cantidad y calidad de los espermatozoides (Delgadillo *et al.*, 1999). En cambio, en el periodo de reposo el cual ocurre de enero a abril, las variables mencionadas anteriormente disminuyen marcadamente (Figura 1; Delgadillo *et al.*, 1999).

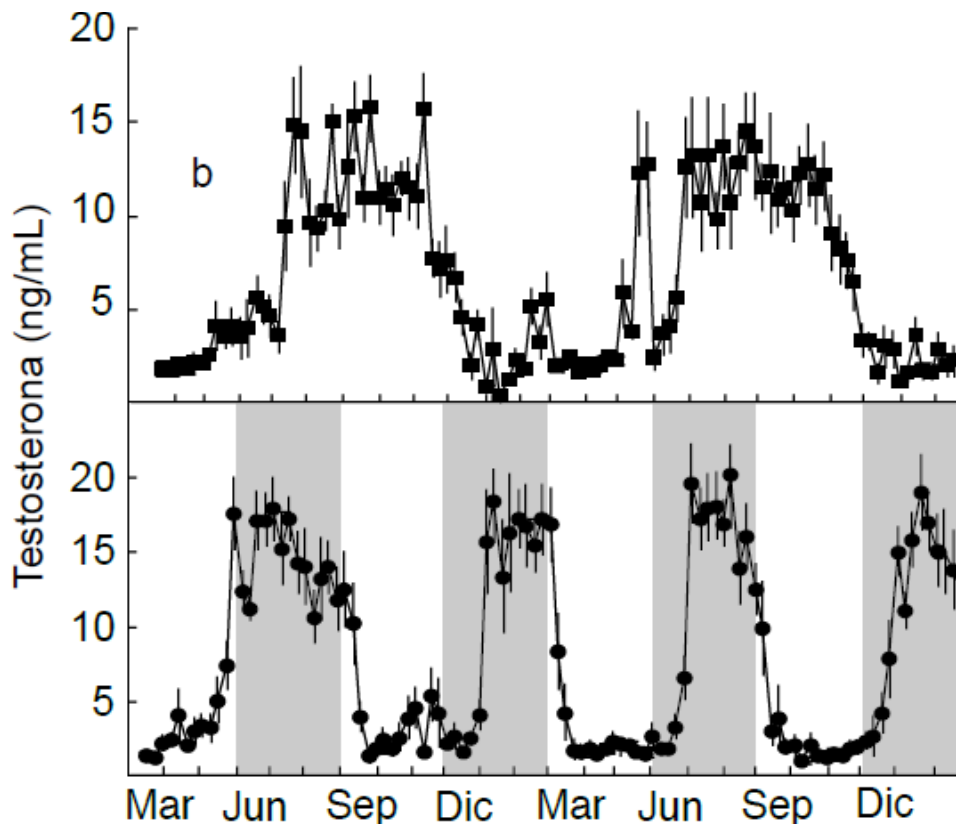


**Figura 1.** Variaciones estacionales de las concentraciones plasmáticas de testosterona de los machos cabríos Criollos locales de la Comarca Lagunera (26° N) bajo las variaciones naturales del fotoperiodo y de la temperatura de la región (Delgadillo *et al.*, 1999).

## 2. Factores del medio ambiente responsables de las variaciones estacionales de la reproducción

De los factores del medio ambiente o climáticos que influyen en los ciclos anuales de reproducción, las variaciones diarias en la duración del día o fotoperiodo son el indicador más preciso para regular el periodo de la reproducción (Malpoux, 2001). La influencia del fotoperiodo sobre la reproducción ha sido demostrada en numerosas especies de mamíferos. Por ejemplo, en el hamster, la exposición diaria a 8 horas de luz causa una disminución de la espermatogénesis en los machos y una suspensión de las ovulaciones en las hembras comparado con aquellos animales que son mantenidos en días largos donde permanece la expresión de la actividad sexual (Arent, 1998). En el carnero,

la reducción a 6 meses del ciclo fotoperiódico anual provoca la aparición de dos estaciones sexuales por año, sin manipular otras variables del ambiente (Lincoln, 1989). Los aumentos o disminuciones abruptas del fotoperiodo provocan los mismos efectos en la reproducción que los cambios progresivos. Por ejemplo, en las ovejas sometidas a alternancias de días cortos y días largos por periodos de 90 días, la actividad ovárica cesa 20 o 30 días después de pasar a días largos. Por el contrario, se reanuda la actividad ovárica 50 días después de pasar de días largos a cortos (Karsch *et al.*, 1984). De manera similar, en los machos cabríos de la Comarca Lagunera se demostró que el fotoperiodo es el principal factor responsable de regular la actividad sexual anual. Por ejemplo, los machos de la región cuando se someten, en una habitación fotoperiódica, a periodos de tres meses de días largos (14 horas de luz/día) y tres meses de días cortos (10 horas de luz/día) durante dos años consecutivos, la secreción de testosterona se incrementa durante los días cortos y disminuye durante los días largos (Figura 2; Delgadillo *et al.*, 2004).

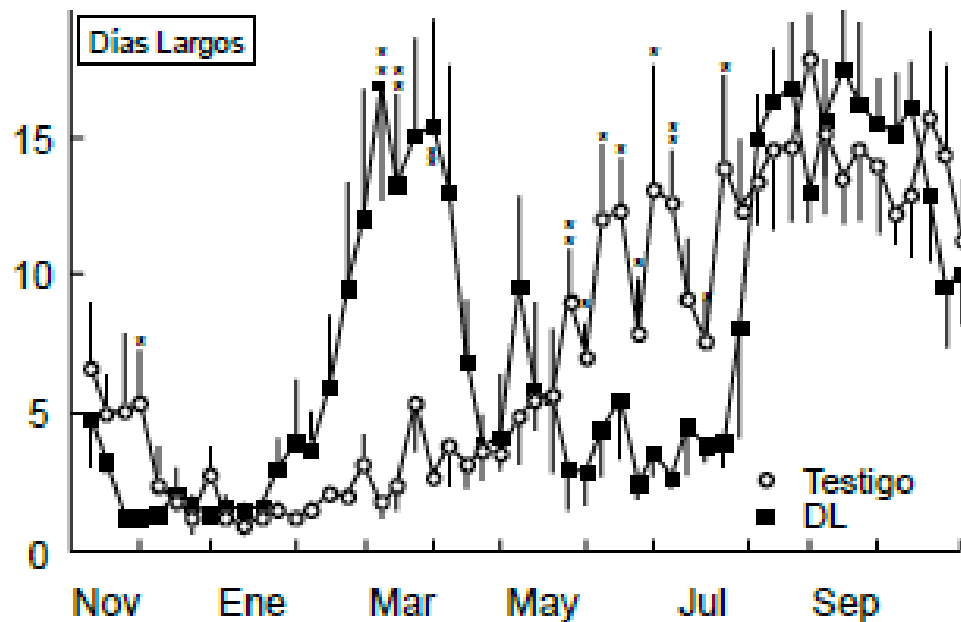


**Figura 2.** Variaciones de las concentraciones plasmáticas de testosterona (media  $\pm$  SEM) en los machos cabríos de la Comarca Lagunera ubicada en el subtrópico mexicano (26°N). Un grupo percibió las variaciones naturales del fotoperiodo y temperatura ambiental de la región (a). El otro grupo de machos fue sometido a periodos alternos de tres meses de días largos (14 horas de luz/día) y tres meses de días cortos (10 horas de luz/día), durante dos años consecutivos (b). Las áreas grises indican los meses de días cortos (Adaptado de Delgadillo *et al.*, 2004).

### **3. Tratamientos fotoperiódicos para inducir la actividad sexual de los machos cabríos**

Los avances en las investigaciones acerca el fotoperiodo como principal factor que regula la actividad sexual de los machos cabríos locales, ha permitido desarrollar tratamientos para manipular la actividad sexual de los mismos. Para ello, los animales deben percibir alternancias entre días largos y días cortos para evitar la aparición de un estado refractario. Los días largos se pueden proporcionar con una iluminación complementaria a la luz natural, y los días cortos se simulan aplicando implantes de melatonina o usando días cortos artificiales o el fotoperiodo natural. En los machos ovinos y caprinos, los tratamientos fotoperiódicos basados en la sucesión de días largos artificiales seguidos del fotoperiodo natural o de la aplicación de 2-3 implantes subcutáneos de melatonina, permiten inducir la actividad sexual fuera de la estación reproductiva natural. Por ejemplo, en carneros de la raza Ile de France, la aplicación de un tratamiento fotoperiódico de 2 meses de DL artificiales (16 h de luz) a partir de enero seguidos de la inserción de 2 implantes subcutáneos de melatonina estimula la actividad sexual a partir de abril (Chemineau *et al.*, 1992; Arranz *et al.*, 1995). Algo similar ocurre cuando los machos cabríos de las razas Alpina y Saanen, se exponen a 2 o 3 meses de DL artificiales a partir de diciembre seguidos del fotoperiodo natural o de la inserción subcutánea de 2 implantes de melatonina, estimulan la actividad sexual a partir de abril-mayo (Chemineau *et al.*, 1992b; Pellicer-Rubio *et al.*, 2007). En los machos cabríos de la Comarca Lagunera, se demostró que 2.5 meses de días largos (16 hrs de luz/día) a partir del 1 de noviembre, seguidos de la aplicación subcutánea de dos implantes de melatonina (18 mg c/u), permite inducir una intensa actividad sexual durante el

periodo natural de reposo. Cuando los machos cabríos son tratados de esta manera, los niveles plasmáticos de testosterona, así como el comportamiento sexual son superiores a los registrados en los machos que no son tratados (Flores *et al.*, 2000; Delgadillo *et al.*, 2002; Ponce *et al.*, 2014). Estudios posteriores permiten simplificar este tratamiento al eliminar la aplicación de melatonina exógena (Delgadillo *et al.*, 2002). La sola aplicación de 2.5 meses de días largos a partir del 1 de noviembre, seguido de días cortos naturales estimula la secreción de testosterona, la libido y el comportamiento sexual similar a lo registrado en los machos tratados con días largos y melatonina (Delgadillo *et al.*, 2002).



**Figura 3.** Variaciones de las concentraciones plasmáticas de testosterona (promedio  $\pm$  SEM) en 3 grupos de machos locales del subtrópico mexicano (26°N) sometidos a las variaciones naturales del fotoperiodo (testigo, o), o a 2.5 meses de días largos artificiales (16 h de luz) a partir del 1 de noviembre de días naturales ( $\square$  Delgadillo *et al.*, 2002).

#### **4. Descripción de los sistemas de producción caprina**

Los sistemas de producción caprina se podrían agrupar en dos grupos, intensivo y extensivo. El sistema de producción intensivo puede ser: sistema intensivo de tipo pastoril y sistema intensivo de manejo estabulado sin pastoreo. En el sistema intensivo en ocasiones se utilizan 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). Los sistemas extensivos son aquellos sistemas donde los pequeños rumiantes obtienen su alimento en 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).

#### **5. 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 proporcione 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. Por ello, la mayoría de las fecundaciones ocurren de manera natural 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 ocasiona una reducción dramática de la disponibilidad de alimentos para las madres y 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.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

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). Durante muchos años se ha demostrado la efectividad de este tratamiento para inducir la actividad sexual de los machos cabríos fuera del periodo normal de reproducción. Sin embargo, este tratamiento podría ser utilizado por aquellos productores que cuentan en sus instalaciones con energía

eléctrica para realizar el tratamiento fotoperiódico. La mayoría de los productores caprinos se encuentran en áreas rurales y la mayoría no tiene acceso en sus instalaciones a la energía eléctrica. Por ello, es necesario implementar un sistema que no dependa del acceso a la energía eléctrica para realizar el tratamiento fotoperiódico. La mejor opción, si se desea realizar el tratamiento fotoperiódico en condiciones extensivas, sería diseñar un sistema de energía fotovoltaica que sea económico y fácil de utilizar en esas condiciones que se encuentran la mayoría de los caprinocultores de la Región Lagunera y de otras regiones del país. Por ello, el objetivo de este proyecto es diseñar e implementar un sistema de energía solar para realizar el tratamiento fotoperiódico de días largos artificiales y determinar la respuesta sexual de los machos tratados en condiciones extensivas y compararla con la respuesta de los machos tratados utilizando la energía eléctrica.

### **OBJETIVO**

El objetivo de este proyecto es diseñar un sistema de energía solar para realizar el tratamiento fotoperiódico de días largos artificiales y determinar la respuesta sexual de los machos tratados de esta manera y compararla con la respuesta de los machos tratados utilizando la energía eléctrica convencional.

### **HIPOTESIS**

En los machos cabríos sometidos a días artificiales mediante un sistema de energía fotovoltaica la respuesta sexual es similar a la respuesta sexual de los machos tratados con energía eléctrica convencional.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### 1. Ubicación del estudio

El presente estudio fue realizado en el ejido Santo Tomas, municipio de Matamoros Coahuila. Se utilizaron machos y cabras locales de la Comarca Lagunera de 3-4 años de edad al inicio del estudio, La región lagunera se encuentra en el estado de Coahuila, México (latitud, 26 230 N y longitud 104 470 W). En esta región el fotoperiodo tiene una variación de 13 horas (h) 41 minutos (min) de luz en el solsticio de verano y 10 horas 19 minutos en el solsticio de invierno. Esta región tiene un clima seco con precipitaciones pluviales anuales de 266 mm (rango: 163 a 504 mm), las cuales generalmente ocurren entre los meses de junio a septiembre con una variabilidad amplia. Las temperaturas oscilan de 40°C como máximas entre mayo y agosto a 5°C como mínimas entre diciembre-enero.

### 2. Animales experimentales

Se utilizaron 15 machos cabríos Criollos adultos de 3-4 años de edad, los cuales fueron divididos en 3 grupos homogéneos de acuerdo a la condición corporal y diámetro testicular (Tabla 1). Todos los machos se alojaron en un rebaño privado ubicado en el Ejido Santo Tomás, Municipio de Matamoros, Coahuila. Los machos de los 3 grupos salían diariamente a pastorear junto con resto del rebaño de 9:00 AM a 6:00 PM. Al regresar del pastoreo, los machos eran separados del resto del rebaño y eran alojados en un corral continuo donde recibieron el tratamiento fotoperiódico de días largos artificiales (16h luz/día) del 1 de noviembre al 15 de enero.

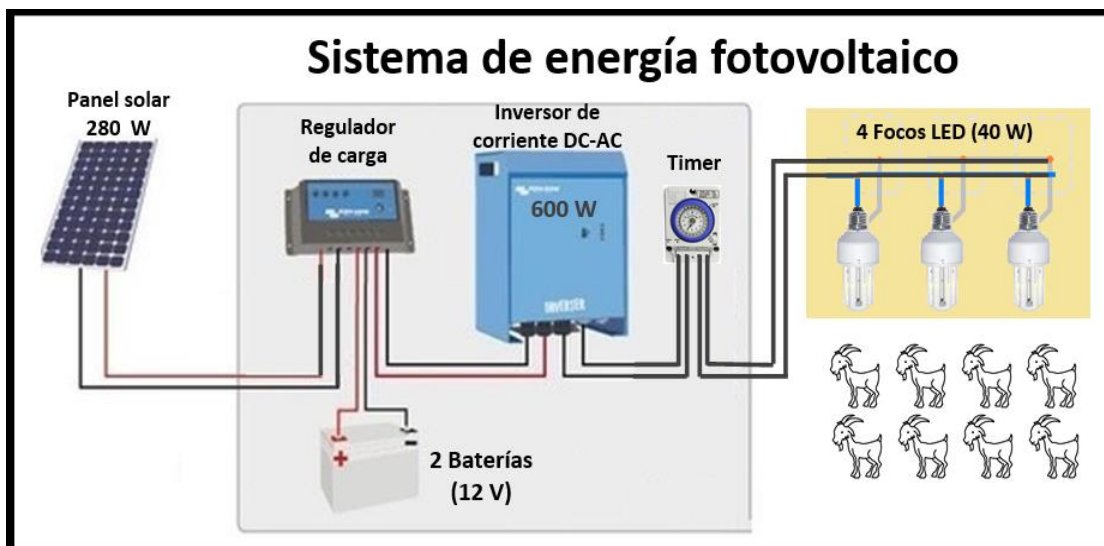
**Tabla 1.** Condición corporal y circunferencia escrotal de los machos cabríos de los tres grupos al inicio del estudio (noviembre).

<b>Grupos</b>	<b>n</b>	<b>Condición corporal</b>	<b>Circunferencia escrotal</b>
Control	5	1.7 ± 0.1 <sup>a</sup>	28.9 ± 0.8 <sup>a</sup>
Eléctrico extensivo	5	1.8 ± 0.2 <sup>a</sup>	28.2 ± 0.8 <sup>a</sup>
Fotovoltaico extensivo	5	1.8 ± 0.1 <sup>a</sup>	29.2 ± 0.9 <sup>a</sup>

### 3. Grupos experimentales

Un grupo de machos (Control; n=5) fue expuesto a las variaciones naturales del fotoperiodo de la región (10 h 19 min de luz/día en el solsticio de invierno). Otros dos grupos de machos recibieron un tratamiento de días largos artificiales, el cual consistió en proporcionar 16 horas de luz por día. En uno de estos grupos (EE; n=5) el tratamiento fotoperiodo se realizó utilizando energía eléctrica convencional. En el otro grupo tratado (EF; n=5), el tratamiento fotoperiodo se realizó mediante el uso de un sistema de energía fotovoltaica (solar). 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 4).

En los dos grupos tratados, se combinaron la luz artificial y natural. Para ello, se utilizaron 2 timers, los cuales fueron programados para controlar el encendido y apagado de los focos. En ambos grupos, las lámparas se encendieron a las 5:00 AM y se apagaron a las 8:00 AM, cuando ya existía suficiente luz natural. Posteriormente, las lámparas se encendieron a las 5:00 PM (antes del anochecer) y se apagaron a las 9:00 pm. Lo anterior garantizó que los animales percibieran 16 horas de luz por día. Este procedimiento se repitió diariamente del 1 de noviembre al 15 de enero. A partir del 16 de enero, los machos de todos los grupos percibieron las variaciones naturales del fotoperiodo de la región.



**Figura 4.** Diagrama del sistema de energía fotovoltaico aislado (tipo isla) que se utilizó para el tratamiento de días largos artificiales del 1 de noviembre al 15 de enero.

#### 4. Variables evaluadas

##### 4.1. Condición corporal

La condición corporal fue determinada cada 15 días en los tres grupos durante todo el estudio por medio de la técnica descrita por Walken-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 utiliza una escala de valores con una precisión de 0.5 que van del 1 al 4.

##### 4.2. Circunferencia escrotal

La circunferencia escrotal se determinó cada 15 días a partir del 1 de noviembre hasta el 30 de abril. Para ello se midió la parte más ancha de ambos testículos utilizando una cinta métrica flexible graduada en milímetros.

#### **4.3. Concentración plasmática de testosterona**

Se determinaron las concentraciones plasmáticas de testosterona en los machos de los tres grupos. Para ello, se obtuvieron muestras sanguíneas por venopunción yugular, las muestras sanguíneas fueron colectada en tubos de 5 ml, posteriormente sometidas a un proceso de centrifugado a 2500 rpm durante 30 minutos, para recuperar el plasma sanguíneo, este proceso se realizó cada quince días a partir de la segunda semana de enero al 30 de marzo. La testosterona plasmática se determinó mediante la técnica de ELISA en un solo ensayo cuya variabilidad fue de 0.3 ng/ml.

#### **5. Análisis de datos**

Las concentraciones de testosterona plasmática y la circunferencia escrotal se analizaron mediante un análisis de varianza considerando dos factores (grupo y tiempo del experimento). Si existía efecto de grupo o una interacción tiempo x grupo se realizó una comparación dos a dos. La condición corporal de los tres grupos fue analizada mediante la prueba no paramétrica "U" de Mann-Whitney.

## 6. RESULTADOS

### 6.1. Condición corporal

La condición corporal de los machos de los tres grupos varió a través del estudio (efecto tiempo del estudio;  $P < 0.001$ ). Además, estas variaciones de la condición corporal fueron diferentes entre los grupos ( $P < 0.001$ ). Las diferencias quincenales registradas en los grupos se muestran en la Figura 5.

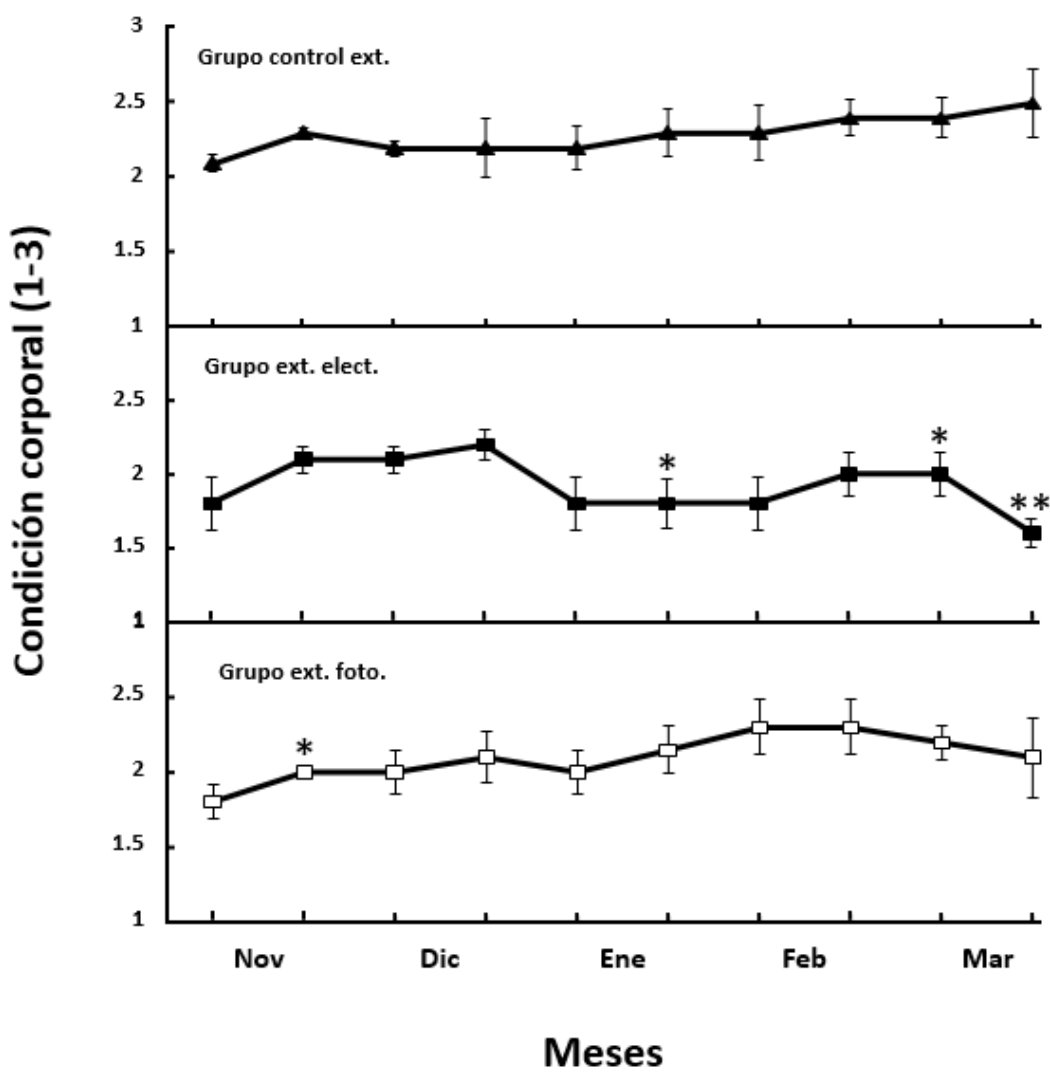
### 6.2. Circunferencia escrotal

La circunferencia escrotal de los machos de los tres grupos varió a través del estudio (efecto tiempo;  $P < 0.001$ ) y estas variaciones fueron diferentes entre los grupos (interacción tiempo-grupo;  $P < 0.001$ ). La circunferencia escrotal en el Grupo Control bajó considerablemente desde el inicio del estudio en noviembre ( $28.9 \pm 0.8$ ) hasta llegar a su nivel más bajo el 30 de enero ( $26.6 \pm 0.8$ ). Posteriormente se incrementó ligeramente hasta el final del estudio ( $27.4 \pm 0.6$ ). En el grupo tratado con energía eléctrica convencional, la circunferencia escrotal fue de ( $28.2 \pm 0.9$ ) al inicio del estudio, posteriormente disminuyó hasta alcanzar ( $25.4 \pm 0.6$ ) el 30 de diciembre y posterior a esa fecha se incrementó gradualmente hasta el final del estudio ( $29.0 \pm 0.8$ ). En el grupo tratado con energía fotovoltaica la circunferencia escrotal disminuyó paulatinamente del inicio del estudio ( $29.2 \pm 0.8$ ) hasta llegar a su nivel más bajo el 30 de diciembre ( $27.0 \pm 0.6$ ) y a partir de esa fecha se incrementó gradualmente hasta alcanzar su valor más alta al final del estudio ( $31.1 \pm 0.5$ ). Las diferencias quincenales registradas en los 3 grupos de macho se muestran en la Figura 6.

### 6.3. Concentraciones plasmáticas de testosterona

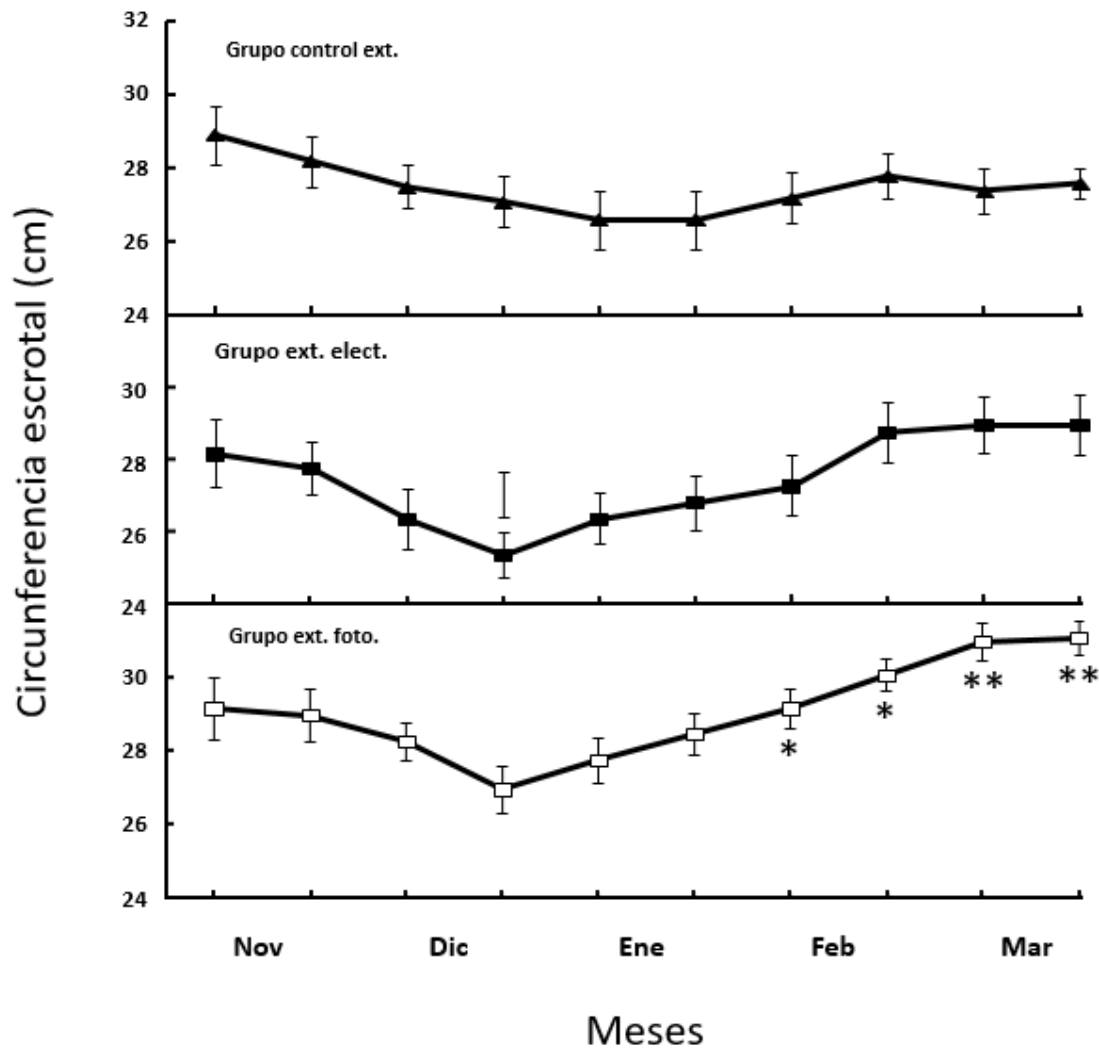
El análisis de varianza mostró un efecto del grupo ( $P < 0.01$ ). De igual manera, las concentraciones plasmáticas de testosterona de los tres grupos variaron a través de los meses de estudio (efecto tiempo;  $P < 0.001$ ) y estas variaciones fueron diferentes entre los grupos (interacción tiempo x grupo;  $P < 0.001$ ). En el grupo

control, las concentraciones plasmáticas de testosterona se mantuvieron bajas durante todo el estudio. Por el contrario, en los grupos tratados con días largos artificiales las concentraciones de testosterona se incrementaron a partir de febrero en el grupo tratado con energía eléctrica convencional ( $6.2 \pm 1.9$ ) y a partir de la primera semana de marzo en el grupo tratado con energía fotovoltaica ( $4.2 \pm 0.8$ ). En ambos grupos, los valores máximos se alcanzaron el 23 de febrero ( $12.5 \pm 1.7$ ) en el grupo eléctrico convencional y el 23 marzo ( $16.1 \pm 3.9$ ) en el de energía fotovoltaica. Las diferencias quincenales registradas entre los machos de los 3 grupos se muestran en la Figura 7.



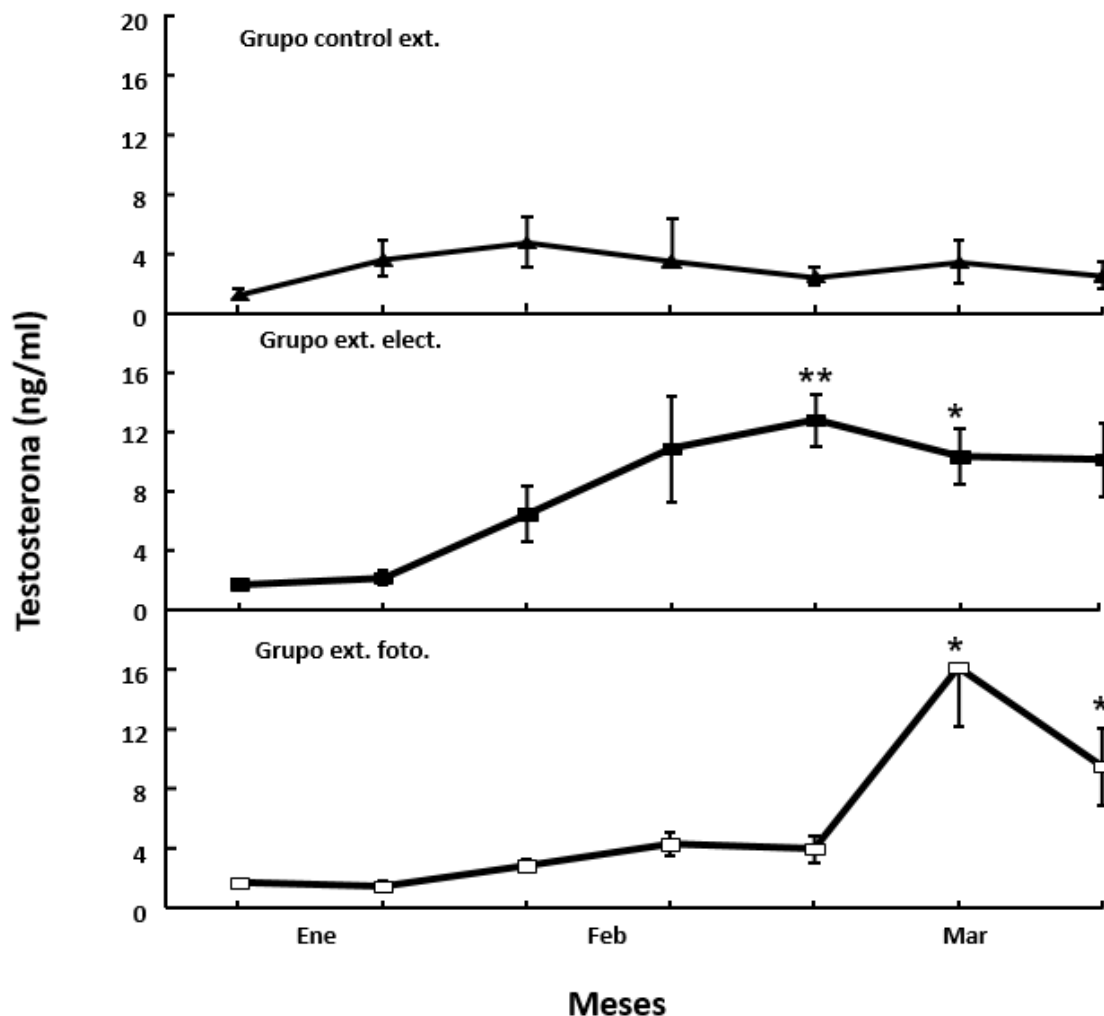


**Figura 5.** Variaciones de la condición corporal de los machos sometidos a días largos artificiales en los cuales se utilizó un sistema de energía fotovoltaica o energía eléctrica convencional. Lo machos control (◆) percibieron las variaciones naturales del fotoperiodo de la región. Lo machos del grupo EE (■) fueron sometidos a días largos artificiales utilizando energía eléctrica convencional. Los machos del grupo EF (□) se sometieron a días largos artificiales utilizando un sistema de energía fotovoltaica.



**Figura 6.** Circunferencia escrotal de los machos tratados con días largos artificiales en condiciones de pastoreo extensivo en los cuales se utilizó un sistema de energía fotovoltaica o energía eléctrica convencional. Lo machos control (◆) percibieron las variaciones naturales del fotoperiodo de la región. Lo machos del grupo EE (■) fueron sometidos a días largos artificiales utilizando

energía eléctrica convencional. Los machos del grupo EF (□) se sometieron a días largos artificiales utilizando un sistema de energía fotovoltaica.



**Figura 7.** Concentraciones plasmáticas de testosterona plasmática de los machos sometidos días largos artificiales en los cuales se utilizó un sistema de energía fotovoltaica o energía eléctrica convencional. Lo machos control (◆) percibieron las variaciones naturales del fotoperiodo de la región. Lo machos del grupo EE (■) fueron sometidos a días largos artificiales utilizando energía eléctrica convencional. Los machos del grupo EF (□) se sometieron a días largos artificiales utilizando un sistema de energía fotovoltaica.

## 8. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este estudio demuestran que un sistema de energía fotovoltaica es efectivo para realizar el tratamiento de días largos artificiales de los machos cabríos en condiciones extensivas. En efecto, las variables evaluadas como la circunferencia escrotal y las concentraciones de testosterona, indicativos de la actividad sexual de los machos, fue muy similar a la respuesta los machos tratados con días los cuales se utilizó un sistema de energía eléctrica convencional. En ambos grupos, la respuesta observada en los machos tratados coincide con la mayoría los estudios realizados anteriormente en la Comarca Lagunera donde se utiliza el tratamiento de días largos artificiales 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 la circunferencia escrotal o peso testicular a partir de que finaliza el tratamiento de días largos artificiales (15-30 enero) y sus niveles máximos se registran a mediados de marzo o principios de abril (Flores *et al.*, 2000; Delgadillo *et al.*, 2002; Ponce *et al.*, 2014). Lo mismo ocurrió en los machos de los dos grupos tratados en este estudio donde los niveles máximos de la circunferencia escrotal se registraron en el mes de marzo. Algo similar ocurrió en las concentraciones de testosterona donde los niveles más altos de esta hormona se observaron en el mes de marzo, época de reposo sexual natural (Delgadillo *et al.*, 1999). Lo anterior demuestra la efectividad de dicho tratamiento para inducir la actividad sexual de los machos durante la época de reposo sexual natural.

Los dos grupos de machos mantenidos en condiciones extensivas y tratados con días largos artificiales mantuvieron una baja condición corporal durante todo el estudio (noviembre a marzo). Estos resultados eran de esperarse, ya que probablemente la cantidad de alimento que consumían en el campo alcanzaba únicamente para los requerimientos de mantenimiento de dichos machos. Sin

embargo, en estos machos respondieron al tratamiento fotoperiódico y su diámetro testicular, así como las concentraciones de testosterona se incrementaron en el periodo de reposo sexual natural. Estos resultados son contrarios a lo registrado por otros autores que reportan que el estado nutricional de los machos bajo condiciones de fotoperíodo natural modifica drásticamente la duración y el momento de la época de reproducción, así como su capacidad para estimular la ovulación de las hembras anovulatorias. Por ejemplo, en los machos cabríos Cashmere de Australia, la desnutrición retrasa el crecimiento testicular, las concentraciones plasmáticas de testosterona y la intensidad del olor durante la temporada de reproducción. Además, las fluctuaciones de estas variables sexuales son menores en los animales bien alimentados (Walkden-Brown *et al.*, 1993). Sin embargo, en nuestro estudio, a pesar de la baja condición corporal en la cual fueron experimentalmente sometidos, estos machos 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 en un incremento en la circunferencia escrotal y las concentraciones de testosterona plasmática. Esto concuerda con lo reportado por Cruz-Castrejón *et al.* (2007), quien menciona que aún con bajas reservas corporales de energía, los machos cabríos exhiben plena actividad sexual.

Finalmente, los resultados del presente estudio demuestran que los machos tratados en condiciones extensivas aun cuándo se encuentra en una condición corporal baja, tienen la capacidad responder al tratamiento fotoperiódico. Lo anterior demuestra que el fotoperíodo es un factor muy importante en la regulación de la actividad sexual de estas especies estacionales y es probable que, en estos machos, tenga una influencia mayor que la alimentación sobre la actividad sexual, así como se propuso para las razas originarias de las zonas templadas (Malpoux *et al.*, 1997). Además, sería importante determinar si estos machos foto-estimulados en condiciones extensivas son capaces de inducir la actividad sexual de las cabras anovulatorias mediante el efecto macho.

## **9. CONCLUSIONES**

Los resultados del presente trabajo demuestran que un sistema de energía fotovoltaica es efectivo para generar la energía eléctrica necesaria para realizar el tratamiento fotoperiódico para estimular la actividad sexual de los machos cabríos en condiciones extensivas.

## LITERATURA CITADA

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

Arranz, JM., Lagriffoul, G., Gyérin Y and Chemineau, P. (1995). Control of sperm production in rams by light and melatonin treatments. *Actes desmes recontres autor des recherches sur les ruminants*, Paris, France, 13-14, decembre 1995, pp. 425-428.

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

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

Cruz-Castrejón, U., Veliz, F.G., Rivas-Muños, R., Flores. F.A., Hernández, H., Duarte, G. (2007). 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 en México*. 45: 93-100.

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 of lactating anovulatory female goats using male goats treated only with artificially long days. *Journal 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., Gelez, H., Ungerfeld, R., Hawken, P.A., Martin, G.B. (2009). The male effect in sheep and goats-Revisiting the dogmas. *Behavioral Brain Research*. 200:304-314.

Delgadillo, J. A., Cheminau, P., Keler, M. (2017). Using socio-sexual stimulations for sustainable goat production under subtropical latitudes In: *Sustainable goat production in adverse environments: Volume I*. Simoes, J. and Gutierrez, C. (Eds). 1<sup>st</sup>. Edition. Ed. Springer. 130-143.

Duarte, G., Flores, J. A., Malpoux, B., Delgadillo, J. A. (2008). Reproductive seasonality in female goats adapted to a subtropical environment persists independently of food availability. *Domestic Animal Endocrinology*. 35: 362-370.

Echevarría, C., Gutiérrez, L., Ledezma, R., Bañuelos, V., Aguilera, S., Serna, P. (2006) Influencia del sistema de pastoreo con pequeños rumiantes en un agostadero del semiárido zacatecano: I vegetación nativa. *Técnica Pecuaria en México*. 44: 203-217.

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

FIRA. (1999). Oportunidades de desarrollo de la industria de la leche y carne de cabra en México. No. 113. Vol. XXXII. Noviembre de 1999. (BOLETÍN INFORMATIVO).

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.

García, D., Sánchez, B., Hernández, J. (1991). Determinación de la carga animal de corderos en praderas irrigadas de ballico perenne (*Lolium perenne L*). Folleto de investigación No. 72. INIFAP. 1-36.

Karsch, 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.

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

Luna-Orozco, J.R., Fernández, I.G., Helez, H., Delgadillo, J.A. (2008). Parity of female does not influence their estrous and ovulatory responses to the male effect. *Animal Reproduction Science*. 106: 352-360.

Malpaux, B., Viguié, C., Thiéry, J., Chemineau, P. (1997). Control of the circannual rhythm of reproduction by melatonin in the ewe. *Brain Research Bulletin*. 44: 431-438.

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

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

Pellicer-Rubio, M.T., Leboeuf, B., Bernelas, D., Forgerit, Y., Pougard, J.L., Bonne, J.L., Senty, E., Chemineau, P. (2007). Highly synchronous and fertile reproductive activity induced by the male effect during deep anoestrus in lacting goats subjected to treatment with artificially long days followed by a natural photoperiod. *Animal Reproduction Science*. 98: 241-258.

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

Ponce, J.L., Velázquez, H., Duarte, G., Bedos, M., Hernandez, H., Keller, M., Chemineau, P., Delgadillo, J.A. (2014). Reducing exposure to long days from 75 to 30 days of extra-light treatment does not decrease the capacity of male goats



to stimulate ovulatory activity in seasonally anovulatory females. *Domestic Animal Endocrinology*. 48: 119-125.

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.

Sáenz-Escárcega, P., Hoyos, G., Salinas, G., Martínez, M., Ezpinoza, J.J., Guerrero, A., Contreras, E. (1991). Establecimiento de modulos caprinos con productores cooperante. En Flores Álvarez, S, Editor. Evaluación de módulos caprinos en la Comarca Lagunera, Instituto Nacional de Investigadores Forestales y Agropecuarios, Torreón, Coahuila. 1991: 124-134.

Salinas, G., Martínez, P. (1988). Dairy goat milk production responses to feeding level. *Indian Journal of Dairy Science*. 41: 167-170.

Walkden-Brown, S.W., Restall, B.J., Henniawati. (1993). The male effect in the Australian cashmere goat. 3. Enhancement with buck nutrition and use of oestrus females. *Animal Reproduction Science*. 32: 69-84.