

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



**Utilización de un sistema de energía fotovoltaico en el tratamiento de días largos artificiales para estimular la actividad sexual de los machos cabríos**

**POR**

**JUAN CRUZ ESPÍRITU**

**TRABAJO DE OBSERVACIÓN**

**PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA**

**OBTENER EL TÍTULO DE:**

**MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA**

**TORREÓN, COAHUILA**

**DICIEMBRE DE 2017**

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

Utilización de un sistema de energía fotovoltaico en el tratamiento de días largos artificiales para estimular la actividad sexual de los machos cabríos

POR

JUAN CRUZ ESPÍRITU

TRABAJO DE OBSERVACIÓN

QUE SE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR  
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

APROBADA POR

PRESIDENTE:

  
DR. JOSÉ ALFREDO FLORES CABRERA

VOCAL:

  
DR. HORACIO HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ

VOCAL:

  
DR. JESÚS VIELMA SIFUENTES

VOCAL SUPLENTE:

  
DR. GERARDO DUARTE MORENO

  
DR. RAMÓN ALFREDO DELGADO GONZÁLEZ

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL



Coordinación de la División  
Regional de Ciencia Animal

TORREÓN, COAHUILA

DICIEMBRE DE 2017

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

Utilización de un sistema de energía fotovoltaico en el tratamiento de días largos artificiales para estimular la actividad sexual de los machos cabríos

POR

JUAN CRUZ ESPÍRITU

TRABAJO DE OBSERVACIÓN

QUE SE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ DE ASESORÍA COMO  
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

APROBADA POR

ASESOR PRINCIPAL:

  
DR. JOSÉ ALFREDO FLORES CABRERA

  
DR. RAMÓN ALFREDO DELGADO GONZÁLEZ  
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL



Coordinación de la División  
Regional de Ciencia Animal

TORREÓN, COAHUILA

DICIEMBRE DE 2017

## AGRADECIMIENTOS

**Al Dr. José Alfredo Flores Cabrera**, que Ha sido maestro mi asesor y sobretodo amigo, por darme la oportunidad de trabajar con él y compartir sus conocimientos.

Al grupo de investigadores que constituyen el centro de investigación en reproducción caprina (CIRCA), **Dr. José Alberto Delgadillo Sánchez, Dr. Horacio Hernández Hernández, Dr. Gerardo Duarte Moreno, Dr. Jesús Vielma Sifuentes y el Dr. Gonzalo Fitz** por compartir experiencias de la vida profesional y sus conocimientos y ciertos consejos.

Al **Sr. Jesús Esparza**, por facilitar las hembras para el estudio.

**A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro** - por acogerme estos 5 años y por darme la gran oportunidad de terminar esta gran carrera por todos los apoyos que me brindo y por ser una formadora de profesionales.

**A todos los Maestros** de esta gran universidad que más que maestros se convirtieron en amigos y compartieron sus conocimientos y experiencias de vida que me ayudaron y me ayudaran siempre.

**A todos mis Amigos** de la universidad que más que compañeros de verdad son amigos y fueron una pieza importante en mis estudios por sus consejos su apoyo incondicional y sus experiencias que me ayudaron mucho para terminar esta carrera y a todas aquellas personas que de una u otra manera me ayudaron en cierta forma.

## DEDICATORIA

**A mis padres** Federico Cruz Cruz y Otilia Espíritu Rafael por darme la vida todo su apoyo y regalarme esta oportunidad de superación personal y por estar hay siempre que lo he necesitado.

**Mis hermanos** por que han sido un gran pilar en mi vida un apoyo incondicional que siempre lo he tenido por todo su cariño y consejos que me han dado y que me han ayudado para llegar a este gran paso tan importante.

## RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue implementar un sistema de energía fotovoltaica en el tratamiento fotoperiódico de días largos artificiales para inducir la actividad sexual de los machos cabríos fuera de la estación natural. Para ello, se utilizaron 12 machos cabríos Criollos adultos, los cuales fueron divididos en 2 grupos. Seis machos fueron alojados en instalaciones abiertas y sometidos a un tratamiento de días largos artificiales (16h luz/día) del 1 de Noviembre al 15 de enero utilizando la energía eléctrica convencional. Este grupo fue tratado dentro de las instalaciones de la UAAAN. Durante el estudio, los machos se alimentaron con heno del 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 (n=6) fue alojado en un rebaño privado en el Ejido Santo Tomás, Municipio de Matamoros, Coahuila. Los machos salían diariamente a pastorear junto con el resto del rebaño de 9:00 AM a 5:00 PM. Al regresar del pastoreo los machos eran separados del rebaño y alojados en un corral adyacente y ahí recibieron el tratamiento fotoperiódico de días largos artificiales mediante el uso de un sistema de energía fotovoltaica. Para evaluar el comportamiento sexual de los machos, cada macho fue puesto individualmente en contacto con 10 hembras anéstricas durante 1 hora y se registraron las conductas de flehmen, olfateos ano-genitales, aproximaciones, intentos de monta, monta sin penetración y automarraje con orina. El peso corporal, la condición corporal, la circunferencia escrotal y el olor de los machos se determinaron cada 15 días, del 1 de noviembre de 2016 al 15 de marzo de 2017. El número total de olfateos ano-genitales fue mayor ( $P < 0.05$ ) en los machos foto-estimulados en condiciones intensivas que los machos foto-estimulados en condiciones extensivas. Sin embargo, en las demás conductas (aproximaciones, intentos de monta, montas, automarajes y flehem), no se registraron diferencias estadísticas significativas entre los machos de los dos grupos. En el peso corporal, el ANOVA indicó un efecto del grupo sobre la evolución del 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 efecto, en el grupo de machos foto-estimulados en intensivo, el peso corporal registró un incremento progresivo de diciembre a marzo. En cambio, en el grupo de machos foto-estimulados en extensivo el peso corporal se incrementó de diciembre a finales de febrero y posteriormente disminuyó progresivamente hasta el final del estudio. En la condición corporal, el ANOVA indicó un efecto del grupo sobre la evolución del 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 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. Por otro lado, en el grupo de machos fotoestimulados en extensivo la condición corporal se mantuvo sin cambios durante los meses de noviembre y diciembre. Sin embargo a partir de enero se registró un incremento progresivo de esta variable hasta finales del estudio. En la circunferencia escrotal se registró un efecto del grupo ( $P < 0.05$ ), un efecto del tiempo ( $P < 0.001$ ), y una interacción grupo-tiempo del estudio ( $P < 0.001$ ). En la comparación dos a dos no se registró diferencia entre los dos grupos. En ambos grupos, la circunferencia escrotal disminuyó durante los meses de noviembre a enero, y a partir de ese mes comenzó un incremento que se mantuvo hasta el final del estudio. Los resultados del presente trabajo demuestran que un sistema de energía fotovoltaica genera la electricidad necesaria para realizar el tratamiento de días largos artificiales y así estimular la actividad sexual de los machos mantenidos en condiciones extensivas. Además, la respuesta sexual de los machos tratados con electricidad fotovoltaica no es diferente a la desplegada por los machos expuestos a días largos artificiales proporcionados con energía eléctrica convencional.

**Palabras clave:** fotovoltaico, actividad sexual, reproducción, fotoperiodo

## INICE DE CONTENIDO:

<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>I</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>II</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>III</b>
<b>INDICE DE FIGURAS:.....</b>	<b>VI</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>REVISION DE LIERATURA.....</b>	<b>3</b>
1.-Estacionalidad reproductiva en caprinos.....	3
2.... Inducción de la actividad sexual de los machos cabríos mediante tratamientos fotoperiódicos.....	4
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>8</b>
<b>OBJETIVO.....</b>	<b>9</b>
<b>HIPÓTESIS.....</b>	<b>9</b>
<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>10</b>
1.- Ubicación del estudio.....	10
2. Animales experimentales.....	10
3. Variables evaluadas.....	12
3.1. Comportamiento sexual de los machos.....	12
3.2. Peso corporal.....	13
3.3. Condición corporal.....	13
3.4. Circunferencia escrotal.....	13
4. Análisis de datos.....	14
<b>RESULTADOS.....</b>	<b>15</b>
1. Comportamiento sexual de los machos.....	15
2. Peso corporal de los machos.....	16
3. Condición corporal.....	16
4. Circunferencia escrotal.....	18
<b>DISCUSIÓN.....</b>	<b>20</b>
<b>CONCLUSIÓN.....</b>	<b>23</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>24</b>



## INDICE DE FIGURAS:

		<b>Página</b>
<b>Figura 1</b>	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.....	<b>12</b>
<b>Figura 2</b>	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 1 hora diaria (08:00-09:00 hs) los primeros 5 días de contacto.....	<b>15</b>
<b>Figura 3</b>	Evolución del peso corporal de los machos cabríos foto-estimulados durante 2.5 meses de días largos en condiciones intensivas (●) y de los machos foto-estimulados en condiciones extensivas (○).....	<b>17</b>
<b>Figura 4</b>	Condición corporal de los machos cabríos foto-estimulados durante 2.5 meses de días largos en condiciones intensivas (●) y de los machos foto-estimulados en condiciones extensivas (○).....	<b>18</b>
<b>Figura 5</b>	Evolución de la circunferencia escrotal a través del estudio en los machos cabríos foto-estimulados durante 2.5 meses de días largos en condiciones intensivas (●) y de los machos foto-estimulados en condiciones extensivas (○).....	<b>19</b>

## INTRODUCCIÓN

La estacionalidad en la reproducción es una característica de los caprinos del norte de México y de otras regiones subtropicales. En las cabras, la actividad sexual (estros y ovulaciones) inicia en septiembre y termina en marzo. (Duarte et al., 2008). En los machos cabríos, la actividad sexual inicia en mayo y termina en diciembre; el periodo de reposo se registra de enero a abril (Delgadillo et al., 1999). Esta estacionalidad reproductiva provoca que el 80% de los partos ocurra entre noviembre y febrero, por lo que la producción de leche y carne (cabrito) es también estacional (Sáenz-Escárcega et al., 1991).

La estacionalidad de la reproducción depende principalmente de las variaciones anuales del fotoperiodo, el cual sincroniza el inicio y el final de la estación sexual anual: los días largos artificiales inhiben, y los días cortos artificiales estimulan la actividad sexual de machos y hembras (Delgadillo et al., 2004; Duarte et al., 2010).

El uso del fotoperiodo es una alternativa al uso de las hormonas exógenas para estimular la actividad sexual de los caprinos en periodo de reposo sexual. Por ejemplo, la manipulación del número de horas luz que los animales perciben diariamente puede inducir la actividad sexual de los machos en el periodo de reposo sexual. Para ello, es necesario exponer los machos durante parte del otoño e invierno (días cortos naturales) a días largos artificiales (16h/luz/día) durante dos meses y medio (Delgadillo et al., 2002; 2009). Los machos tratados de esta manera aumentan durante el periodo de reposo sexual natural (marzo-abril), el peso testicular, la secreción de testosterona y se hace evidente un fuerte olor sexual, eventos que son acompañados de un intenso comportamiento sexual (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 en la época de reposo sexual natural, una intensa actividad sexual de los machos cabríos. Sin embargo, dicho tratamiento sólo está disponible para aquellos productores que cuentan en sus instalaciones con energía eléctrica para

realizar el tratamiento fotoperiódico. Por el contrario, la mayoría de los productores caprinos se encuentran fuera del área urbana y por lo tanto no tienen acceso a la energía eléctrica convencional. Por ello, es necesario implementar un sistema que no dependa del acceso a la energía eléctrica convencional para realizar el tratamiento fotoperiódico. Una opción es diseñar un sistema de energía fotovoltaica que genere electricidad, que sea económico, accesible y fácil de implementar en las condiciones que se encuentran la mayoría de los caprinocultores. El objetivo de este proyecto es determinar la respuesta sexual de los machos tratados con días largos artificiales mediante un sistema de energía fotovoltaico.

## REVISION DE LIERATURA

### 1.-Estacionalidad reproductiva en caprinos

Los caprinos que provienen o se originan de latitudes subtropicales o templadas muestran variaciones en su ciclo anual de actividad sexual. Lo anterior es debido a una marcada estacionalidad reproductiva que se registra tanto en las hembras como en los machos. En la Comarca Lagunera, por ejemplo, la actividad reproductiva en las hembras caprinas se desarrolla durante el otoño y el invierno (septiembre-marzo) mientras que el periodo de anestro sucede en primavera y verano (marzo-agosto); Duarte *et al.*, 2008.

Los machos cabríos de la Comarca lagunera también tienen una estacionalidad reproductiva muy marcada. Estos animales manifiestan actividad sexual intensa de mayo a diciembre, y durante ese tiempo se registran altas concentraciones plasmáticas de testosterona, un intenso comportamiento y olor sexual, un elevado peso testicular y una elevada producción espermática (Delgadillo *et al.*, 1999; Cruz-Castrejón *et al.*, 2007). En cambio, de enero a abril se manifiesta el periodo de reposo sexual en el cual estas mismas variables disminuyen considerablemente (Delgadillo *et al.*, 1999).

Se ha demostrado que el fotoperiodo es el principal factor del medio ambiente responsable de las variaciones estacionales en los caprinos de ésta región subtropical (Delgadillo *et al.*, 2004; Duarte *et al.*, 2010).

## **2. Inducción de la actividad sexual de los machos cabríos mediante tratamientos fotoperiódicos**

Dado que la actividad sexual de los caprinos es controlada por las variaciones del fotoperiodo durante el año, la manipulación de esta variable permite inducir actividad sexual fuera de la estación natural. Por ejemplo, en los machos cabríos de las razas Alpina y Saanen, la exposición a dos meses de días largos a partir de diciembre o enero seguidos de la aplicación de melatonina, inducen una intensa actividad sexual durante el periodo de reposo sexual (Chemineau *et al.*, 1999). En estudios realizados con machos cabríos de la Comarca Lagunera, se ha demostrado que la utilización de 2.5 meses de días largos (16 h 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. En los machos alojados en instalaciones abiertas o cámaras fotoperiódicas y tratados de esta manera, los niveles plasmáticos de testosterona, así como el comportamiento sexual son siempre superiores a los registrados en los machos no tratados (Flores *et al.*, 2000; Delgadillo *et al.*, 2002). En estudios posteriores se simplificó el tratamiento fotoperiódico y se demostró que la sola aplicación de 2.5 meses de días largos a partir del 1 de noviembre estimula la secreción de testosterona, la libido y el comportamiento sexual de manera similar a lo que ocurre en los machos tratados con días largos y melatonina (Delgadillo *et al.*, 2002).

### 3. Influencia del sistema de explotación y la alimentación de los machos

En los caprinos que son explotados en condiciones extensivas en zonas áridas y semiáridas del mundo, la principal fuente de alimento son los pastos nativos. Esta alimentación casi siempre se complementa con el consumo de arbustivas, especialmente durante la época seca es cuando estas plantas proveen proteínas y aminoácidos que en este periodo los pastos no proveen por encontrarse en dormancia. El consumo de arbustos generalmente aporta las proteínas adecuadas para la producción de cabras, esto comparado con el contenido proteico de gramíneas y leguminosas. Sin embargo, las especies consumidas por las cabras presentan la mitad de la proteína cruda (PC) como ácido detergente insoluble, dando así 9.7% de PC disponible. Además, estas especies tienen bajo contenido energético, siendo una desventaja en estos sistemas, ya que en esas regiones los animales caminan largas distancias para consumir la dieta, lo que aumenta sus necesidades de energía (Ramírez *et al.*, 1991).

Al respecto, en un estudio de Mellado *et al.* (2004), en el sureste de Coahuila, determinaron que los caprinos consumen preferentemente arbustos de hojas tiernas y evitan las gramíneas; dentro de las plantas más consumidas se encontraron *Acacia farnesiana* (huizache) y *Parthenium incanum*, entre otras. Cuando los caprinos consumían dichas especies reflejaron un mejor estatus nutricional. Durante muchos años se han estudiado las especies preferidas y consumidas por los caprinos de México, sin embargo, existe muy poca información acerca del efecto que tiene cada nutriente que contienen los forrajes disponibles sobre las funciones reproductivas. Los mamíferos en general y los caprinos en

particular no pueden sobrevivir a una deficiencia prolongada de cualquier nutriente requerido. Dentro de las necesidades de energía, la de sobrevivir tiene prioridad, mientras que la reproducción se encuentra en el último lugar de las prioridades de los animales, por lo que esta actividad cesa o disminuye considerablemente al disminuir las reservas energéticas del animal ante una deficiencia de cualquier nutriente (Dunn y Moss, 1992). Después la energía y la proteína, los minerales son los nutrientes esenciales que en un momento dado puede limitar la producción y la reproducción. Al respecto, estudios realizados en el norte de México para determinar minerales en la sangre de los caprinos han revelado deficiencia de fósforo (P), siendo aguda en algunos animales. De igual modo, se han reportado también, deficiencias menores de potasio (K).

En los caprinos, la nutrición tiene gran importancia en el control del ciclo anual de la reproducción. Por ejemplo, en los machos cabríos cashmere de Australia (28° S), la subalimentación provoca un retraso en el inicio de la actividad sexual, indicado por un tardío incremento del peso testicular, de la secreción de testosterona y la intensidad del olor en comparación con los machos bien alimentados (Walkden-Brown *et al.*, 1994). Además la subalimentación también reduce el comportamiento sexual, la intensidad del olor, el volumen del eyaculado, el número de espermatozoides por eyaculado, el porcentaje de espermatozoides vivos y la motilidad espermática (Walkden-Brown y Restall, 1996). De igual manera existen estudios que demuestran que la respuesta en los machos cabríos a los tratamientos fotoperiódicos para estimular su actividad sexual fuera de la estación reproductiva, es más baja en los machos subalimentados que en los machos bien alimentados (Martin *et al.*, 1999). De igual manera, en los machos

cabríos locales subalimentados que recibieron únicamente la mitad de sus requerimientos nutricionales, responden al tratamiento fotoperiódico de 2.5 meses de días largos artificiales de una manera retardada y en menor intensidad que los machos cabríos bien alimentados (Flores *et al.*, 2010). Estos resultados que el nivel de alimentación influye en la calidad de la respuesta de estos machos al tratamiento fotoperiódico. Lo anterior, sumado a los animales en pastoreo que se gastan gran parte de su energía al caminar grandes cantidades de distancias hasta los sitios de alimentación.



## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los machos cabríos estabulados y tratados con 2.5 meses de días largos a partir del 1 de noviembre manifiestan una intensa actividad sexual durante el periodo de reposo sexual natural (marzo-abril; Delgadillo *et al* 2012).

Este tratamiento fotoperiódico sólo puede realizarse en aquellas zonas donde exista disponibilidad de energía eléctrica convencional. Sin embargo, la mayoría de los productores de caprinos se localizan en zonas suburbanas o rurales dónde el suministro de energía eléctrica es escasa o no existe. Por ello, se necesita buscar otras fuentes de energía alternativas que no dependan del acceso a las instalaciones convencionales de energía eléctrica para realizar el tratamiento fotoperiódico en los machos. Una opción es implementar un sistema de energía eléctrica fotovoltaica que sea económico, accesible y fácil de utilizar en las condiciones que se encuentran la mayoría de los caprinocultores.

## **OBJETIVO**

El objetivo del presente trabajo fue implementar un sistema de energía eléctrica fotovoltaica en el tratamiento fotoperiódico de días largos artificiales para inducir la actividad sexual de los machos cabríos fuera de la estación natural.

## **HIPÓTESIS**

La respuesta sexual de los machos cabríos explotados en condiciones extensivas sometidos a días largos artificiales, utilizando un sistema de energía eléctrica producida por celdas fotovoltaicas es similar a la respuesta sexual de los machos tratados con energía eléctrica de fuentes convencionales.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **1.- Ubicación del estudio**

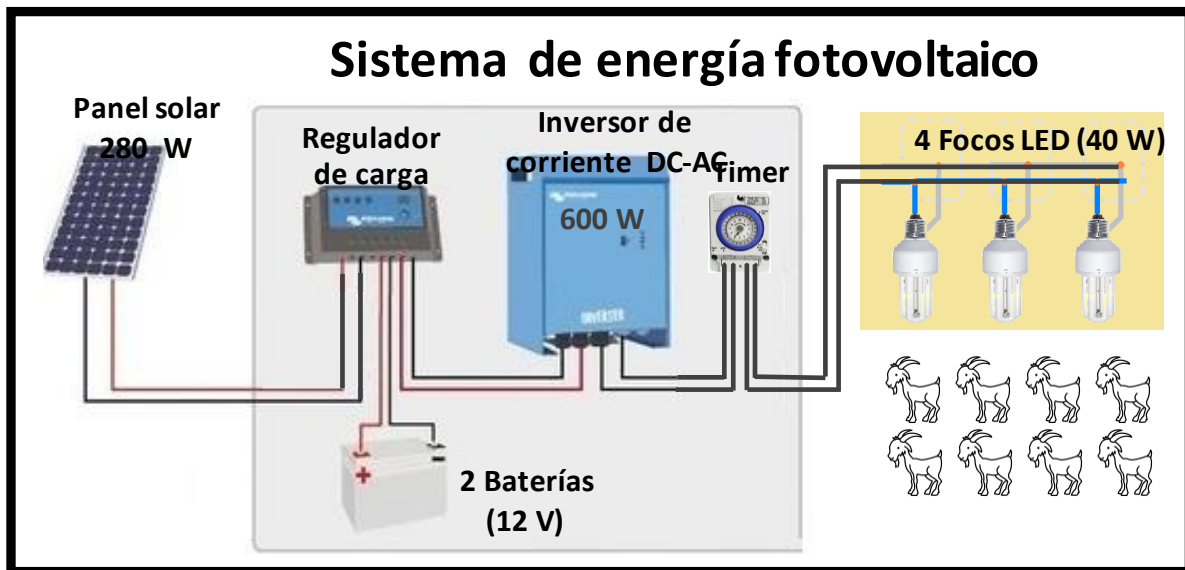
El presente estudio se realizó en las instalaciones del Centro de Investigación en Reproducción Caprina (CIRCA), en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro-Unidad Laguna y en un rebaño privado ubicado en el Ejido Santo Tomas, Municipio de Matamoros, Coahuila. Ambas instalaciones se localizan en la Comarca Lagunera a una latitud de 26° Norte y a una altitud que varía de 1100 a 1400 metros sobre el nivel del mar. Las variaciones del fotoperiodo en la región son de 13:41 horas luz durante el solsticio de verano y de 10:19 horas luz durante el solsticio de invierno.

### **2. Animales experimentales**

Se utilizaron 12 machos cabríos Criollos adultos, los cuales fueron divididos en 2 grupos. Seis machos fueron alojados en instalaciones abiertas y sometidos a un tratamiento de días largos artificiales (16h luz/día) 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 del 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 (n=6) fue alojado en un rebaño privado en el Ejido Santo Tomás, Municipio de Matamoros, Coahuila. Los machos salían diariamente a pastorear junto con el resto del rebaño de 9:00 AM a 5:00 PM. Al regresar del pastoreo los machos eran separados del rebaño y alojados en un corral adyacente y ahí recibieron el tratamiento fotoperiódico de días largos artificiales del 1 de noviembre al 15 de enero. En este grupo, el tratamiento fotoperiódico se realizó mediante el uso de un sistema de celdas fotovoltaicas que generaron energía eléctrica. 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).

En los dos grupos de machos el tratamiento consistió en proporcionar 16 horas de luz por día. Para ello, se combinó la luz natural y la luz artificial y se utilizaron 2 dispositivos eléctricos timer los cual fueron programados para controlar el encendido y apagado de los focos. En ambos grupos, los focos se encendían a las 5:00 AM y eran apagadas a las 8:00 AM, cuando ya existía suficiente luz natural. Posteriormente, las lámparas se encendían a las 5:00 PM (antes del anochecer) y eran apagadas 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 ambos grupos percibieron únicamente las variaciones naturales del fotoperiodo.



**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.

### 3. Variables evaluadas

#### 3.1. Comportamiento sexual de los machos

Para evaluar el comportamiento sexual de los machos, cada macho fue puesto individualmente en contacto con 10 hembras anéstricas y durante 1 hora (08:00–09:00 h) se registraron las conductas de flehmen, olfateos ano-genitales, aproximaciones, intentos de monta, monta sin penetración y automarraje con orina.

### **3.2. Peso corporal**

En los machos de los 2 grupos el peso corporal se determinó cada 15 días del 1 de noviembre de 2016 al 15 de marzo de 2017. Para ello, se utilizó una báscula de plataforma con una capacidad de 200 kg y una precisión de 50 g. Los machos fueron pesados por la mañana antes de proporcionarles el alimento.

### **3.3. 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 estimar por palpación la cantidad de tejido muscular y graso de la región lumbar del animal. Utilizando una escala de valores que van del 1 al 4 puntos con una precisión de 0.5.

### **3.4. Circunferencia escrotal**

En ambos grupos de machos se determinó la circunferencia escrotal cada 15 días durante todo el estudio utilizando una cinta métrica flexible graduada en milímetros, ésta variable fue determinada en la parte más ancha de ambos testículos.

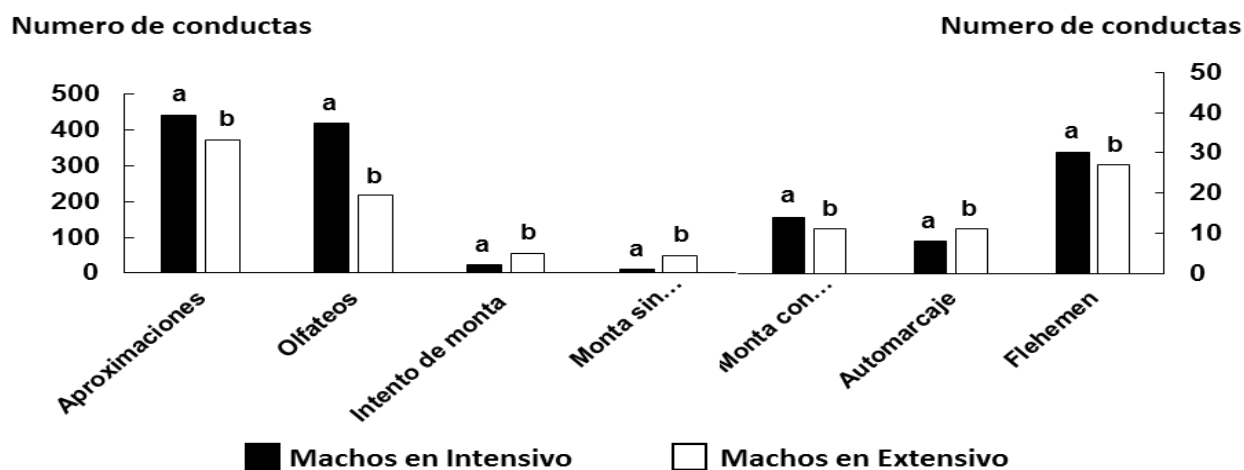
#### **4. Análisis de datos**

El total de las frecuencias de las conductas mostradas por los machos en cada grupo fue comparado utilizando una prueba de Chi-cuadrada con 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 analizadas con la prueba U de Mann-Whitney. En todas las comparaciones estadísticas se utilizó el programa estadístico SYSTAT Ver. 10.

## RESULTADOS

### 1. Comportamiento sexual de los machos

El comportamiento sexual de los machos foto-estimulados con días largos artificiales en condiciones intensivas y de los machos foto-estimulados en condiciones extensivas es mostrado en la Figura 2. El número total de olfateos ano-genitales en los primeros 5 días de contacto con las hembras fue mayor ( $P < 0.05$ ) en los machos foto-estimulados en condiciones intensivas que los machos foto-estimulados en condiciones extensivas. Sin embargo, en las demás conductas (aproximaciones, intentos de monta, montas, automarcajes y flehmem), no se registraron diferencias estadísticas significativas entre los machos de los dos grupos ( $P > 0.05$ ).



**Figura 2.** 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 1 hora diaria (08:00-09:00 hs) los primeros 5 días de contacto.



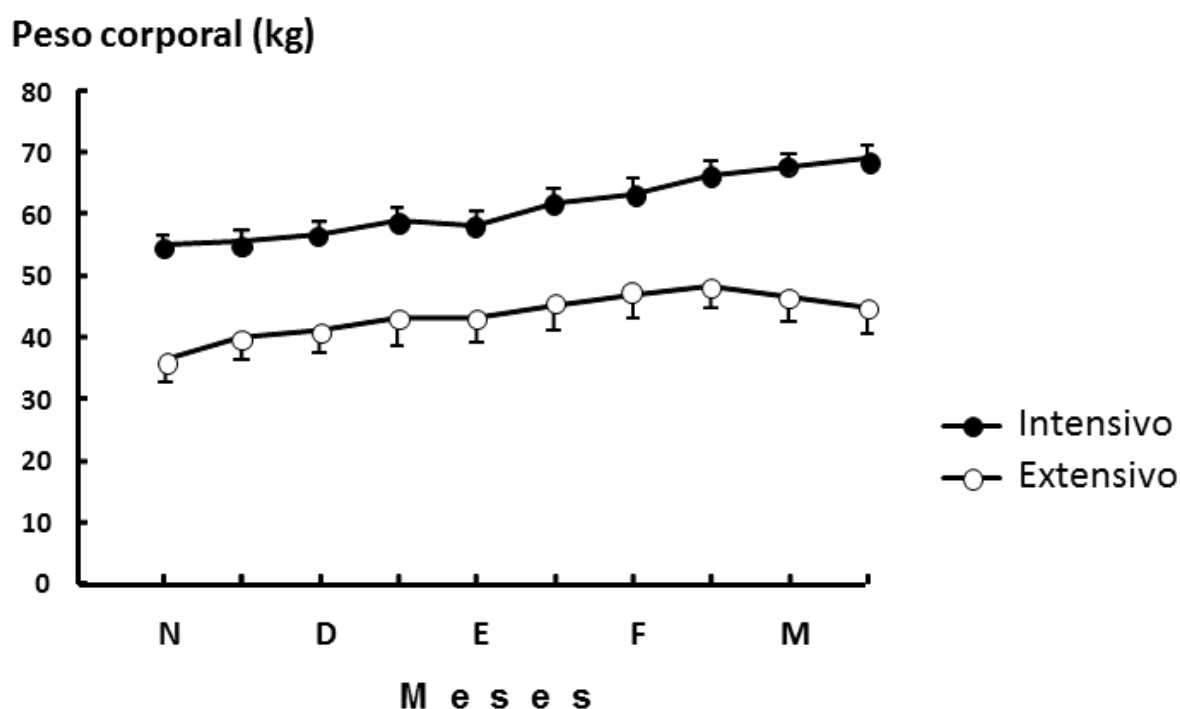
## **2. Peso corporal de los machos**

El Análisis de Varianza (ANOVA) indicó un efecto del grupo sobre la evolución del 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 en intensivo fue siempre superior al peso corporal de los machos en condiciones extensivo ( $P < 0.05$ ). En efecto, en el grupo de machos foto-estimados en intensivo, el peso corporal registró un incremento progresivo 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 disminuyó progresivamente hasta el final del estudio. La evolución del peso corporal de los machos fotoestimados en intensivo y extensivo se puede apreciar en la Figura 3.

## **3. Condición corporal**

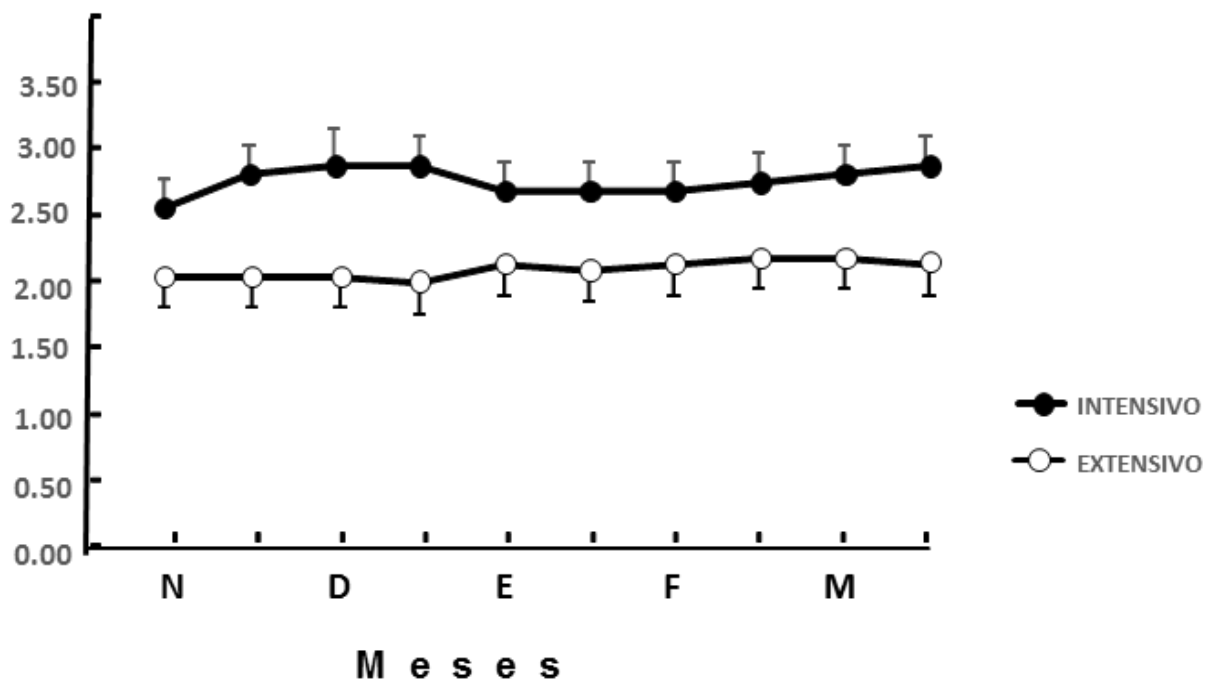
En la Figura 4, se muestra la evolución de la condición corporal de los machos foto-estimados en condiciones intensivas y en condiciones extensivas. El Análisis de Varianza (ANOVA) indicó un efecto del grupo sobre la evolución del condición corporal ( $P < 0.001$ ), así como un efecto del tiempo ( $P < 0.001$ ), y una interacción grupo-tiempo del estudio ( $P < 0.001$ ). Durante todo el estudio la condición corporal fue siempre superior en el grupo intensivo que en grupo extensivo ( $P < 0.05$ ). En el grupo de machos foto-estimados 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. Por otro lado, en el grupo de machos foto-estimulados en extensivo el peso corporal se mantuvo sin cambios durante los meses de noviembre y diciembre. A partir de enero se registró de esta variable un incremento progresivo hasta finales del estudio.



**Figura 3.** Evolución del peso corporal de los machos cabríos foto-estimulados durante 2.5 meses de días largos en condiciones intensivas (●) y de los machos foto-estimulados en condiciones extensivas (○).

### Condición corporal



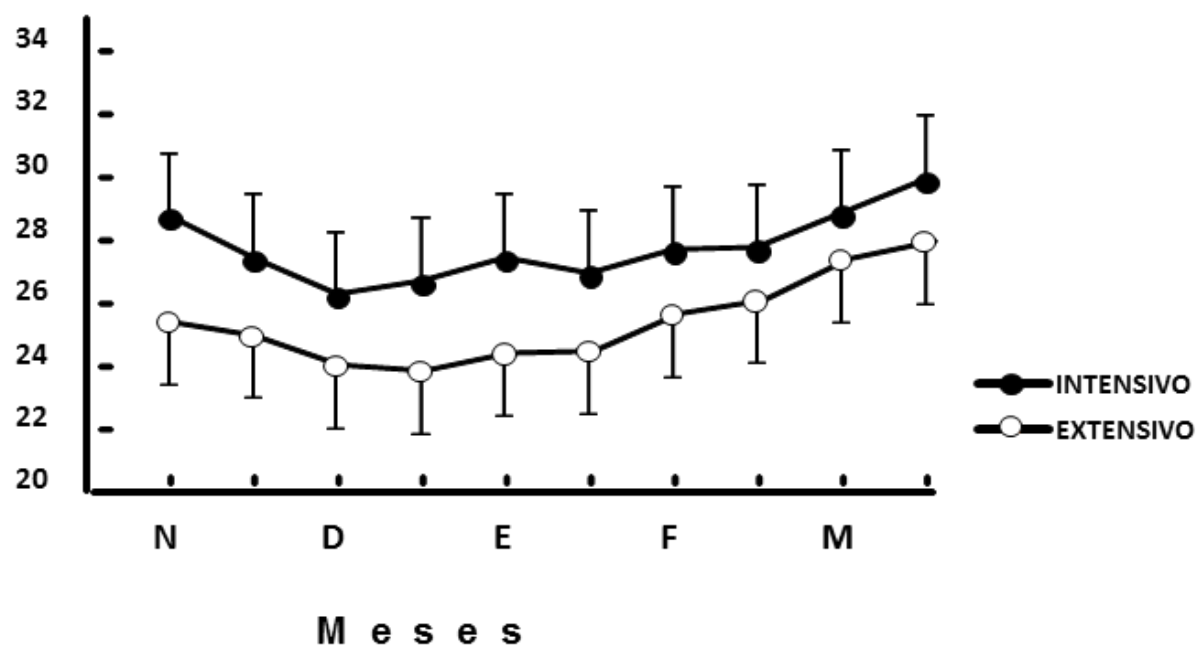
**Figura 3.** Condición corporal de los machos cabríos foto-estimulados durante 2.5 meses de días largos en condiciones intensivas (●) y de los machos foto-estimulados en condiciones extensivas (○).

#### 4. Circunferencia escrotal

El ANOVA no indicó un efecto del grupo sobre la evolución del circunferencia escrotal ( $P > 0.05$ ). En cambio, se registro un tiempo ( $P < 0.001$ ), y una interacción grupo-tiempo del estudio ( $P < 0.001$ ). En la comparación dos a dos no se registró diferencia entre los dos grupos. En ambos grupos, la circunferencia escrotal disminuyo durante los meses de noviembre a enero, y a partir de ese mes comenzó un incremento que se mantuvo hasta el final del estudio. En la Figura 5,

se puede apreciar la evolución de la circunferencia escrotal de los machos foto-estimados en intensivo y extensivo.

### Circunferencia escrotal



**Figura 5.** Evolución de la circunferencia escrotal a través del estudio en los machos cabríos foto-estimados durante 2.5 meses de días largos en condiciones intensivas (●) y de los machos foto-estimados en condiciones extensivas (○).

## DISCUSIÓN

Los resultados del presente trabajo demuestran que el tratamiento de días largos artificiales mediante un sistema de energía eléctrica fotovoltaica en condiciones extensivas es muy efectivo para inducir la actividad sexual de los machos cabríos. En efecto, variables como la circunferencia escrotal y el comportamiento sexual de los machos fue similar entre los machos tratados con días largos usando energía eléctrica fotovoltaica y los machos en condiciones intensivas donde se utilizó energía eléctrica convencional para aplicar los días largos. De hecho, la respuesta sexual de los machos tratados con energía fotovoltaica fue similar a lo reportado en trabajos previos donde se aplican días largos con fuentes de energía convencionales de electricidad para estimular la actividad sexual durante el periodo de reposo sexual (Flores *et al.*, 2000; Delgadillo *et al.*, 2002; Rivas-Muñoz *et al.*, 2007). En la mayoría de esos estudios se registra un incremento en la circunferencia escrotal o peso testicular a partir de que terminan los días largos artificiales (15-30 enero) y sus niveles máximos de estas variables se registran a mediados de marzo o principios de abril, es decir durante la época de reposo sexual natural (Delgadillo *et al.*, 1999). De igual manera, en los machos tratados con energía eléctrica fotovoltaica la mayoría de las conductas sexuales fueron similares a las registradas en los machos tratados con energía eléctrica convencional. La ausencia de diferencias entre los dos grupos de machos se debió probablemente al tratamiento fotoperiódico al cual fueron sometidos. Desde hace dos décadas se ha demostrado que 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; Rivas-Muñoz *et al.*, 2007).

Por otro lado, el peso corporal y la condición corporal de los machos cabríos tratados con energía fotovoltaica fue inferior durante todo el estudio a la mostrada por los machos tratados con energía eléctrica convencional en condiciones intensivas. A pesar de ello, estos machos respondieron al tratamiento fotoperiódico de manera similar al grupo en intensivo. Lo anterior no coincide con estudios realizados en los machos cabríos Cashmere de 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, de la secreción de testosterona y del olor sexual en comparación con los machos bien alimentados (Walkden-Brown *et al.*, 1994). Sin embargo, en nuestro estudio a pesar de que los machos se encontraban en una condición corporal baja, tuvieron la capacidad responder al tratamiento fotoperiódico. Ello 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 las zonas templadas (Malpoux *et al.*, 1999; Delgadillo *et al.*, 2009).

Finalmente, la implementación de un sistema de energía fotovoltaico en el tratamiento de días largos artificiales es una buena alternativa para inducir la

actividad sexual de los machos fuera de la estación natural en las regiones donde la energía eléctrica es escasa o no existe. En efecto, 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 utilizar en las condiciones que se encuentran la mayoría de los caprinocultores. Además la energía eléctrica producida por celdas fotovoltaicas resulta amigable con el medio ambiente.

## CONCLUSIÓN

Los resultados del presente trabajo demuestran que la respuesta sexual de los machos cabríos sometidos a días largos artificiales utilizando un sistema de energía fotovoltaica es similar a la respuesta sexual de los machos tratados con energía eléctrica.



## **BIBLIOGRAFÍA**

Chemineau, P., Malpoux, B., Delgadillo, J.A., Guerin, Y., Ravault, J.P., Thimonier, J., Pelletier, J. 1992. Control of sheep and goat reproduction: use of light and melatonin. *Anim Reprod Sci.* 30: 157-184.

Cruz-Castrejon, V., Veliz, F.G., Rivas-Muñoz, Flores, J.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 México* 45:93-100.

Delgadillo, J.A., Canedo, G.A., Chimineau, P., Guillaume, D., Malpoux, B. 1999. Evidence for an annual reproductive rhythm independent of food availability in male creole goats in subtropical northern Mexico. *Theriogenology* 52: 727-737.

Delgadillo, J.A., Carrillo, E., Morán, L., Duarte, G., Chemineau, P., Malpoux, B., 2001. Induction of sexual activity of male Creole goats in subtropical northern Mexico using long day and melatonin. *J Anim Sci.* 79:2245-2252.

Delgadillo, J.A., Fitz-Rodríguez, G., Duarte, G., Véliz, F.G., Carrillo, E., Flores, J.A., Vielma, J., Hernández, H., Malpoux, B., 2004. Management of photoperiod to control caprine reproduction in the subtropics. *Reprod Fert Dev.* 16:471-478.

Delgadillo, J.A., Flores, J.A., Véliz, V.G., Hernández, H.F., Duarte, G., Vielma, J., Poindron, O., Chemineau, P., Malpoux, B. 2002. Induction of sexual activity in lactating anovulatory female goats using male goats treated only with artificially long days. *J Anim Sci.* 2780-2786.

Delgadillo, J.A., Gelez, H., Ungerfeld, R., Hawken, A.R., Martin, G.B. 2009. The 'male effect' in sheep and goats – revisiting the dogmas. *Behav Brain Res.* 200:304-314.

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. *Domes Anim Endocrinol.* 35: 362–370.

Dunn, T.G., Moss, G.E., (1992). Effects of nutrient deficiencies and excess on reproductive efficiency livestock. *J Anim Sci*, 70:1580-1593.

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. *Biol Reprod*. 62: 1409-1414.

Lincoln, G.A., Short, R.V. 1980. Seasonal breeding: nature's contraceptive. *Recent Prog Horm Res*. 36:1-52.

Malpoux, B., Delgadillo, J.A., Chemineau, P. 1997. Neuroendocrinología del fotoperiodo en el control de la actividad reproductiva. Seminario Internacional: Tópicos Avanzados en Reproducción Animal. 12 Septiembre, Montecillo, México: 23-41.

Martin, G.B., Tjondronegoro, S., Bouthlig, R., Blackberry, M.A., Briegel, J.R., Blache, D., *et al* (1999). "determinants of the annual pattern of reproduction in mature male merino and Suffolk sheep: modification of endogenous rhythms by photoperiod". *Reproduction, fertility and development* 11:355-366.

Perkins, A., Fitzgerald, J.A., 1994. The behavioral component of the ram effect: The influence of ram sexual behavior on estrus in anovulatory ewes. *J Anim Sci*. 72:51-55.

Ramírez, R.G., Loyo, A., Mora, A., Sánchez, E.M., Y Chaire, A. 1991. Forraje intake and nutrition of range goats in a shrubland in northeastern Mexico. *J. Anim sci*. Vol. 69; nº3. P 879-885.

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. *J AnimSci*. 85:1257-1263.

Séanz-Escárcega, P., Hoyos, F.G.L., Salinas, G.H., Martínez, M., Espinoza, J., Guerrero, A., Contreras, G.E., 1991. Establecimiento de módulos caprinos con

productores cooperantes. En memorias, Evaluación de módulos caprinos en la Comarca Lagunera, SARH-INIFAP, Matamoros, Coahuila, México. P 124-34.

Walkden-Brown, S.W., Restall, B.J., Norton, B.W., Scaramuzzi, R.J., Martin, G.B. (1994) "Effect of Nutrition on seasonal patterns of LH, FSH and testosterone concentration, testicular mass, sebaceous gland volume and adipose tissue in Australian cashmere goats". *Journal of Reproduction and Fertility* 102:351-360.