

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



LA COMPLEMENTACIÓN ALIMENTICIA MEJORA LA ACTIVIDAD
ENDOCRINA Y SEXUAL EN LOS MACHOS CABRÍOS FOTOESTIMULADOS
EN CONDICIONES EXTENSIVAS.

Tesis

Que presenta PABLO IVÁN SIFUENTES LAMÓNT
como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRO EN CIENCIAS AGRARIAS

Torreón, Coahuila

Octubre 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



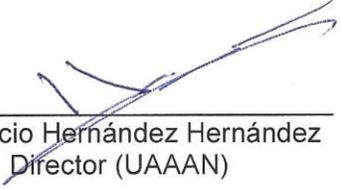
LA COMPLEMENTACIÓN ALIMENTICIA MEJORA LA ACTIVIDAD
ENDOCRINA Y SEXUAL EN LOS MACHOS CABRÍOS FOTOESTIMULADOS
EN CONDICIONES EXTENSIVAS

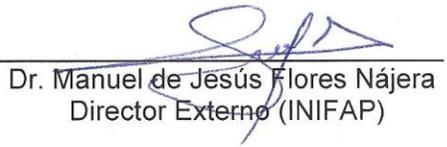
Tesis

Que presenta PABLO IVAN SIFUENTES LAMONT

Como requisito parcial para obtener el Grado de

MAESTRO EN CIENCIAS AGRARIAS


Dr. Horacio Hernández Hernández
Director (UAAAN)


Dr. Manuel de Jesús Flores Nájera
Director Externo (INIFAP)

Torreón, Coahuila

Octubre 2019

LA COMPLEMENTACIÓN ALIMENTICIA MEJORA LA ACTIVIDAD
ENDOCRINA Y SEXUAL EN LOS MACHOS CABRÍOS FOTOESTIMULADOS
EN CONDICIONES EXTENSIVAS

Tesis

Elaborada por PABLO IVAN SIFUENTES LAMONT como requisito parcial para
obtener el grado de Maestro en Ciencias Agrarias con la supervisión y
aprobación del Comité de Asesoría



Dr. Horacio Hernández Hernández
Asesor Principal



Dr. José Alfredo Flores Cabrera
Asesor



Dr. Manuel de Jesús Flores Nájera
Asesor



Dra. Leticia Romána Gaytán Alemán
Jefe del Departamento de Postgrado



Dr. Marcelino Cabrera De la Fuente
Subdirector de Postgrado

Torreón, Coahuila

Octubre, 2019

Agradecimientos

A mi Alma Mater, la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (U.A.A.A.N.), por aceptar mi ingreso y por contar con un equipo magistral de catedráticos del Posgrado en Ciencias Agrarias.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por proporcionarme una beca para la realización y obtención del grado de maestría.

Al Dr. Horacio Hernández Hernández, por brindarme su ayuda y aceptarme como su alumno.

A los doctores del Centro de Investigación en Reproducción Caprina (CIRCA), Dr. José Alfredo Flores Cabrera, Dr. Jesús Vielma Sifuentes, Dra. Ilda Graciela Fernández García, Dr. Gerardo Duarte Moreno y él Dr. José Alberto Delgadillo Sánchez, por ofrecerme sus recomendaciones y sabiduría, a lo largo de los estudios de maestría, en Neuroendocrinología de la Reproducción Animal, Biología Molecular y Metodología de la Investigación.

Al Dr. Manuel de Jesús Flores Nájera, por su ayuda en la elaboración del trabajo experimental y la presente tesis.

A mis compañeros del posgrado, Ricardo Avilés, Alejandro Salgado, Jennifer Andrade y Erika Grimaldo por su apoyo durante el periodo de realización del experimento.

Dedicatoria

A mi madre, Lourdes Jacqueline Lamónt Martínez por haberme escogido como hijo y apoyarme en el trabajo experimental.

A mi hermana, Ana Cecilia Sifuentes Lamónt, por ser mi amiga y darme su incondicional apoyo.

Índice General

Agradecimientos.....	iv
Dedicatoria.....	v
Índice General	vii
Lista de Figuras.....	viii
Resumen.....	ix
Abstract	xii
1. INTRODUCCIÓN.....	12
Planteamiento del problema	14
Objetivos	15
Hipótesis	15
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1 Estacionalidad reproductiva de los caprinos en zonas subtropicales.....	5
2.1.1 Estacionalidad reproductiva en machos.....	5
2.2.2 Estacionalidad reproductiva en hembras.....	18
2.2 Factores que modifican la actividad sexual de los pequeños rumiantes machos y hembras.....	20
2.2.1 El Fotoperíodo.....	20
2.2.1.1 ¿Cómo el fotoperíodo regula la actividad sexual en machos y hembras estacionales?.....	21
2.2.2 La nutrición como factor que modula la actividad sexual y neuroendocrina en pequeños rumiantes.....	24
3. MATERIALES Y MÉTODOS	17
3.1 Nota Ética	17
3.2 Localización del área del estudio	17
3.3 Descripción de los animales y grupos experimentales del estudio.....	18
3.3.1 Grupo de machos.....	18
3.4 Tratamiento fotoperiódico en los machos mantenidos en extensivo (DL y DL+C).....	31
3.5 Complementación alimenticia (grupo DL+C)	32
3.6 Variables evaluadas en los machos.....	32
3.6.1 Determinación de los niveles de testosterona de los machos	32
3.6.2 Condición corporal, peso corporal y testicular.....	33
3.6.3 Comportamiento sexual de los machos durante el efecto macho ..	33
3.7 Hembras utilizadas en el efecto macho.....	25
3.7.1 Efecto macho.....	34
3.7.2 Variables evaluadas en las hembras.....	35
3.7.2.1 Determinación de la proporción de cabras que ovularon en respuesta al efecto macho	35
3.8 Análisis estadístico	256
4. RESULTADOS	37
4.1 Variables evaluadas en los tratamientos de machos	37
4.1.1 Respuesta endocrina (testosterona) de los machos al tratamiento fotoperiódico y a la suplementación	37
4.1.2 Condición corporal (CC), peso corporal y testicular	38

4.1.3 Comportamiento sexual de los machos durante el efecto macho	40
4.1.3.1 Aproximaciones.....	40
4.1.3.2 Olfateos ano-genitales	40
4.2 Variables reproductivas evaluadas en las hembras	41
4.2.1 Proporción de cabras que ovularon en respuesta al efecto macho	41
4.2.2 Porcentaje de cabras preñadas a los 50 días pos-introducción de los machos	42
5. DISCUSIÓN	323
6. CONCLUSIÓN.....	47
7. BIBLIOGRAFÍA.....	48

Lista de Figuras

No. de figura	Título	Pág.
Figura 1.	Variaciones estacionales (promedio \pm EEM) del peso testicular (a) y las concentraciones plasmáticas de testosterona (b) de los machos cabríos locales del norte de México (26° N) mantenidos en estabulación.....	17
Figura 2.	Variaciones estacionales de la actividad ovulatoria en las cabras locales del norte de México (26° N) mantenidas en estabulación, alimentadas adecuadamente y sometidas a las variaciones naturales del fotoperiodo.....	19
Figura 3.	Variaciones anuales de las horas luz en el fotoperiodo.....	28
Figura 4.	Variación de las concentraciones de testosterona en suero (promedio \pm EEM) en los grupos de machos foto-estimulados mediante 2 meses de días largos artificiales en condiciones intensivas (INT \square), de los machos foto-estimulados en condiciones extensivas (DL+C \bullet , DL \circ) y el grupo control (CONT \blacksquare)....	37
Figura 5.	Promedio (\pm EEM) de la condición corporal en los grupos de machos foto-estimulados con días largos artificiales en condiciones intensivas (INT \square), en condiciones extensivas (DL+C \bullet , DL \circ) y el grupo control (CONT \blacksquare).....	39
Figura 6.	Desarrollo del peso corporal (promedio \pm EEM) durante el tiempo del estudio en los grupos de machos foto-estimulados con días largos artificiales en condiciones intensivas (INT \square), en condiciones extensivas (DL+C \bullet , DL \circ) y el grupo control (CONT \blacksquare).....	39
Figura 7.	Variación en el peso testicular (promedio \pm EEM) en los grupos de machos.....	40
Figura 8.	Despliegue del comportamiento sexual de los machos cabríos de los diferentes tratamientos.....	41
Figura 9.	Porcentaje de hembras que ovularon y resultaron gestantes cuando fueron expuestas a los machos.....	42

Resumen

La complementación alimenticia mejora la actividad endocrina y sexual en los machos cabríos fotoestimulados en condiciones extensivas, tesis que presenta Pablo Iván Sifuentes Lamónt como requisito parcial para obtener el Grado de Maestro en Ciencias Agrarias, en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, dirigida por el Doctor Horacio Hernández Hernández.

El objetivo de este trabajo fue determinar si la complementación alimenticia mejora la actividad endocrina y sexual en los machos cabríos fotoestimulados en condiciones extensivas y si incrementan la respuesta sexual en cabras anéstricas durante la época de reposo sexual natural en la Comarca Lagunera. Se utilizaron 22 machos cabríos y 108 cabras adultas anovulatorias. El estudio se realizó de octubre de 2017 a mayo del 2018. Los machos fueron distribuidos en 4 grupos homogéneos, según su condición corporal 2.2 ± 0.1 ; media \pm error estándar de la media (eem). Tres grupos se incorporaron a 3 hatos diferentes, alimentados bajo condiciones de pastoreo extensivo y el cuarto grupo fue estabulado (sistema intensivo) y alojado en instalaciones del Centro de Investigación en Reproducción Caprina, dentro de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Los resultados obtenidos permiten concluir que, en los machos cabríos mantenidos en pastoreo extensivo, el proporcionar una complementación alimenticia iniciada a término del tratamiento fotoperiódico estimula su actividad endocrina y su comportamiento sexual, durante el reposo sexual y son eficientes para inducir la actividad sexual cuando son puestos en

contacto con las hembras anovulatorias. De igual manera, la complementación alimenticia a machos foto-estimulados mantenidos extensivamente incrementó el porcentaje de hembras gestantes a los 50 días post-introducción de los machos.

Palabras clave: Caprinos, efecto macho, fotoperiodo, nutrición.

Abstract

The objective of this work was to determine if the nutritional complementation improvement the endocrine and sexual activity in the photo-stimulated male goats in extensive conditions and if they increase the sexual response in anovulatory goats during the natural resting period in the Comarca Lagunera. Twenty-two male goats and 108 anovulatory adult goats were used. The study was made from October 2017 to May 2018. The males were distributed into 4 homogeneous groups according to their body condition (2.2 ± 0.1 sem each group), 3 groups joined to 3 different herds, fed under extensive grazing conditions and the fourth group was stabled (intensive system) and housed in Centro de Investigación en Reproducción Caprina installations, inside of Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. The results allowed to conclude that, in male goats in extensive conditions, provide nutritional complementation starting at the end of the photoperiodic treatment stimulates their endocrine activity and their sexual behavior, during the rest period and they are effective to induce the sexual activity when they get in contact with anovulatory females. In the same way, nutritional complementation to photo-stimulated male goats in extensive conditions increased the percentage of pregnant females at 50 days post-introduction of the males.

Keywords: Caprines, male effect, photoperiod, nutrition.

1. INTRODUCCIÓN

La caprinocultura tiene un enorme valor en México, ya que nuestro país posee aproximadamente 10 millones de cabezas de ganado caprino. La Comarca Lagunera cuenta con el 4.8% del inventario nacional de ganado caprino (413 217 caprinos; SIAP, 2017). Esta actividad ha contribuido de manera importante en la producción de leche y carne a nivel nacional. En el año de 2015 se obtuvieron 60 358 000 litros de leche de cabra (SIAP, 2017), y en el 2016 aumentó a 61 678 000 litros, lo que representó una tasa de crecimiento de 2.2 % anual.

La Comarca Lagunera, ubicada en el subtrópico mexicano, región que practica extensivamente la caprinocultura, se sitúa en los estados de Coahuila y Durango. En Coahuila, se encuentran los municipios de Torreón, Matamoros, San Pedro, Fco. I. Madero y Viesca, y en Durango, Gómez Palacio, Lerdo, Tlahualilo, Mapimí, Rodeo, Nazas, San Juan de Guadalupe, San Luis del Cordero, General Simón Bolívar y San Pedro del Gallo.

La mayoría de las razas de ovinos y caprinos localizados en las zonas subtropicales del mundo muestran una estacionalidad reproductiva. Dicha estacionalidad reproductiva representa una desventaja para la producción caprina en esas regiones. En los machos caprinos subtropicales, las concentraciones séricas de testosterona, el olor, el comportamiento sexual, la producción espermática cuantitativa y cualitativa y el peso testicular son elevados durante la estación reproductiva y los valores de estas variables decrecen en la época de reposo sexual (Walkden-Brown *et al.*, 1994a; Delgadillo *et al.*, 1999, 2002).

La época de reposo sexual de los machos cabríos Locales de la Comarca Lagunera es de enero a junio. En dichos machos que se encuentran bien alimentados y que son tratados fotoperiodicamente, con 2.5 meses de días largos artificiales a partir del 1 de noviembre, se induce una intensa actividad sexual cuando normalmente ellos se encuentran en reposo sexual (Flores *et al.*, 2000; Delgadillo *et al.*, 2002). De igual manera, estos machos bien alimentados y tratados fotoperiodicamente son muy eficientes para inducir la actividad sexual de las hembras anovulatorias mediante el efecto macho (Flores *et al.*, 2000; Delgadillo *et al.*, 2002). Recientemente se reportó que en los machos cabríos mantenidos extensivamente y tratados fotoperiodicamente no disminuyen su capacidad para inducir la actividad sexual de las cabras anovulatorias (Guzmán, 2018). Hasta hoy son escasos los estudios realizados sobre la inducción de la actividad sexual en los machos mantenidos en condiciones extensivas. De hecho, se desconoce si en esos machos el tratamiento con luz estimula su actividad endocrina y el despliegue de su comportamiento sexual. Además, se desconoce si la complementación alimenticia en machos mantenidos extensivamente pueda influenciar la actividad endocrina y el comportamiento sexual de ellos.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los caprinos locales de la Comarca Lagunera mantenidos en condiciones alimenticias que cubren sus requerimientos nutricionales está demostrado que el tratamiento luminoso con 2.5 de días largos artificiales a partir del 1 de noviembre induce una intensa actividad sexual durante su periodo de reposo sexual natural (Flores *et al*, 2000). Asimismo, recientemente se demostró que las condiciones alimenticias de pastoreo extensivo no impiden que este tratamiento en machos se induzca la intensa actividad sexual (Guzmán, 2018). Sin embargo, se desconoce cómo una complementación alimenticia en estos machos mantenidos en extensivo puede influir sobre su actividad endocrina y conductual. En la presente tesis se determinó si la complementación alimenticia en machos cabríos mantenidos extensivamente puede afectar los niveles plasmáticos de testosterona y su capacidad para inducir la actividad sexual en cabras anovulatorias mediante efecto macho.

OBJETIVOS

Determinar si la complementación alimenticia mejora la actividad endocrina y sexual y el despliegue de la conducta sexual en machos fotoestimulados en condiciones extensivas.

Determinar si la complementación alimenticia a machos fotoestimulados en condiciones extensivas mejora a respuesta sexual de las cabras anovulatorias.

HIPÓTESIS

La complementación alimenticia mejora la actividad endocrina y el despliegue de la conducta sexual en machos foto-estimulados en condiciones extensivas.

La complementación alimenticia a machos fotoestimulados en condiciones extensiva mejora a respuesta sexual de las cabras anovulatorias.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Estacionalidad reproductiva de los caprinos en zonas subtropicales

2.1.1 Estacionalidad reproductiva en machos

La mayoría de las razas de ovinos y caprinos localizados en las zonas subtropicales del mundo muestran una estacionalidad reproductiva. Dicha estacionalidad reproductiva representa una desventaja para la producción caprina en esas regiones. Por ejemplo, en el caso de los machos cabríos, anualmente muestran un período de actividad sexual y un período de reposo sexual. De manera que, en los machos mantenidos bajo las variaciones naturales de luz, la actividad sexual inicia cuando los días comienzan a decrecer y termina cuando la duración del día empieza a incrementarse (Walkden-Brown *et al.*, 1994b; Delgadillo *et al.*, 1999, 2002).

En los machos caprinos originarios de regiones subtropicales, las concentraciones séricas de testosterona, el olor, el comportamiento sexual, la producción espermática cuantitativa y cualitativa y el peso testicular son elevados durante la estación reproductiva (Walkden-Brown *et al.*, 1997; Delgadillo *et al.*, 1999). Específicamente, en los caprinos del norte de México estas variables son elevadas o intensas del mes de mayo a diciembre, mientras que el resto de los meses del año estas variables están a valores muy bajos (Figura 1; Delgadillo *et al.*, 1999).

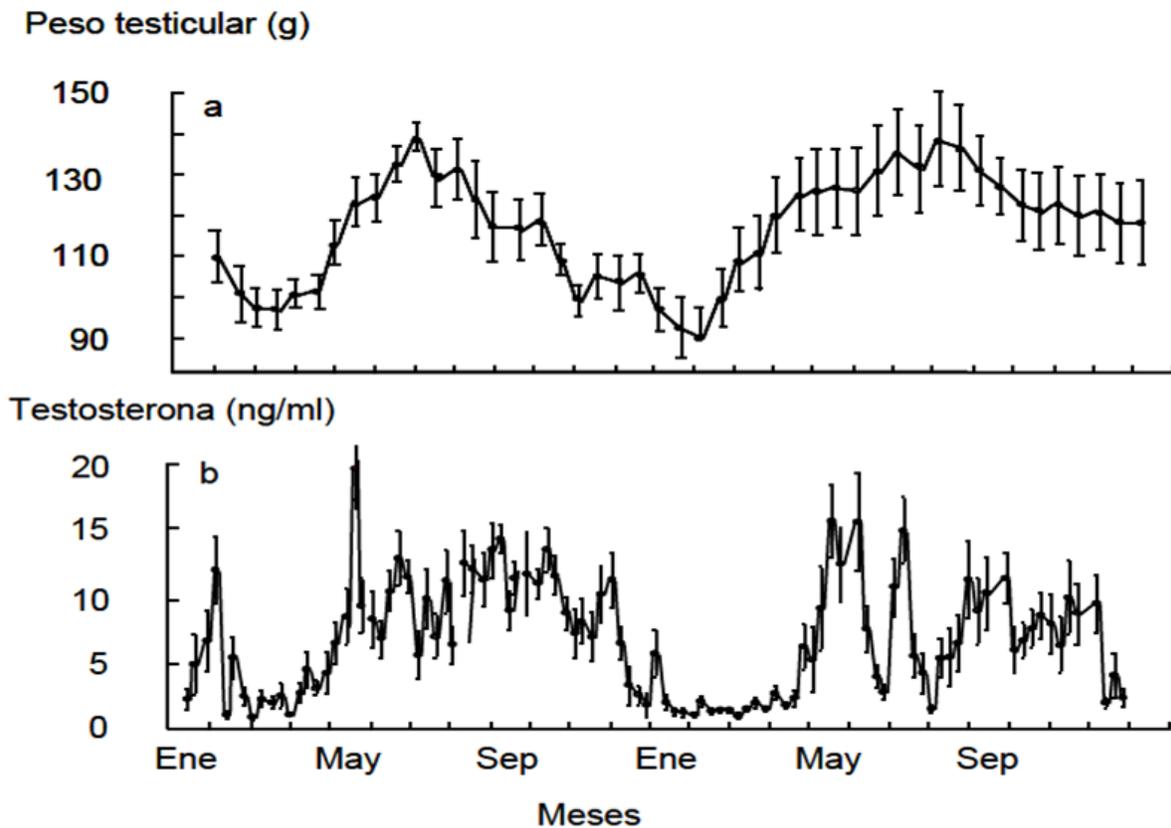


Figura 1. Variaciones estacionales (promedio \pm eep) del peso testicular (a) y las concentraciones plasmáticas de testosterona (b) de los machos cabríos locales del norte de México (26° N) mantenidos en estabulación (Modificada de Delgadillo *et al.*, 1999).

Por otro lado, los machos Cashmere australianos exhiben variación estacional considerable en su actividad sexual. Por ejemplo, el pico de la concentración plasmática de testosterona se ha observado en el mes de abril, tanto en animales bien alimentados como en subalimentados. Estos patrones estacionales de la actividad testicular son similares a los observados en los machos

silvestres y los carneros de la raza Merino (Walkden-Brown *et al.*, 1994c). Lo anterior ilustra que la estación del año tiene una fuerte influencia en la fisiología reproductiva de los ovinos y caprinos, independientemente de la disponibilidad de recursos alimenticios. Con los anteriores elementos, podemos argumentar que los machos cabríos localizados en los subtrópicos muestran una estacionalidad en su actividad sexual.

2.1.2 Estacionalidad reproductiva en hembras

Las hembras originarias de latitudes subtropicales también manifiestan estacionalidad reproductiva. Está documentado que, en las cabras adaptadas u originarias de la Comarca Lagunera (región subtropical) la estación sexual inicia en septiembre y termina en febrero (Duarte *et al.*, 2008), mientras el anestro estacional, el cual se caracteriza por la ausencia de ciclos ovulatorios, inicia en marzo y termina en agosto (Duarte *et al.*, 2008; Figura 2).

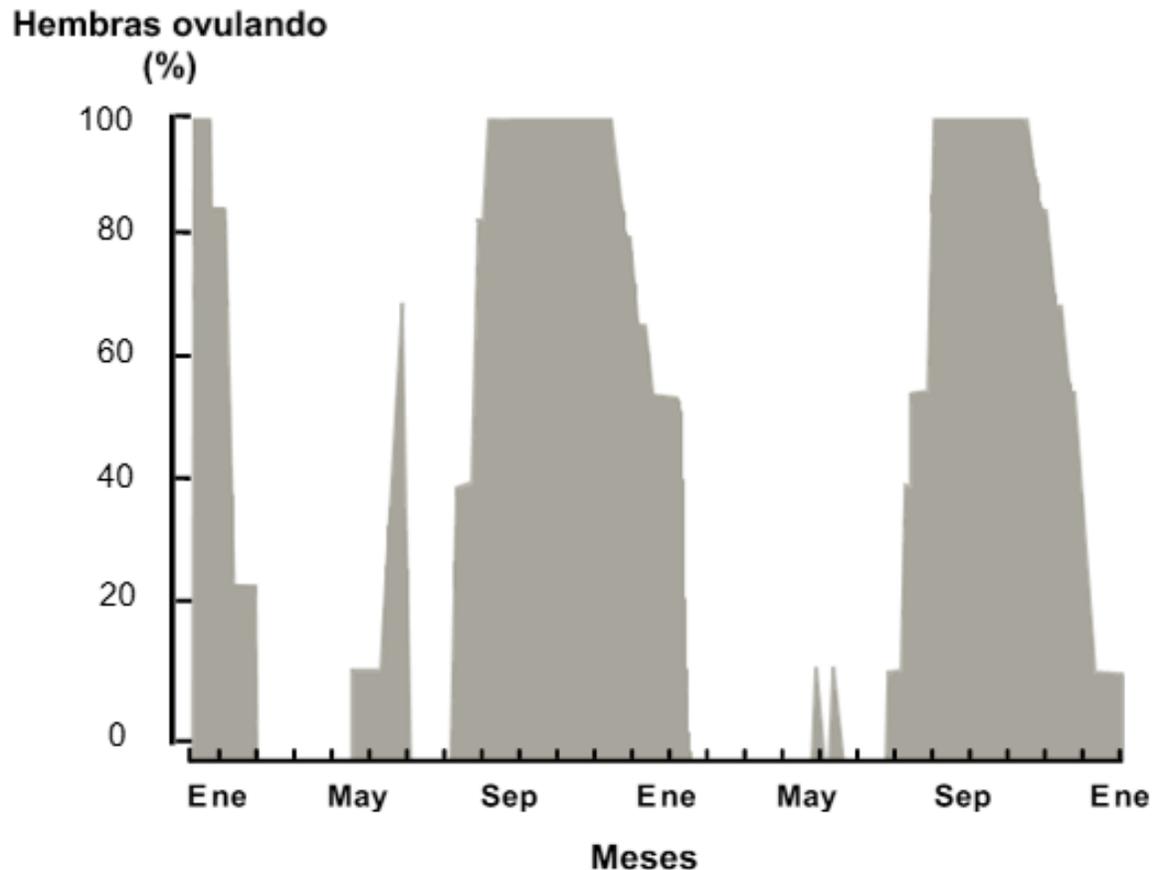


Figura 2. Variaciones estacionales de la actividad ovulatoria de las cabras locales del norte de México (26° N) mantenidas bajo fotoperiodo natural y alimentadas en condiciones de estabulación (Modificada de Duarte *et al.*, 2008).

También, las cabras Criollas de América del Sur se clasifican como animales que muestran una estacionalidad reproductiva. Por ejemplo, las cabras Criollas Argentinas mantenidas bajo fotoperiodo natural y con una nutrición controlada muestran una reproducción estacional. El patrón reproductivo anual observado involucra una época reproductiva que ocurre durante los meses de marzo hasta agosto (otoño-invierno) y el anestro estacional sucede en los meses desde septiembre hasta febrero (primavera-verano) (Rivera *et al.*, 2003). Además, las transiciones entre estaciones son graduales, con niveles de actividad sexual

máximos y mínimos concentrados alrededor de los solsticios de invierno y verano, respectivamente. Por lo tanto, las cabras Criollas de Argentina, como también las localizadas en el subtrópico mexicano tienen una reproducción estacional (Rivera *et al.*, 2003; Duarte *et al.*, 2008).

2.2 Factores que modifican la actividad sexual de los pequeños rumiantes machos y hembras

2.2.1 El fotoperiodo

La mayoría de las investigaciones sobre los factores que controlan el inicio de la época reproductiva se ha concentrado en el fotoperiodo y la mayoría de los estudios se han hecho en laboratorios situados en latitudes templadas usando especies de esas regiones. En climas templados, los pequeños rumiantes han desarrollado patrones de reproducción estacional, los cuales aseguran que la última etapa de la gestación y la lactancia ocurran durante la primavera y verano. De este modo, las oportunidades de supervivencia, tanto de la madre como de la cría, se incrementan por la combinación de temperaturas moderadas y pastura abundante. Los pequeños rumiantes coordinan su actividad reproductiva mediante el fotoperiodo, una señal medioambiental muy confiable para pronosticar las estaciones del año (Walkden-Brown *et al.*, 1997).

En los caprinos originarios de latitudes templadas y subtropicales, el fotoperiodo también es el principal factor ambiental que determina la estacionalidad reproductiva. Por ejemplo, en los machos cabríos de la Comarca Lagunera que

fueron sometidos a alternancias de 3 meses de días largos artificiales y 3 meses de días cortos artificiales. El peso testicular y las concentraciones de testosterona se incrementaron en los machos expuestos a días cortos y los valores de estas decrecieron cuando los machos recibían los días largos (Delgadillo *et al.*, 2004). Este mismo efecto fue demostrado en las hembras originarias al someterlas a alternancias de 3 meses de días largos artificiales y 3 meses de días cortos artificiales (Duarte *et al.*, 2010). De manera consistente, en este último estudio las cabras ovularon cuando percibieron los días cortos artificiales y las ovulaciones cesaron cuando las hembras percibieron los días largos artificiales.

Es importante notar que en estos estudios (Delgadillo *et al.*, 2004; Duarte *et al.*, 2010) los animales recibieron sus requerimientos nutricionales constantemente, por lo cual podemos decir que la nutrición no fue responsable de esos cambios en la actividad sexual.

2.2.1.1 ¿Cómo el fotoperiodo regula la actividad sexual en machos y hembras estacionales?

La actividad sexual en ovinos y caprinos es fuertemente influenciada por el fotoperiodo, el cual es el principal factor ambiental responsable de la estacionalidad reproductiva en pequeños rumiantes. Los cambios en el fotoperiodo regulan la secreción de la melatonina desde la glándula pineal. La retina percibe la señal física luminosa del fotoperiodo, la cual sigue una vía nerviosa hasta el núcleo supraquiasmático, donde el mensaje nervioso regula un ritmo circadiano de

secreción de la melatonina. La melatonina se secreta fundamentalmente durante la fase de oscuridad. La mayor duración de la secreción de esta hormona depende de la duración de las horas de oscuridad. Un ciclo diario de mayor secreción de melatonina está caracterizado por mayor tiempo de secreción debido a mayor duración de la noche y menor tiempo de secreción debido a una menor duración de la noche (Delgadillo y Chemineau, 1992; Delgadillo *et al.*, 2001; Forcada y Abecia, 2006; Gómez-Brunet *et al.*, 2012).

Durante los días cortos hay mayor secreción de melatonina, la cual estimula vía nerviosa la secreción del péptido kisspeptina en el núcleo paraventricular anteroventral y el núcleo arcuato del hipotálamo (Malpaux *et al.*, 1998; Sliwowska *et al.*, 2004). 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 a la GnRH, estas células secretan las gonadotropinas LH y FSH (Clarke *et al.*, 2009). De este modo, los cambios estacionales en la frecuencia de los pulsos de LH están regulados por los cambios en la secreción de GnRH. El ciclo estacional de secreción de la testosterona es controlado por el patrón de secreción de la LH. Así, cuando la concentración plasmática de LH es mayor, también las concentraciones plasmáticas de testosterona son elevadas y se presenta la actividad sexual. En cambio, cuando la concentración de LH es baja, también las concentraciones de testosterona son bajas y se presenta el reposo sexual (Walkden-Brown *et al.*, 1994d).

De manera general, los días cortos estimulan la actividad sexual y los días largos la inhiben. Además, en especies de rumiantes estacionales se ha demostrado que los efectos específicos de los días largos y los días cortos no son permanentes. De hecho, se ha demostrado que el fotoperiodo prolongado de días cortos o días largos inducen en los animales un estado de fotorefractariedad (Malpaux *et al.*, 2006).

En los ovinos localizados en latitudes templadas, esta refractariedad a los días largos inhibitorios y días cortos estimulatorios tiene un papel central regulando las transiciones de la reproducción estacional (Karsch *et al.*, 1987). De hecho, la aplicación de días cortos artificiales constantes a partir del solsticio de invierno no impide que la época reproductiva termine (Malpaux *et al.*, 1987). Asimismo, la exposición de las ovejas a días largos artificiales constantes desde el solsticio de verano en adelante no impide el comienzo de la época reproductiva (Robinson y Karsch, 1984). En las razas ovinas que muestran una notable estacionalidad reproductiva, la existencia de un ritmo endógeno reproductivo es demostrada al exponer las ovejas a días cortos (8 horas de luz/día) o días largos (16 horas de luz/día) constantes o a un fotoperiodo equinoccial (12 horas de luz/día) durante un largo periodo. En estas condiciones, estos animales mostraron periodos de reposo sexual y periodos de actividad sexual (Karsch *et al.*, 1989).

Este ritmo endógeno es sincronizado mediante un control del ritmo circadiano en la secreción de melatonina (Woodfill *et al.*, 1994). Los días largos de primavera-verano proporcionan la señal para que la duración del día sincronice la actividad neuroendocrina y reproductiva, permitiendo que a la actividad reproductiva

comience en el otoño (Barrell *et al*, 2000). Los días cortos decrecientes entre el solsticio de verano y el equinoccio de otoño son una señal crítica involucrada en la sincronización del final de la actividad reproductiva a mediados de invierno (Malpaux *et al*, 1988). Lo anterior, contribuye a asegurar la duración apropiada de la época reproductiva (Malpaux y Karsch, 1990)

2.2.2 La nutrición como factor que modula la actividad sexual y neuroendocrina en pequeños rumiantes

En machos Cashmere Australianos, localizados en regiones subtropicales y mantenidos en condiciones extensivas, hay un incremento del peso vivo de manera estacional de diciembre a febrero y decrece de marzo hasta junio. Lo anterior, es un reflejo de la disponibilidad de forraje en las áreas de pastoreo. También la circunferencia escrotal muestra un patrón estacional, con un incremento relativamente rápido en agosto, seguido de una regresión de marzo a julio y alcanzando el tamaño mínimo en junio. Estos cambios están asociados a la disponibilidad natural de forraje en las áreas de pastoreo (Walkden-Brown *et al.*, 1997). Además, de estudios con machos alojados en sistemas intensivos y alimentados *ad libitum* confirman los cambios estacionales del peso vivo y el tamaño testicular, asimismo sugieren que ambos ciclos corporales son secundarios al ciclo del apetito inducido por el fotoperiodo (Walkden-Brown *et al.*, 1997). En los machos cabríos de la raza Payoya, al proporcionarles 1.6 o 1.1 veces sus requerimientos nutricionales, ello no tuvo mayores efectos sobre el inicio y el final de la estación sexual (medida por las concentraciones de testosterona; Zarazaga *et al.*, 2009). Sin

embargo, la latencia a la eyaculación fue menor en los machos que recibieron 1.6 veces sus requerimientos nutricionales de mantenimiento que los que recibieron solo 1.1 veces. Del mismo modo, el porcentaje de machos que eyacularon fue mayor en el grupo que recibió 1.6 veces sus requerimientos que en el que recibió solo 1.1 veces sus requerimientos nutricionales. A pesar de que los efectos de la estacionalidad y la dieta en la concentración de testosterona están estrechamente asociados con cambios en la concentración de LH, los efectos en el crecimiento testicular son menos dependientes a los cambios en las concentraciones de gonadotropinas. Sin embargo, el crecimiento testicular de los machos cabríos también ha mostrado ser muy sensible al ambiente nutricional (Walkden-Brown *et al.*, 1994a).

Como se mencionó anteriormente, los efectos de la dieta en el volumen testicular son regulados principalmente por señales metabólicas. La concentración de testosterona es dependiente de la secreción de LH, bajo un rígido control estacional. Esto está demostrado claramente por los patrones circanuales en la secreción de la LH y la testosterona, con picos durante el otoño, que corresponde a la estación reproductiva y a pesar de un decline en el peso vivo y el tamaño testicular. Sin embargo, también se ha reportado que el volumen testicular está regulado por la ingesta de alimento, independientemente de la concentración de gonadotropinas (Walkden-Brown *et al.*, 1994b).

En cuanto a las hembras, el anestro estacional se acorta cuando éstas reciben una mejor dieta, lo anterior se debe a un adelanto en su época reproductiva natural. La respuesta de la secreción de LH a la variación del fotoperiodo es

modificada por la alimentación. De tal manera que la privación nutricional reduce dicha secreción de LH, lo cual podría llevar a un estado anovulatorio de las hembras y por ello a un anestro estacional en algunas razas (Gómez-Brunet *et al.*, 2012). En ovinos, ocurre un incremento de la LH a una señal nutricional. Este estímulo nutricional es más fuerte cuando las ovejas son sometidas a un fotoperiodo característico del final del anestro estacional o característico del principio de la época reproductiva (Forcada y Abecia, 2006).

Está claro que en ciertas razas de ovinos y caprinos procedentes o adaptadas a regiones subtropicales, el factor que modera la actividad reproductiva es el fotoperiodo. Sin embargo, otros factores ambientales como la nutrición pueden cambiar la duración de la época reproductiva, las propiedades del ciclo estral y la tasa ovulatoria (Forcada *et al.*, 1992; Zarazaga *et al.*, 2005). La nutrición produce dos grandes consecuencias en la actividad ovárica, la primera es a nivel central, por medio de la modulación de la secreción de GnRH y LH (Dunn y Moss, 1992). Una subnutrición altera el sistema hipotálamo-hipofisiario que está caracterizada por hipoglicemia, hipoinsulinemia, bajos niveles de leptina y altos niveles de ácidos grasos no esterificados (NEFAs), beta hidroxibutiratos, GH y urea (Scaramuzzi *et al.*, 2006; Scaramuzzi y Martin, 2008). Estas alteraciones inducen una falla en la secreción de gonadotropinas y como resultado, la inhibición de la ovulación (Scaramuzzi *et al.*, 2006; Scaramuzzi y Martin, 2008). Esto puede conducir a un estado anovulatorio, ya que en las hembras subnutridas existe una sensibilidad superior de la hipófisis a la retroalimentación negativa del estradiol, comparado con las hembras bien nutridas. Desde el punto neuroendocrino, en las hembras

subnutridas ocurre una inhibición en la liberación de GnRH y por lo tanto de LH. Por otro lado, la desnutrición induce una sensibilidad reducida de la hipófisis a los pulsos de GnRH (Karsch *et al*, 1987). Se ha planteado que, bajo estados de déficit de energía, la liberación de gonadotropinas puede fallar, puesto que hay una aportación de glucosa insuficiente (Randel *et al*, 1990; Funston *et al*, 1995; Diskin *et al*, 2003). No se conocen plenamente los mecanismos que regulan el uso de la glucosa a nivel central, no obstante, se ha distinguido al factor de crecimiento similar a la insulina-I (IGF-I) como intermediario, ya que funciona como regulador paracrino y/o autocrino de los procesos celulares incluyendo la captación de glucosa.

Existe la suposición de que el IGF-I y sus proteínas ligadoras (IGF-I BP) intervienen en la liberación de GnRH y LH realizando acciones autocrinas, endocrinas y paracrinas a nivel hipófisis e hipotálamo. (McGuire *et al*, 1992; Jones y Clemmons, 1995). Hay una consecuencia de la nutrición que actúa a nivel periférico a través de un mecanismo directo al ovario (Scaramuzzi y Martin, 2008). En ovinos y caprinos, los folículos ováricos son muy sensibles a la ingesta nutricional. Además, la foliculogénesis y la tasa ovulatoria aumentan por medio del manejo nutricional (Scaramuzzi *et al*, 2006). Se ha verificado que la energía proporciona señales importantes para que ocurra la ovulación, por lo cual se ha propuesto que el aumento en la captación de glucosa por el ovario está estrechamente relacionado con la tasa ovulatoria (Scaramuzzi *et al*, 2006).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Nota ética

En el presente estudio el manejo de machos y hembras fue de acuerdo con las especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio (SAGARPA, 2001).

3.2 Localización del área del estudio

El presente experimento fue llevado a cabo en 2 ejidos ubicados en la Comarca Lagunera. El primer trabajo se realizó en el Ejido Corona, que se encuentra en la latitud 25°58' N, longitud 103°25' O y altitud de 1115 msnm y el segundo trabajo se realizó en el Ejido La Esperanza, que se encuentra en la latitud 25°56' N, longitud 103°28' O y altitud de 1110 msnm, ambos ejidos en el municipio de Matamoros, Coahuila (CONAGUA, 2019). El fotoperiodo en esta región varía de 13 h 41 min de luz en el solsticio de verano a 10 h 19 min de luz en el solsticio de invierno (Duarte *et al.*, 2008; Figura 3).

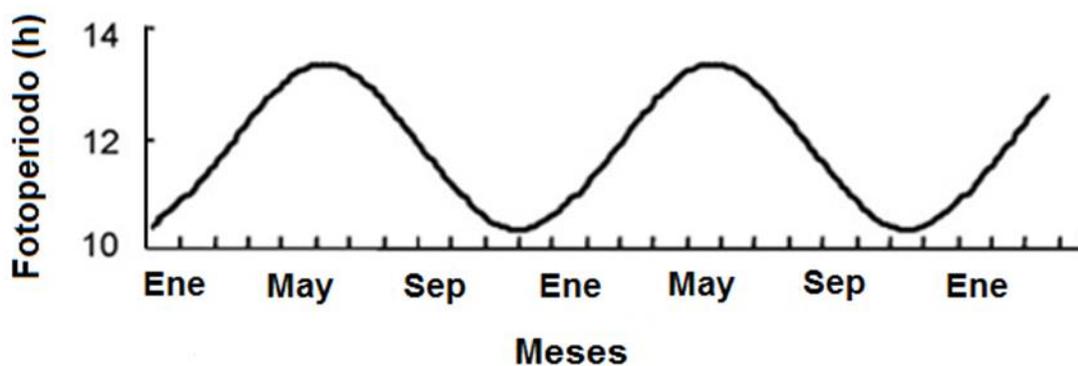


Figura 3. Variación anual de las horas luz del fotoperiodo en la Comarca Lagunera (Adaptado de Duarte *et al.*, 2008).

3.3 Descripción de los animales y grupos experimentales del estudio

3.3.1 Grupos de machos

Para este estudio se utilizaron machos cabríos adultos locales de la Comarca Lagunera ($n = 22$), con edad promedio de 3 ± 0.5 años. El 27 de octubre del 2017, los machos fueron distribuidos en 4 grupos homogéneos, según su condición corporal (2.2 ± 0.1 cada uno) y 3 de estos grupos se incorporaron a 3 hatos que eran mantenidos de manera similar bajo un sistema de producción extensivo.

El grupo de machos Control (CONT, $n=6$) fue alojado con un hato privado dónde sólo había hembras y se alimentó únicamente de la vegetación nativa obtenida en el pastoreo extensivo. Este grupo se mantuvo bajo las variaciones naturales del fotoperiodo y dichos machos no recibieron ningún tratamiento fotoperiódico.

Los grupos de machos Días Largos (DL, $n=5$) y Días Largos más Complementación (DL+C, $n=5$), fueron alojados en otros dos hatos diferentes con las mismas características de manejo extensivo que el anterior. Estos machos, recibieron el tratamiento fotoperiódico de días largos artificiales (16h luz/día), del 15 de noviembre al 15 de enero.

En estos grupos mantenidos en condiciones extensivas (CONT, DL y DL+C) los animales salían a pastorear de las 10:00 h a las 18:00 h. En el pastoreo los animales consumían la flora disponible, que estaba constituida principalmente de arbustos (*Parthenium incanun*, *Agave lechuguilla*, *Buddleja scordioides* y *Atriplex canescens*), lo que constituyó más del 80% de la dieta de las cabras a través del año. El 12% de la dieta lo constituyó las plantas herbáceas y los pastos

constituyeron menos del 10% de la dieta (Mellado *et al*, 1991). Estudios previos han mostrado que este tipo de pastura provee 15% de proteína cruda y 2.3 Mcal/kg de energía metabolizable (EM). El consumo diario de esta dieta no provee los requerimientos nutricionales para mantenimiento y producción (Juárez-Reyes *et al*, 2004).

El grupo de machos Intensivo se mantuvo en condiciones alimenticias de tipo estabulado (INT, n=6), durante todo el estudio la alimentación proporcionada a estos machos se basó en 2 kg de alfalfa henificada (que contenía 18% de proteína cruda y 2 Mcal/kg de energía) y en 100 g de concentrado (12% de proteína cruda y 1.7 Mcal/kg de energía) de acuerdo con sus requisitos nutricionales. El agua y los minerales se les proporcionaron a libre acceso.

Este grupo se alojó en las instalaciones del Centro de Investigación en Reproducción Caprina, dentro de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. En estas instalaciones, los machos recibieron el tratamiento fotoperiódico de días largos artificiales (16h luz/día) en el mismo periodo que los grupos anteriores. Para ello, el corral de estos animales estaba provisto con lámparas de luz blanca que emitían en promedio 300 lux al nivel de los ojos de los machos. Las luces se encendían diariamente a las 05:00 h y se apagaban automáticamente a las 08:00 h. Posteriormente, por las tardes las luces se encendían a las 18:00 h y se apagaban automáticamente a las 21:00 h. Este tratamiento proporcionó 16 h de luz/día. Este tratamiento de fotoperiodo inició el 15 de noviembre de 2017 y terminó el 15 de enero de 2018. Así, los machos recibieron 2 meses de días largos artificiales (16

horas luz/día), posteriormente al día 16 de enero, los machos recibieron las variaciones del fotoperiodo natural.

3.4 Tratamiento fotoperiódico en los machos mantenidos en extensivo (DL y DL+C)

En estos 2 grupos de machos, para proporcionar el tratamiento fotoperiódico se realizaba lo siguiente: al regresar del pastoreo, los machos eran separados del resto del rebaño y acogidos en un corral independiente (6.5 x 2.5 m). Los corrales donde se alojaron los machos cabríos fueron equipados con lámparas de luz blanca de 30 watts cada una. Se comprobó que la intensidad luminosa en todo el corral fuera de al menos 300 lux a nivel de los ojos de los machos.

Las lámparas fueron programadas para encenderse automáticamente de las 05:00 a las 08:00 horas. Posteriormente, se volvían a encender de las 18:00 a las 21:00 horas, con ello se proporcionó 16 h luz y 8 h oscuridad. Este tratamiento de fotoperiodo inició el 15 de noviembre de 2017 y terminó el 15 de enero de 2018. Así, los machos recibieron 2 meses de días largos artificiales (16 horas luz/día). A partir del 16 de enero de 2018, se suspendió la luz artificial y los machos recibieron las variaciones del fotoperiodo natural.

Está claramente demostrado que este tratamiento fotoperiódico estimula el comportamiento sexual de los machos en condiciones intensivas y los hace capaces de inducir el comportamiento estral en una gran proporción de las hembras anovulatorias expuestas a ellos (Delgadillo *et al.*, 2002; Ponce *et al.*, 2014).

3.5 Complementación alimenticia (grupo DL+C)

A cada uno de los machos del grupo DL+C, además del consumo de materia seca obtenida durante el pastoreo, diariamente se les suministró 600 g de concentrado alimenticio, que contenía 13% de proteína cruda (PC) y 1.7 Mcal/kg de energía, a las 07:00 h. Para ello, se utilizaron comederos separados de manera individual. La complementación se realizó a partir del 12 de enero (3 días antes de finalizar el tratamiento fotoperiódico) hasta el 25 de marzo (un día antes de iniciar el efecto macho).

3.6 Variables evaluadas en los machos

3.6.1 Determinación de los niveles de testosterona de los machos

En los grupos de machos, cada 15 días a partir del 15 de diciembre se tomaron muestras sanguíneas para determinar la concentración sérica de testosterona (exactamente a la mitad del tratamiento fotoperiódico) hasta el 31 de marzo (6 días después de iniciar el efecto macho). Las muestras fueron recolectadas mediante venopunción de la vena yugular y se colocaron en tubos BD Vacutainer (México) de 6 ml para suero conteniendo un activador de la coagulación. Posteriormente, el suero se obtuvo mediante centrifugación de las muestras sanguíneas a 3500 rpm durante 45 minutos. Al obtener el suero, éste fue almacenado a -20°C hasta que se llevó a cabo la determinación hormonal. Las concentraciones séricas de testosterona se determinaron mediante inmunoensayo, descrito por Canépa *et al.* (2008). La sensibilidad del ensayo fue 0.05 ng/ml.

3.6.2 Condición corporal, peso corporal y testicular

La condición corporal y peso corporal se evaluaron el 27 de octubre para formar los 4 grupos experimentales. Posteriormente, las mediciones se realizaron cada 15 días, a partir del 15 de noviembre (al inicio del tratamiento fotoperiódico) hasta el 31 de marzo (6 días después de iniciar el efecto macho). La condición corporal y peso corporal de los machos se determinaron por las mañanas en ayuno. El pesaje se realizó utilizando una báscula mecánica con una capacidad de 100 kg y una precisión de 1 kg. El peso testicular se evaluó cada 15 días iniciando el 15 de enero hasta el 31 de marzo. Para ello, se utilizó un orquidómetro cuyas formas ovales estaban graduadas cada 25 g. La técnica de esta medición fue la de palpación comparativa descrita en ovinos por Oldham *et al* (1978).

3.6.3 Comportamiento sexual de los machos durante el efecto macho

El comportamiento sexual de los machos de los 4 grupos se observó durante 30 minutos, los días 0 (día de introducción del macho), 1, 2 y 3 posterior a la introducción de los machos a los grupos de las hembras. Las conductas sexuales registradas en los machos fueron aproximaciones y olfateos ano-genitales según las siguientes definiciones proporcionadas por Fabre-Nys (2000).

Una aproximación se definió como cuando el macho se acercó a la hembra con una emisión sonora breve y un movimiento de la pata delantera en extensión hacia la hembra.

Un olfateo ano-genital se definió como cuando el macho acercó su nariz hacia la zona ano-genital de alguna hembra.

3.7 Hembras utilizadas en el efecto macho

En el Ejido La Esperanza, municipio de Matamoros, Coahuila, de un hato de 108 hembras caprinas, se hicieron cuatro grupos ($n = 27$), según su condición corporal (1.5 ± 0.1 cada grupo). La edad promedio de las hembras fue de 3.5 años (± 6.0 meses en cada grupo).

El 10 de marzo del 2018, 16 días antes de empezar el efecto macho, todas las cabras del estudio fueron sometidas a un análisis de ultrasonografía transrectal para evaluar su condición ovárica. Para ello, se utilizó el dispositivo marca Aloka SSD- 500 el cual estaba conectado a un transductor de 7.5 MHz lineal. Los resultados revelaron que las hembras se encontraban anovulatorias, ya que no se encontraron cuerpos lúteos en ninguna hembra.

3.7.1 Efecto macho

El 26 de marzo a las 08:00 horas los machos fueron puestos en contacto con los grupos de hembras anovulatorias. Se utilizó la proporción de 1 macho por cada 9 hembras en cada tratamiento. Los machos permanecieron con las hembras durante 20 días y se intercambiaron diariamente entre cada uno de los subgrupos de hembras por las mañanas. Durante el efecto macho, la alimentación de los animales se basó en 2 kg alfalfa henificada con 18% de proteína cruda y 2 Mcal/kg

de energía. El agua y los minerales se les proporcionó *ad libitum*. Dos días antes del inicio del efecto macho las hembras fueron alojadas en corrales (5 x 4 m), con el propósito de que se adaptaran a los corrales experimentales.

3.7.2 Variables evaluadas en las hembras

3.7.2.1 Determinación de la proporción de cabras que ovularon en respuesta al efecto macho

El 14 de abril (20 días post-introducción de los machos) se realizó un ultrasonido transrectal en cada una de las cabras de los 4 grupos con el fin de verificar la ocurrencia o no de la ovulación. Se confirmó que una hembra ovuló cuando en al menos en uno de sus ovarios se observó al menos un cuerpo lúteo (Simões et al, 2005). El porcentaje de cabras que ovularon en cada grupo se calculó con la siguiente regla de tres simple:

$$\% \text{ de cabras que ovularon en respuesta al macho} = (\text{número de cabras que ovularon} \times 100) / \text{número de cabras expuestas al macho}$$

El porcentaje de cabras preñadas a los 50 días pos-introducción de los machos fue calculado como sigue: número de hembras preñadas / número de hembras expuestas al macho. Esta variable se determinó mediante ultrasonografía abdominal, utilizando el mismo equipo de ultrasonido conectado a una sonda abdominal de 3.5 MHz.

3.8 Análisis estadístico

En los machos, las concentraciones plasmáticas de testosterona se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) con medidas repetidas considerando los factores tiempo de muestreo y el tratamiento. El mismo procedimiento estadístico se usó para analizar el peso corporal y el testicular. Debido a los datos discretos de la condición corporal ésta variable se comparó entre grupos en cada tiempo medido usando una prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. La frecuencia total de cada comportamiento sexual fue comparada entre grupos con la prueba de Chi cuadrada. Este mismo procedimiento se utilizó para comparar la proporción de cabras que ovularon en respuesta al macho y la proporción de cabras gestantes a los 50 días post-introducción de los machos. Los análisis estadísticos se realizaron con el software SYSTAT 13 (2009). La significancia entre los tratamientos se estableció cuando la P alcanzó el valor de 0.05.

4. RESULTADOS

4.1 Variables evaluadas en los tratamientos de machos

4.1.1 Respuesta endocrina (testosterona) de los machos al tratamiento fotoperiódico y a la suplementación

El ANOVA reveló que las concentraciones de testosterona en suero fueron más altas en los grupos tratados que en el grupo control (Figura 4; $P < 0.05$). Por otro lado, hubo un efecto del tiempo ($P < 0.01$), así como una interacción entre el tratamiento y el tiempo sobre las concentraciones de testosterona. Así a los 60 días de terminado el tratamiento de luz y de iniciada la complementación alimenticia, los grupos de machos INT, DL y DL+C mostraron mayores niveles plasmáticos de testosterona que el grupo CONT (Figura 4).

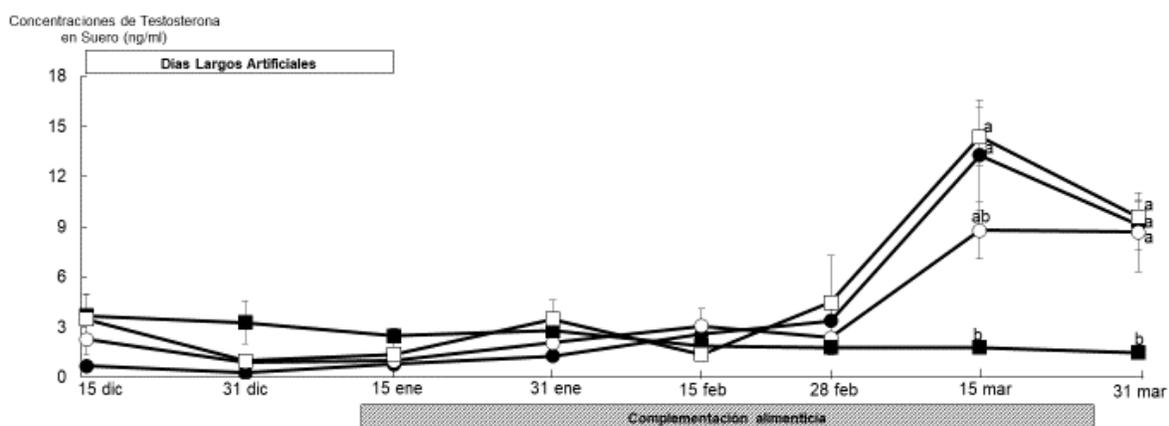


Figura 4. Variación de las concentraciones de testosterona en suero (promedio \pm EEM) en los grupos de machos foto-estimulados mediante 2 meses de días largos artificiales en condiciones intensivas (INT □), de los machos foto-estimulados en condiciones extensivas (DL+C ●, DL ○) y el grupo control (CONT ■).

4.1.2 Condición corporal (CC), peso corporal y testicular

La CC registrada en los machos de los diferentes tratamientos se muestra en la Figura 5. En ella se detalla que esta CC no difirió entre grupos durante el tratamiento de luz ($P > 0.05$), pero esta CC mostró variaciones a lo largo del estudio ($P < 0.05$). En efecto, a partir de los 35 días de proporcionar la complementación alimenticia, la CC registrada fue menor en el grupo CONT ($P < 0.05$) que en los demás grupos. Al igual que la CC, el peso corporal no difirió entre grupos durante el tratamiento de luz ($P > 0.05$), pero esta variable varió a través del tiempo estudio ($P < 0.05$). Además, el ANOVA mostró una interacción tiempo \times tratamiento ($P < 0.05$). Por ello, a los 20 días de iniciada la complementación alimenticia hasta el final del estudio el grupo INT mostró mayor peso corporal seguido del grupo DL+C (ver comparación entre tratamientos en la Figura 6). Con respecto al peso testicular, el ANOVA no indicó un efecto significativo del tratamiento ($P > 0.05$), sin embargo, reveló un efecto del tiempo ($P < 0.001$) y una interacción tiempo \times tratamiento ($P < 0.001$). Lo anterior indicó que el peso testicular durante el estudio fue menor en el grupo CONT que en el resto de los grupos (Figura 7).

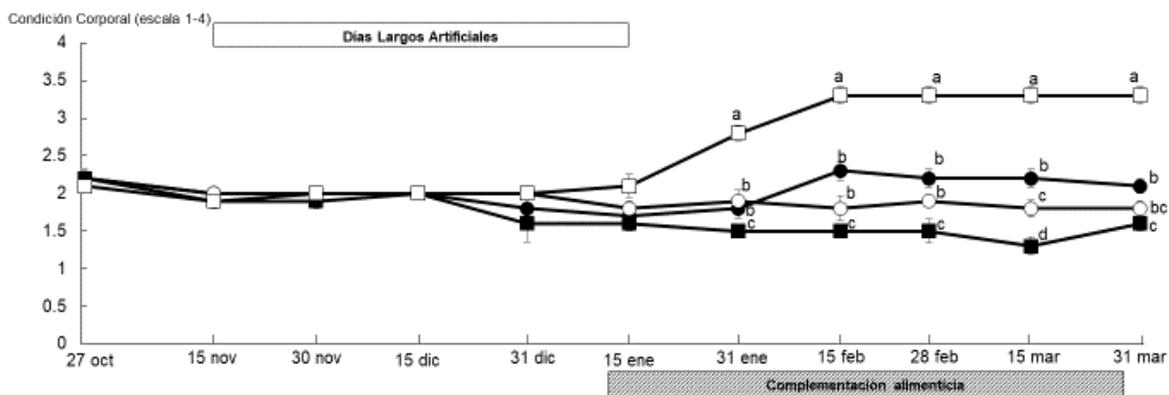


Figura 5. Promedio (\pm EEM) de la condición corporal en los grupos de machos foto-estimulados con días largos artificiales en condiciones intensivas (INT □), en condiciones extensivas (DL+C ●, DL ○) y el grupo control (CONT ■).

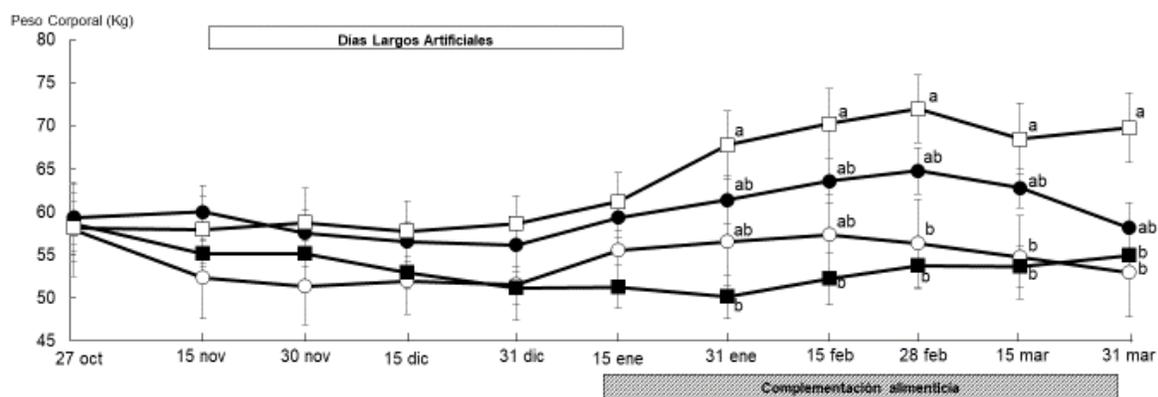


Figura 6. Desarrollo del peso corporal (promedio \pm EEM) durante el tiempo del estudio en los grupos de machos foto-estimulados con días largos artificiales en condiciones intensivas (INT □), en condiciones extensivas (DL+C ●, DL ○) y el grupo control (CONT ■).

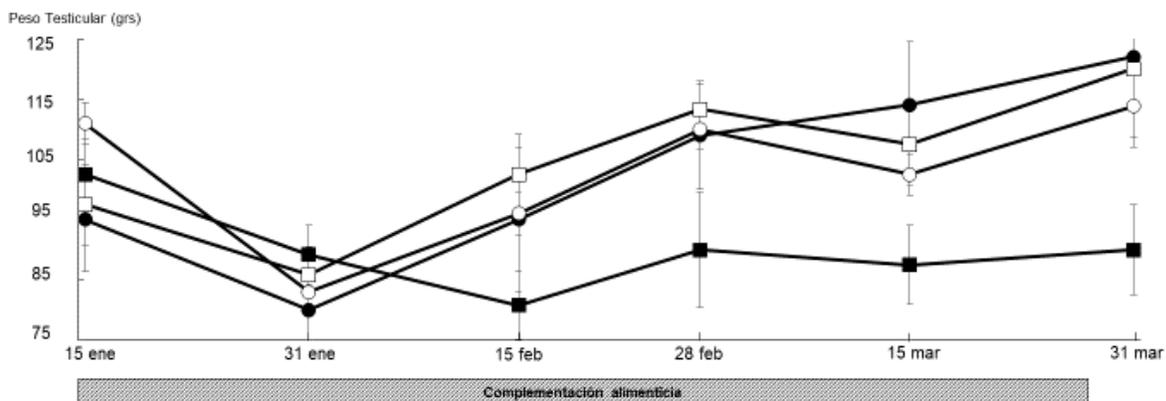


Figura 7. Variación en el peso testicular (promedio \pm EEM) en los grupos de machos foto-estimulados con días largos artificiales en condiciones intensivas (INT □), en condiciones extensivas (DL+C ●, DL ○) y el grupo control (CONT ■).

4.1.3 Comportamiento sexual de los machos durante el efecto macho

4.1.3.1 Aproximaciones

El número de aproximaciones registrado en los machos al ponerlos en contacto con las hembras fue diferente entre los cuatro tratamientos ($P < 0.001$). Las diferencias entre los tratamientos se muestran en la Figura 8 (izquierda).

4.1.3.2 Olfateos ano-genitales

El número de olfateos ano-genitales registrado en los machos al ponerlos en contacto con las hembras fue diferente entre los cuatro tratamientos ($P < 0.001$). Las diferencias entre los tratamientos se muestran en la Figura 8 (derecha).

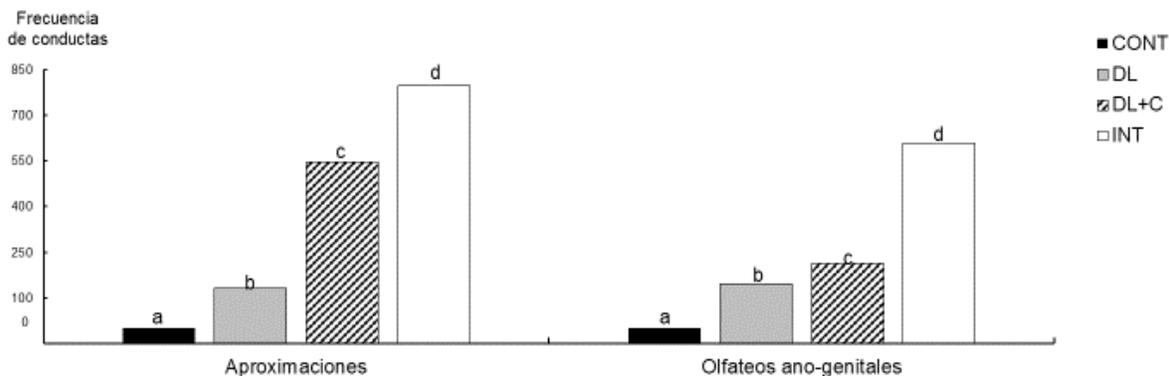


Figura 8. Despliegue del comportamiento sexual de los machos cabríos de los diferentes tratamientos, machos foto-estimulados con días largos artificiales en condiciones intensivas (INT □), en condiciones extensivas (DL+C ▨, DL ■) y el grupo control (CONT ■). Los machos fueron puestos en contacto con hembras anovulatorias y se registraron las conductas durante media hora diaria (08:00-08:30 hrs) los primeros 4 días de contacto.

4.2 Variables reproductivas evaluadas en las hembras

4.2.1 Proporción de cabras que ovularon en respuesta al efecto macho

En la Figura 9 (izquierda) se aprecia que el 100% de las hembras puestas en contacto con los machos de los diferentes tratamientos ovularon, en comparación con el 0% de las hembras puestas en contacto con los machos del grupo CONT ($P < 0.001$).

4.2.2 Porcentaje de cabras preñadas a los 50 días post-introducción de los machos

En la Figura 9 (derecha) se aprecia que este porcentaje fue diferente entre los grupos de hembras puestas en contacto con los machos de los diferentes tratamientos ($P < 0.001$). En ella se observó que ninguna cabra del grupo CONT fue preñada.

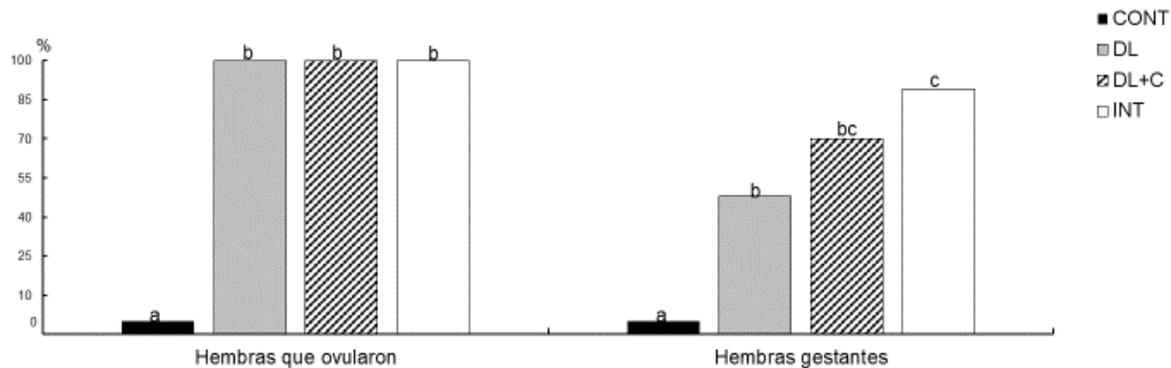


Figura 9. Porcentaje de hembras que ovularon y resultaron gestantes cuando fueron expuestas a los machos foto-estimulados con días largos artificiales en condiciones intensivas (INT □), en condiciones extensivas (DL+C ▨, DL ■) y el grupo control (CONT ■).

5. DISCUSIÓN

En la presente tesis, el peso testicular registrado durante el periodo de estudio (2.5 meses) fue superior en los grupos tratados con días largos artificiales que en el grupo control. Era de esperarse que en los machos sometidos a solo el tratamiento de luz independientemente de su nutrición su peso testicular se incrementara. En efecto, Guzmán (2018) reportó previamente que en estos machos mantenidos extensivamente el tratamiento fotoperiódico estimuló la circunferencia escrotal. De igual modo, se conoce ampliamente que en los machos cabríos del subtrópico mexicano mantenidos en condiciones intensivas el tratamiento fotoperiódico estimula el peso testicular (Delgadillo *et al.*, 2002). Este incremento en el peso de los testículos se explica probablemente porque la exposición a días largos incrementó el consumo voluntario de alimento obtenido en el pastoreo como se ha reportado previamente en diferentes especies de machos silvestres (Bandy *et al.*, 1970; Kay, 1979). A su vez, este posible incremento en el consumo estuvo acompañado de un incremento en el peso corporal, como se confirmó anteriormente y ello incrementó el peso de los testículos como se ha reportado en machos cabríos Alpinos sometidos al tratamiento de días largos artificiales (Delgadillo *et al.*, 2015). Esta relación positiva entre el peso corporal y el testicular se había descrito previamente en machos cabríos por Bongso *et al.* (1982). Sin embargo, la complementación no necesariamente resultó en un mayor peso testicular en comparación con el grupo tratado fotoperiódicamente y no complementado. Lo anterior no concuerda con lo reportado por Martin *et al.* (1994) en machos cabríos

Cashmere, en los cuales se observó que los machos que recibieron una dieta alta en PC (18%) tuvieron un mayor peso corporal y testicular que los machos que recibieron una dieta baja en PC (7%). De igual forma, los resultados de la presente no concuerdan con lo encontrado en carneros adultos de la raza Merino, en los cuales se reportó que la adición de 750 g del grano lupino (*Lupinus angustifolius*) incrementó rápidamente y de manera estable la talla testicular (Martin *et al.*, 1987). Además, en estudios antiguos en carneros del Japón se determinó que la complementación alimenticia durante 2 meses mejoró la calidad seminal y la producción espermática (Mori *et al.*, 1987).

La estimulación de actividad endocrina debido al tratamiento fotoperiódico es un mecanismo previamente reportado en estos machos cabríos (Delgadillo *et al.*; 2002). En efecto, este tratamiento luminoso estimula la secreción de testosterona en machos caprinos adaptados a ambientes subtropicales durante la época de reposo sexual, periodo en el cual de manera natural la secreción de testosterona es mínima (Delgadillo *et al.*, 2002). Sin embargo, el resultado más sobresaliente del presente trabajo es que la complementación alimenticia a esos machos fotoestimulados y alimentados con solo lo disponible en el pastoreo estimuló aún más la secreción de testosterona. De hecho, los niveles de esta hormona en los machos complementados fueron muy similares a la de los machos fotoestimulados mantenidos en adecuada nutrición durante el estudio. Estos resultados no concuerdan con la ausencia del “efecto Lupino” sobre los niveles plasmáticos de la LH y por ello de la testosterona en carneros (Ritar *et al.*, 1984; Martin *et al.*, 1987). Estos investigadores llegaron a la conclusión de que si existiera un efecto de grano

lupino sobre la LH este podría ser de corto plazo. En los machos cabríos maduros de la raza cashmere se determinó que se requiere al menos 4 meses de proporcionar una dieta de alta calidad para que la producción de testosterona sea incrementada (Walkden-Brown *et al.*, 1994c). En cambio, en la presente tesis se pudo observar que con tan solo 2 meses de complementación alimenticia a machos tratados previamente con días largos artificiales se logró estimular de manera significativa sus niveles de testosterona.

Los resultados de la presente tesis muestran por vez primera que la complementación alimenticia a machos locales de la Comarca Lagunera mantenidos extensivamente y foto-estimulados tiene repercusiones importantes en su comportamiento sexual. En efecto, el número de aproximaciones y los olfateos ano-genitales fueron expresados en relación directa a su alimentación: no suplementados menor número de conducta y bien alimentados o suplementados resultó en mayor número de conductas registradas. Estos resultados van en el mismo sentido a lo encontrado por otros autores en animales de diferentes localidades. Por ejemplo, Zarazaga *et al.* (2009) reportaron en los caprinos de la raza Payoya que la latencia a la eyaculación fue menor en los machos que recibieron 1.6 veces sus requerimientos nutricionales de mantenimiento que los que recibieron solo 1.1 veces. Del mismo modo, el porcentaje de machos que eyacularon fue mayor en el grupo que recibió 1.6 veces sus requerimientos que en el que recibió solo 1.1 veces sus requerimientos nutricionales. Se ha sugerido en los carneros Merino que una restricción alimenticia severa por largo plazo que pudiera provocar una pérdida de peso corporal mayor al 30% puede reducir la

expresión normal de la conducta sexual (Parker y Thwaites, 1972). De igual forma, se reportó en carneros subalimentados que una disminución en la libido puede ser causada por una debilidad general (Tilbrook y Cameron, 1990).

En cuanto a la respuesta de las cabras al efecto macho por los cuatro grupos de machos fue claro que el 100% de las cabras ovularon cuando fueron expuestas a los grupos de machos fotoestimulados en comparación con ninguna hembra de las expuestas a los machos del grupo CONT. Este resultado confirma lo previamente observado en estas mismas cabras bajo condiciones de estabulación al momento del efecto macho (Flores *et al.*, 2000; Delgadillo *et al.*, 2002; Guzmán, 2018). Sin embargo, lo que resalta de nuestros resultados es que el porcentaje de cabras gestantes a los 50 días post efecto macho estuvo relacionado directamente con el régimen nutricional impuesto. Es decir, el porcentaje de gestaciones se incrementó conforme la nutrición de los machos fuera de mayor cantidad y mejor calidad (Figura 9). Lo anterior pudo deberse a la mayor conducta sexual mostrada por los machos complementados que pudieran gestar a un mayor número de hembras o posiblemente a una mejoría en la cantidad y calidad del semen producido por esos machos mantenidos en intensivo o complementados nutricionalmente. Esto ha sido demostrado en muchos estudios (Oldham *et al* 1978; Wikden-Brown *et al* 1994d) donde el peso testicular y por lo tanto, la producción espermática, son dependientes del consumo alimenticio. Además, estos estudios confirman que el peso testicular es un indicador de la producción espermática en la mayoría de las especies, incluyendo caprinos. En efecto, un incremento en el peso testicular y la producción espermática está inducido por una nutrición adecuada. Sin embargo, en la presente tesis la producción y características del semen no fue evaluado.

6. CONCLUSIÓN

Los resultados obtenidos en la presente tesis demuestran claramente que en los machos cabríos mantenidos en pastoreo extensivo, el proporcionar una complementación alimenticia iniciada a término del tratamiento fotoperiódico estimuló su actividad endocrina y su comportamiento sexual cuando son puestos en contacto con las hembras anovulatorias. De igual manera, la complementación alimenticia a machos foto-estimulados mantenidos extensivamente incrementó el porcentaje de hembras gestantes a los 50 días post-introducción de los machos.

7. BIBLIOGRAFÍA

Bandy, P. J., McT Cowan I., Wood A.J., 1970. Comparative growth in four races of black-tailed deer (*Odocoileus hemionus*). Part I. Growth in body weight. Can. J. Zool. 48, 1401-1410.

Barenton, B., Ravault, J. P, Claire Chabanet, C., Daveau, A., Pelletier. J, Ortavant, R., 1998. Photoperiodic control of growth hormone secretion and body weight in rams. Domest. Anim. Endocrinol. 5, 247-255.

Barrell, G. K., Thrun, L. A., Brown, M. E., Viguie, C., Karsch, F. J., 2000. Importance of photoperiodic signal quality to entrainment of the circannual reproductive rhythm of the ewe. Biol. Reprod. 63, 769–774.

Bongso, T.A., Jainudeen, M.R., Siti-Zahrah, A., 1982. Relationship of scrotal circumference to age, body weight and onset of spermatogenesis in goats. Theriogenology, 18, 513-524.

CONAGUA. Disponible en: <http://sgp.cna.gob.mx/Publico/Mapoteca/Mapas.htm>.
Fecha de acceso: 28/07/2019.

Canépa, S., Lainé, A.L., Bluteau, A., Fagu, C., Flon, C., Monniaux, D., 2008. Validation d'une méthode immunoenzymatique pour le dosage de la progesterone dans le plasma des ovins et des bovins. Cah. Technol. INRA., 64, 19–30.

Clarke, I.J., Qi, Y., Sari, I.P., Smith, J.T., 2009. Evidence that RF-amide related peptides are inhibitors of reproduction in mammals. Front. Neuroendocrinol., 30, 371–378.

Delgadillo, J.A., Chemineau, P., 1992. Abolition of the seasonal release of luteinizing hormone and testosterone in Alpine male goats (*Capra hircus*) by short photoperiodic cycles. *J. Reprod. Fertil.* 94, 45-55.

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., Carrillo, E., Duarte, G., Chemineau, P., Malpoux, B., 2001. Induction of sexual activity of male creole goats in subtropical northern México using long days and melatonin. *J. Anim. Sci.* 79, 2245-2252.

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 artificial long days. *J. Anim. Sci.* 80, 2780-2786.

Delgadillo J.A, Fitz-Rodríguez G, Duarte G, Veliz 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. Fertil. Dev.*, 471-478.

Delgadillo, J.A., Flores, J.A., Véliz, F.G., Duarte, G., Vielma, J., Hernández, H., Fernández, I.G., 2006. Importance of the signals provided by the buck for the success of the male effect in goats. *Reprod. Nutr. Dev.* 46, 391-400.

Delgadillo, J.A., Flores, J.A., Hernández, H., Poindron, P., Keller, M., Fitz-Rodríguez, G., Duarte, G., Vielma, J., Fernández, I.G., Chemineau, P., 2015. Sexually active males prevent the display of seasonal anestrus in female goats. *Horm. Behav.* 69, 8–15.

- Diskin, M.G., Mackey D.R., Roche, J.F., Sreenan, J.M., 2003. Effects of nutrition and metabolic status on circulating hormones and ovarian follicle development in cattle. *Anim. Reprod. Sci.* 78,345–370
- Duarte, G., Flores, J.A., Malpaux, B., Delgadillo, J.A., 2008. Reproductive seasonality in female goats adapted to a subtropical environment persists independently of food availability. *Domest. Anim. Endocrinol.* 35, 362–370.
- Duarte, G., Nava-Hernández, M.P., Malpaux, B., Delgadillo, J.A., 2010. Ovulatory activity of female goats adapted to the subtropics is responsive to photoperiod. *Anim. Reprod. Sci.* 120, 65-70.
- Dunn, T. G., Moss, G. E., 1992. Effects of nutrient deficiencies and excesses on reproductive efficiency of livestock. *J. Anim. Sci.* 70, 1580-1593.
- Fabre-Nys, C., 2000. Le comportement sexuel des caprins: contrôle hormonal et facteurs sociaux. *INRA Prod. Anim.* 13, 11-13.
- Flores, J.A., Véliz, F.G., Pérez-Villanueva, J.A., Martínez De La Escalera, G., Chemineau, P., Poindron, P., Malpaux, 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.
- Forcada, F., Abecia J.A., 2006. The effect of nutrition on the seasonality of reproduction in ewes. *Reprod. Nutr. Dev.* 46, 355–365.
- Forcada, F., Abecia J.A., Sierra, I., 1992. Seasonal changes in oestrus activity and ovulation rate in Rasa Aragonesa ewes maintained at two different body condition levels. *Small Rumin. Res.* 8, 313-324.

Funston, R.N., Moss, G.E., Roberts, A.J., 1995. Insulin-like growth factor-I (IGF-I) and IGF-binding proteins in bovine sera and pituitaries at different stages of the estrous cycle. *Endocrinology*. 136, 62-68.

Gómez-Brunet, A., Santiago-Moreno, J., Toledano-Díaz, A., López-Sebastián, A., 2012. Reproductive seasonality and its control in Spanish sheep and goats. *Trop. Subtrop. Agroeco.*, 15, 47-70.

Guzmán, E.R., 2018. En los machos cabríos fotoestimulados en condiciones extensivas no disminuye su eficiencia para estimular la actividad sexual de las cabras anovulatorias. Tesis de maestría, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, 53 pp.

Jones, J.I., Clemmons, D.R., 1995. Insulin-like growth factors and their binding proteins: biological actions. *Endo. Revi.* 16, 3-34.

Juárez-Reyes, A.S., Cerrillo-Soto, M.A., Meza-Herrera, C.A., Nevárez-Carrasco, G. 2004. Diet composition, intake, plasma metabolites, reproductive and metabolic hormones during pregnancy in goats under semi-arid grazing conditions. *J. Agr. Sci.* 142, 697–704.

Karsch, F.J., Cummins, J.T., G.B. Thomas, Clarke, I.J., 1987. Steroid feedback inhibition of pulsatile secretion of gonadotropin-releasing hormone in the ewe. *Biol. Reprod.* 36, 1207-1218.

Karsch, F.J., Robinson, E.J., Woodfill, C.J.I., Brown, M.B., 1989. Circannual cycles of luteinizing hormone and prolactin secretion in ewes during prolonged exposure to a fixed photoperiod: evidence for an endogenous reproductive rhythm. *Biol. Reprod.* 41, 1034-1046.

Malpaux, B., Karsch, F.J., 1990. A role for short days in sustaining seasonal reproductive activity in the ewe. *J. Reprod. Fertil.* 90, 555-562.

Malpaux, B., Chemineau, P., Moenter, S.M., Wayne, N.L., Woodfill, C.J.I., Karsch, F., 1987. Reproductive refractoriness of the ewe to inductive photoperiod is not caused by inappropriate secretion of melatonin. *Biol. Reprod.* 36, 1333-1341.

Malpaux, B., Chemineau, P., Moenter, S.M., Wayne, N.L., Woodfill, C.J.L., Karsch, F., 1988. Reproductive and refractoriness of the ewe to inhibitory photoperiod is not caused by alteration of the circadian secretion of melatonin. *Neuroendocrinology.* 48, 264-270.

Malpaux, B., Daveau, A., Maurice-Mandon, F., Duarte, G., Chemineau, P., 1998. Evidence that melatonin acts in the premammillary hypothalamic area to control reproduction in the ewe: presence of binding sites and stimulation of luteinizing hormone secretion by in situ microimplant delivery. *Endocrinology* 139, 1508-1516.

Martin, G.B., Sutherland, S.R.D., Lindsay, D.R., 1987. Effects of Nutritional Supplements on Testicular Size and the Secretion of LH and Testosterone in Merino and Booroola Rams. *Anim. Reprod. Sci.*, 12, 267-281.

Martin, G. B., Tjondronegoro, S., Blackberry, M.A., 1994. Effects of nutrition on testicular size and the concentrations of gonadotrophins, testosterone and inhibin in plasma of mature male sheep. *J. Reprod. Fertil.* 101, 121-128.

Martin, G.B., Blache, D., Mille, D.W., Vercoe. P.E., 2010. Interactions between nutrition and reproduction in the management of the mature male ruminant. *Animal* 4, 1214–1226.

McGuire, M.A., Vicini, J.L., Bauman, D.E., Veenhuizen, J.J., 1992. Insulin-like growth factors and binding proteins in ruminants and their nutritional regulation. *J. Anim. Sci.* 70, 2901-2910.

Mellado, M., Foote, R.H., Rodriguez, A., Zarate, P., 1991. Botanical composition and nutrient content of diets selected by goats grazing on desert grassland in northern Mexico. *Small Rumin. Res.* 6, 141-150.

Mori, Y., Tanaka, M., Maeda, K., Hoshino, K., Kano, Y., 1987. Photoperiodic modification of negative and positive feedback effects of oestradiol on LH secretion in ovariectomized goats. *J. Reprod. Fertil.* 80, 523-529.

Oldham, C.M., Adams, N.R., Gherardi, P.B., Lindsay, D.R., Mackintosh J.B., 1978. The influence of level of feed intake on sperm producing capacity of testicular tissue in the ram. *J. Agric. Res.* 29, 173-179.

Parker, G.V., Thwaites, C.J., 1972. The effects of undernutrition on libido and semen quality in adult merino rams. *J. Agric. Res.* 23, 109-115.

Randel, R. D., 1990. Nutrition and postpartum rebreeding in cattle. *J. Anim. Sci.* 68, 853-862.

Ponce, J.L., Velázquez, H., Duarte, G., Bedos, M., Hernández, H., Keller, M., Chemineau, P., Delgadillo, J.A., 2014. Reducing exposure to long days from 75 to 30 days of extra-light treatment does not decrease the capacity of male goats to stimulate ovulatory activity in seasonally anovulatory females. *Domest. Anim. Endocrinol.* 48, 119–125.

Rhind, S. M., Archer, Z. A., Adam, C. L., 2002. Seasonality of food intake in ruminants: recent developments in understanding. *Nut. Res. Rev.* 15, 43–65.

Ritar, A. J., Maxwell, W. M. C., Salamon, S., 1984. Ovulation and LH secretion in the goat after intravaginal progestagen sponge – PMSG treatment. *J. Reprod. Fertil.* 72, 559-563.

Rivera, G.M., Alanis, G.A., Chaves, M.A., Ferrero, S.B., Morello, H.H., 2003. Seasonality of estrus and ovulation in Creole goats of Argentina. *Small Rumin. Res.* 48, 109–117.

Robinson, J.E., Karsch, F.J., 1984. Refractoriness to inductive day lengths terminates the breeding season of the suffolk ewe. *Biol. Reprod.* 31, 656-663.

Roca, J., Martinez, E., Vazquez, J. M., Ruiz, S. Coy, P., 1991. Influence of season on testicle size and libido in male goats from the Mediterranean area. *Anim. Prod.* 52, 317 – 321.

Scaramuzzi, R.J., Martin, G.B., 2008. The importance of interactions among nutrition, seasonality and socio-sexual factors in the development of hormone-free methods for controlling fertility. *Reprod. Dom. Anim.* 43, 129–136.

Scaramuzzi, R.J., Campbell, B.K., Dowing, J.A, Kendall, M., Muñoz-Gutiérrez, M., Somchit, A., 2006. A review of the effects of supplementary nutrition in the ewe on the concentrations of reproductive and metabolic hormones and the mechanisms that regulate folliculogenesis and ovulation rate. *Reprod. Nutr. Dev.* 46, 339–354.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, 2001. NORMA oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999, Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio. *Diario Oficial de Federación*, 22 de Agosto 2001.

Shelton, M., 1960. Influence of the presence of a male goat on the initiation of estrous cycling and ovulation of Angora does. *J. Anim. Sci.* 19, 368-375.

SIAP. 2017. Disponible en:

http://nube.siap.gob.mx/publicaciones_siap/pag/2017/Atlas-Agroalimentario-2017.

Fecha de acceso 15 de Julio de 2019.

Simões, J., Potes, J., Azevedo, J., Almeida, J.C., Fontes, P., Baril, G., Mascarenhas, R., 2004. Morphometry of ovarian structures by transrectal ultrasonography in Serrana goats. *Anim. Reprod. Sci.* 85, 263–273.

Simpson, A.M., Suttie, J.M., Kay, R.N.B., 1984. The influence of artificial photoperiod on the growth, appetite and reproductive status of male red deer and sheep. *Anim. Reprod. Sci.*, 6, 291—299.

Sliwowska, J.H., Billings, H.J., Goodman, R.L., Coolen, L.M., Lehman, L.M., 2004. The premammillary hypothalamic area of the ewe: anatomical characterization of a melatonin target area mediating seasonal reproduction. *Biol. Reprod.* 70, 1768–1775.

SYSTAT 13, 2009. Cranes Software International Ltd, San José, CA, USA.

Tilbrook, A.J., Cameron, A.W.N., 1990. The contribution of the sexual behaviour of rams to successful mating of ewes under field conditions *in* *Reproductive Physiology of Merino Sheep: Concepts and Consequences*. School of Agriculture (Animal Science), The University of Western Australia, 1990, 143-160. (Oldham, C.M., Martin, G.B., Purvis, I.W.).

Walden-Brown, S.W., Restall, B.J., Norton, B.W., Scaramuzzi, B.W., Martin, G.B., 1994a. Effect of nutrition of seasonal patterns of LH, FSH and testosterone concentration, testicular mass, sebaceous gland volume and odor in Australian cashmere goats. *J. Reprod. Fertil.* 102, 351-360.

Walden-Brown, S.W., Restall, B.J., Norton, B.W., Scaramuzzi, B.W., 1994b. The 'female effect' in Australian cashmere goats: effect of season and quality of diet on the LH and testosterone response of bucks to oestrous does. *J. Reprod. Fertil.* 100, 521-351.

Walden-Brown, S.W., Restall, B.J., Taylor, W.A., 1994c. Testicular and epididymal sperm content in grazing cashmere bucks: seasonal variation and prediction from measurements in vivo. *Reprod. Fertil. Dev.* 6, 727-736.

Walden-Brown, S.W., Martin, G.B., Hötzel, M.J., Restall, B.J., Adams, N.R., 1994d. Non-photoperiodic inputs into seasonal breeding in male ruminants. *Perspectives in Comparative Endocrinology*, 574-585.

Walden-Brown, S.W., Restall, B.J., Scaramuzzi, R.J., Martin, G.B., Blackberry, M.A., 1997. Seasonality in male Australian cashmere goats: Long term effects of castration and testosterone or oestradiol treatment on changes in LH, FSH and prolactin concentrations, and body growth. *Small Rumin. Res.* 26, 239-252.

Woodfill, C.J.I., Wayne, N.I., Moenter, S.M., Karsch, F.J., 1994. Photoperiodic synchronization of a circannual reproductive rhythm in sheep: identification of season-specific time cues. *Biol. Reprod.* 50, 965-976.

Zarazaga, L.A., Guzman, J.L., Domínguez, C., Pérez, M.C., Prieto, R., 2005. Effect of plane of nutrition on seasonality of reproduction in Spanish Payoya goats. *Anim. Reprod. Sci.* 87, 253–267.

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