



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN Y DE LA SALUD ANIMAL

EXPRESIÓN DE LA ESTACIONALIDAD REPRODUCTIVA EN  
MACHOS CAPRINOS CRIOLLOS MANTENIDOS EN DIFERENTES  
CONDICIONES NUTRICIONALES

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE  
MAESTRA EN CIENCIAS

PRESENTA

CYNTHIA ARICIAGA GONZÁLEZ

TUTOR:

DR. HÉCTOR RAYMUNDO VERA ÁVILA

FACULTAD DE ESTUDIOS PROFESIONALES CUAUTITLÁN

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTORAL

DR. EVERARDO GONZÁLEZ PADILLA

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

DR. HÉCTOR JIMÉNEZ SEVERIANO

FACULTAD DE ESTUDIOS PROFESIONALES CUAUTITLÁN

Ajuchitlán, Colón, Qro.

Junio 2013



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## CONTENIDO

	Página
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b>	III
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	III
<b>RESUMEN</b>	VI
<b>ABSTRACT</b>	VIII
<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>1.1 Objetivo</b>	6
<b>1.2 Hipótesis</b>	6
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA</b>	7
<b>2.1 Fisiología reproductiva del macho caprino</b>	7
2.1.1 Testículos	7
2.1.2 Control neuroendocrino de la función reproductiva del macho caprino	8
2.1.2.1 Espermatogénesis	9
2.1.3 Comportamiento sexual	13
<b>2.2 Estacionalidad reproductiva en el macho caprino</b>	14
2.2.1 Efecto del fotoperiodo sobre la función reproductiva	15
2.2.2 Tamaño testicular y características seminales	18
2.2.3 Comportamiento sexual	19
<b>2.3 Efecto de la nutrición sobre la función reproductiva en machos caprinos</b>	19
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	21
<b>3.1 Localización</b>	21
<b>3.2 Animales (alimentación y manejo)</b>	21

3.3 Variables de respuesta	24
3.4 Análisis estadístico	25
<b>IV. RESULTADOS</b>	<b>27</b>
4.1 Índice de masa corporal y peso vivo	27
4.2 Circunferencia escrotal	28
4.3 Tiempo a presentación de olor a macho activo	31
4.4 Concentración sérica de testosterona	32
<b>V. DISCUSIÓN</b>	<b>38</b>
<b>VI. CONCLUSIONES</b>	<b>44</b>
<b>VII. LITERATURA CITADA</b>	<b>45</b>

<b>INDICE DE CUADROS</b>		Página
<b>Cuadro 1.</b>	Dieta base, utilizada en la alimentación de los animales.	22
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>		
<b>Figura 1.</b>	Esquema de alimentación para grupos y subgrupos experimentales.	23
<b>Figura 2.</b>	Peso vivo (PV; media $\pm$ eem) en machos caprinos mantenidos entre el 13 de marzo y 5 de octubre en un plano nutricional bajo (PNB) o medio (PNM); promedio general del periodo.	28
<b>Figura 3.</b>	Peso vivo (PV; media $\pm$ eem) de machos caprinos a través del periodo de estudio (13 de marzo a 5 de octubre), independiente de los efectos de plano nutricional y suplementación temporal de energía.	29
<b>Figura 4.</b>	Peso vivo (PV; media $\pm$ eem) a través del periodo experimental en machos caprinos mantenidos en un plano nutricional bajo (PNB) o medio (PNM).	30
<b>Figura 5.</b>	Circunferencia escrotal (CE; media $\pm$ eem) en machos caprinos sometidos entre el 13 de marzo y 5 de octubre a suplementación temporal de energía (CST) o sin suplementación (SST); promedio general del periodo.	31
<b>Figura 6.</b>	Circunferencia escrotal (CE; media $\pm$ eem) de machos caprinos experimentales a través del periodo de estudio (13 de marzo a 5 de octubre), independiente de los efectos de plano nutricional y suplementación temporal de energía.	32
<b>Figura 7.</b>	Circunferencia escrotal (CE; media $\pm$ eem) a través del periodo experimental en machos caprinos sometidos a suplementación temporal de energía (CST) o sin	33

suplementación (SST).

- Figura 8.** Días entre el inicio del experimento y la presentación de olor intenso característico de macho activo (calificación 3; escala 1 a 3; media  $\pm$  eem), en machos caprinos con: A) plano nutricional bajo (PNB) y medio (PNM), o B) con suplementación temporal de energía (CST) y sin suplementación (SST). 34
- Figura 9.** Concentraciones séricas de testosterona (T; media  $\pm$  eem) en machos caprinos mantenidos entre el 13 de marzo y 5 de octubre en un plano nutricional bajo (PNB) o medio (PNM); promedio general del periodo. 35
- Figura 10.** Concentraciones séricas de testosterona (T; media  $\pm$  eem) en machos caprinos a través del periodo de estudio (13 de marzo a 5 de octubre), independiente de los efectos de plano nutricional y suplementación temporal de energía. 36
- Figura 11.** Concentraciones séricas de testosterona (T; media  $\pm$  eem) a través del periodo experimental en machos caprinos mantenidos en un plano nutricional bajo (PNB) o medio (PNM). 36

# EXPRESIÓN DE LA ESTACIONALIDAD REPRODUCTIVA EN MACHOS CAPRINOS CRIOLLOS MANTENIDOS EN DIFERENTES CONDICIONES NUTRICIONALES.

## RESUMEN

El objetivo fue determinar el efecto del plano nutricional (señales metabólicas de mediano plazo) y la suplementación temporal de energía (señales metabólicas de corto plazo) sobre la expresión de la estacionalidad reproductiva en machos caprinos. Se utilizaron 14 machos caprinos criollos, encastados de Nubia, de 15 a 18 meses de edad, los cuales 2 meses antes del inicio del experimento fueron sometidos a un periodo de estabilización para conformar 2 grupos de plano nutricional (PN) de acuerdo a la ración asignada de una dieta base: PN medio (PNM; ración=3.0 % del PV en MS de dieta base más 0.2 % del PV como sorgo molido) y PN bajo (PNB; ración=2.0 % del PV en MS de dieta base). A partir del inicio del experimento (13 marzo) cada grupo de PN se dividió en dos subgrupos de suplementación temporal de energía: con (CST; +19 % de energía metabolizable con relación al consumo base, a través de sorgo molido, por 7 días cada 21 días) y sin suplementación temporal de energía (SST; mantenimiento de dieta/ración). Se registró semanalmente hasta el 5 de octubre el peso vivo (PV), la circunferencia escrotal (CE) y el olor de los machos (escala de 0 a 3; 3=olor intenso característico de macho activo). A partir del registro de olor se estimaron los días a presentación de olor con calificación 3 en al menos 2 evaluaciones consecutivas (DO3). Los machos fueron muestreados 2 veces por semana para obtener sangre y determinar por RIA las concentraciones séricas de testosterona (T). Los promedios quincenales de T fueron utilizados como variable de respuesta. El análisis estadístico se hizo por ANDEVA para un diseño de observaciones repetidas (PV, CE y T) o completamente al azar (DO3), probando los efectos de PN, ST, fecha de medición e interacciones. Para PV se encontraron efectos de PN, fecha de medición y su interacción ( $P < .05$ ). Los machos del grupo PNM pesaron en promedio 6.8 kg más que los del grupo PNB, considerando todo el periodo experimental. Independientemente del PN, el PV presentó un incremento inicial llegando a un máximo el 20 de julio (43.4 kg; +2.7 kg con respecto al PV inicial), para posteriormente disminuir hasta el 6 de septiembre (42.0 kg) y luego estabilizarse. El patrón de cambio de PV fue diferente entre grupos de PN. Los machos del grupo PNB presentaron un PV relativamente estable a lo largo de todo el periodo experimental y menor que los del grupo PNM. Los machos del grupo PNM mantuvieron estable su PV hasta el 10 de abril para luego incrementarlo gradualmente hasta el 27 de julio (+5.6 kg) y después disminuirlo gradualmente hasta el fin del periodo experimental. Para CE se encontraron efectos de ST, fecha de medición y su interacción ( $P < .05$ ). Los machos del subgrupo CST presentaron una CE promedio 2.6 cm mayor que los del subgrupo SST, considerando todo el periodo experimental. Independientemente de la ST, la CE presentó un aumento inicial llegando a un máximo el 15 de junio (+2.2 cm) y posteriormente una disminución gradual para terminar con 0.4 cm más que al inicio del periodo experimental. El patrón de cambio de CE fue diferente entre subgrupos de ST. Los machos de ambos subgrupos de ST presentaron incremento gradual de la CE hasta el 15 de junio pero el incremento fue mayor en el subgrupo CST vs. SST (+2.7 cm vs. +1.6 cm). Una vez alcanzado el tamaño máximo la CE se mantuvo relativamente estable hasta casi el final del periodo experimental en el subgrupo CST, mientras que en el SST el tamaño máximo solo se mantuvo por 2 semanas y después se presentó una disminución gradual de CE hasta el fin del periodo experimental. El

total de animales del grupo PNM presentó olor 3 durante el periodo experimental mientras que solo 3/6 lo presentaron en el grupo PNB. Para DO3 se encontró solo efecto de PN ( $P < .05$ ). Los DO3 fueron 46 días menos en el grupo PNM con respecto al grupo PNB. Las concentraciones séricas de T fueron influenciadas por el PN, fecha de medición y su interacción ( $P < .05$ ). Los machos del grupo de PNM presentaron mayor concentración sérica promedio de T comparados con los del grupo de PNB (+110.1 ng/dl), considerando todo el periodo experimental. Independientemente del PN, la concentración sérica de T presentó un incremento ligero entre el 15 de marzo y el 10 de mayo, después un incremento mayor hasta el 2 de agosto, fecha en la que se alcanzó el valor máximo de 484.7 ng/dl y luego disminuyó gradualmente hasta el fin del periodo experimental. El patrón de cambio de concentraciones séricas de T fue diferente entre grupos de PN. Las concentraciones séricas de T fueron similares entre grupos de PN hasta el 24 de mayo y a partir de esta fecha se incrementaron de manera aguda en el grupo de PNM para llegar a un máximo de 642.8 ng/dl el 2 de agosto y después presentaron una fase de disminución. En contraste en el grupo de PNB el incremento de T se presentó más tardíamente (5 de julio) y fue de menor magnitud (valor máximo 278.2 ng/dl) y duración. Se concluye que en machos caprinos criollos la condición nutricional influye sobre la expresión de la estacionalidad reproductiva, las señales de corto plazo (suplementación temporal de energía) influyen sobre el crecimiento testicular, mientras que las de mediano plazo (plano nutricional) influyen sobre la actividad endocrina del testículo.

**Palabras Clave:** Estacionalidad reproductiva, Condición nutricional, Machos caprinos

## EXPRESSION OF REPRODUCTIVE SEASONALITY IN CREOLE BUCKS UNDER DIFFERENT NUTRITIONAL CONDITIONS.

### ABSTRACT

The aim of this study was to determine the effect of plane of nutrition (medium term metabolic signals) and temporary energy supplementation (short term metabolic signals) on the expression of reproductive seasonality in bucks. Fourteen Criollo x Nubian bucks, 15-18 mo old, were stabilized throughout a 2 mo period in two different planes of nutrition (PN), by offering dissimilar amounts of a basal diet: Medium PN (MPN, DMI=3.0% BW of basal diet + 0.2% BW of ground sorghum grain; n=8), and Low PN (LPN, DMI=2.0% BW of basal diet; n=6). On March 13<sup>th</sup> two sub-groups of temporary energy supplementation (TS) were established from each PN group: diet/ration maintenance (without TS; TS-), or plus 19% of ME through ground sorghum grain for 7 d every 21 d (with TS; TS+). Body weight (BW), scrotal circumference (SC) and odor (OD; scale 0-3, 3=strong active male odor) were registered weekly until October 5<sup>th</sup>. The interval from initiation of the experiment to odor 3 for two consecutive measurements was estimated (IOD3). Blood samples were collected twice a week, RIA analyzed for testosterone (T), and 15-d T means obtained as response variable (MT). Data were analyzed by ANDEVA for repeated measures (BW, SC, MT) or completely randomized design (IOD3), testing the effects of PN, TS, time of measuring/sampling (Time) and interactions. BW was influenced by PN, Time and PN x Time ( $P < .05$ ). Bucks in MPN group were on average 6.8 kg heavier as compared to those in LPN group, considering the entire experimental period. As for Time effect, BW increased to a maximum of 43.4 kg on July 20<sup>th</sup> (+2.7 kg vs. initial BW), then decreased to 42.0 kg on September 6<sup>th</sup> and remained stable thereafter. BW change pattern differed between PN groups. Bucks in the LPN group maintained a lighter and relatively stable BW throughout the experiment as compared to MPN bucks which presented an increase in BW from April 10<sup>th</sup> to July 27<sup>th</sup> (+5.6 kg) and then a gradual decrease until the end of the experiment. TS, Time and TS x Time influenced SC ( $P < .05$ ). Average SC was 2.6 cm larger in TS+ bucks vs. TS- bucks, considering the entire experimental period. As for Time effect, SC gradually increased to a maximum on June 15<sup>th</sup> (+2.2 cm) and then gradually decreased to a final length which was 0.4 cm greater than the length at initiation of the experiment. SC change pattern differed between TS groups. Bucks in both TS groups gradually increased SC length until June 15<sup>th</sup> but the increase was greater in the TS+ subgroup (+2.7 vs. +1.6 cm in TS+ vs. TS- bucks). Maximum SC length was relatively maintained until the end of the experiment in TS+ bucks while TS- bucks maintained maximum SC length only for 2 weeks and then decreased SC gradually. All bucks in the MPN group reached level 3 of OD whilst only 3/6 bucks did it in the LPN group. IOD3 was influenced by PN ( $P < .05$ ) with MPN bucks reaching OD3 46 d sooner as compared to bucks in LPN group. MT was influenced by PN, Time and PN x Time ( $P < .05$ ). Bucks in the MPN group had greater MT (+110.1 ng/dl), as compared to LPN bucks, considering the entire experimental period. As for Time effect, MT increased lightly between March 15<sup>th</sup> and May 10<sup>th</sup>, then an acute increase occurred until a maximum was reached in August 2<sup>nd</sup> (484.7 ng/dl), date after which a gradual decrease was observed. MT change pattern differed between PN groups. MT was similar in MPN and LPN groups until May 24<sup>th</sup>, date after which an acute increase was observed in the MPN group, until a maximum was reached in August 2<sup>nd</sup> (642.8 ng/dl), and then a decaying phase occurred. In contrast, the increase in MT was delayed (July 5<sup>th</sup>), and of smaller magnitude (278.2 ng/dl) and shorter duration in the

LPN group. In conclusion, nutritional condition effects the expression of reproductive seasonality in Criollo bucks. Temporary energy supplementation (short term signals) influenced testicular growth whilst plane of nutrition (medium term signals) influenced testicular endocrine function.

**Key Words: Reproductive seasonality, Nutritional condition, Bucks**

## I. INTRODUCCIÓN

La cabra (*Capra hircus*), especie de la familia *Bovidae*, se encuentra entre los primeros animales que fueron domesticados hace más de 10,000 años en la antigua Mesopotamia, para la producción de leche y carne. Durante el siglo pasado, en el periodo de las grandes guerras y los periodos de posguerra, la crianza de caprinos se incrementó para aminorar la escasez de leche. Sin embargo durante los últimos años, su importancia como especie doméstica con un gran potencial productivo y reproductivo ha sido relegada, pero ofrece enormes perspectivas de desarrollo principalmente por un alto potencial productivo de leche y por las características organolépticas de su carne. Además, entre las ventajas de su producción, los caprinos ofrecen alta fertilidad, alta eficiencia alimenticia y alta eficiencia en utilización de forrajes toscos. Asimismo, como sub-productos se puede utilizar su piel, pelo y estiércol, además de ser excelente para el control de malezas (Aréchiga, *et al.*, 2008).

La cabra posee el hábito de comer plantas que otras especies no comen, su agilidad y habilidad para el pastoreo y su reconocida rusticidad determina que la especie caprina, explotada bajo modelos extensivos y semiextensivos de producción, sea más idónea que la ovina y la bovina para el aprovechamiento de áreas áridas y semiáridas caracterizadas por baja pluviosidad, escasas disponibilidades forrajeras, topografía accidentada, para la utilización de rastrojos y subproductos derivados de cultivos agrícolas, logrando productividades aceptables en medios ecológicos difíciles (Daza, 2004).

La producción caprina es importante ya que resulta una buena fuente de proteína animal para consumo humano en los trópicos, su cría es llevada a cabo principalmente por pequeños productores, la cual contribuye a la estabilidad y bienestar familiar generando empleos, ya sea de forma directa en la cría, o indirecta en los procesos de elaboración de diversos productos (Arbiza, 1986), principalmente en zonas marginadas (Herrera, 1999; Romero, 2004). La ganadería extensiva de caprinos en las zonas áridas constituye un recurso de alta importancia social para una parte

considerable de los habitantes de la zona rural, sin cuyo apoyo carecerían prácticamente de otro elemento del cual depender (Aréchiga *et al.*, 2008).

Actualmente, se estima que existe una población mundial de 720 millones de cabras las cuales están distribuidas de la siguiente manera: 55.4% en Asia, 29.8% en África, 7.3% en Sudamérica, 4.4% en Europa, 3% en Norte y Centroamérica, 0.1% en las Islas del Pacífico. Los países con mayores poblaciones son China con el 20.61 % de la población mundial, India con el 17.08 %, Pakistán con el 6.58 %, Sudán con el 5.25 %; México representa el 1.33 % del total mundial. De las cabras se obtiene el 6% de la carne total mundial, el 2% de la leche y el 4% de las pieles. La mayor parte de la producción la consume el propio criador; por lo que las cabras juegan un papel de subsistencia mucho mayor que las especies bovina y ovina. La cría de cabras tiene un papel importante en la alimentación humana, sobre todo en los países subdesarrollados, ya que la ingestión de proteína animal por habitante en estos países rara vez excede los 10 gramos por día, mientras que en los países desarrollados alcanza alrededor de los 55 gramos (Devendra 1991).

En México la mayor parte de la población caprina se localiza en las zonas áridas y semiáridas de los estados del norte del país, está constituida por animales criollos y contribuye con el 1.5% y el 1.2 % de la producción nacional de leche y carne, respectivamente (Salinas *et al.*, 1991). En nuestro medio, los caprinos son explotados en su mayoría de manera extensiva; son alimentados únicamente con la flora natural de los agostaderos y ocasionalmente con esquilmos de cultivos (Cruz-Castrejón *et al.*, 2007).

En la República Mexicana existen cerca de 10 millones de cabras en 494,000 unidades de producción (o rebaños) y aproximadamente 1.5 millones de mexicanos tienen como actividad productiva primaria o complementaria a la caprinocultura. El 64% de las cabras se concentra en los sistemas de producción característicos de las zonas áridas y semiáridas y el 36% restante en la región templada del país (Cantú *et al.*, 1989). Los sistemas de producción regionales son heterogéneos, con rezagos tecnológicos y de sanidad, y con poca ó nula organización e integración.

Durante 2010, la producción de carne en canal de ganado caprino resultó de 1,964 toneladas, siendo la principal aportación la del estado de Sinaloa con 24.4%, seguida de Guanajuato 21.6%, Jalisco 17.4%, Michoacán de Ocampo 13.4%, Oaxaca 11.5%, Aguascalientes 2.7%, Zacatecas 2.1%, Colima 1.7%, Tamaulipas 1.1% y Morelos 0.9%, dentro de las principales. Este grupo de entidades generó en forma agregada el 96.8% de la producción nacional de este tipo de carne (INEGI 2010).

El consumo *per capita* anual de carne caprina es de 0.4 kg., de la cual, el 2.1 % es carne importada. Es importante mencionar que un alto porcentaje de los caprinos son sacrificados y consumidos por el propio criador, por lo que posiblemente la información estadística existente no sea tan veraz (Aréchiga *et al.*, 2008).

Evolutivamente, las cabras desarrollaron un patrón reproductivo estacional para que sus partos coincidieran con la época de buena disponibilidad de alimento y temperatura favorable (Thiéry *et al.*, 2002). La expresión de este patrón estacional se ha modificado debido a la domesticación, ampliándose significativamente la duración de la época de apareamiento. Sin embargo, en la mayoría de las razas de cabras domésticas sigue existiendo un periodo anual de inactividad reproductiva, que determina a su vez una disminución estacional en la producción y representa un factor importante que limita la eficiencia productiva (Shelton, 1991).

En las cabras domésticas la época de actividad reproductiva inicia entre el verano u otoño y finaliza entre el invierno y primavera, dependiendo de la raza y localización geográfica (Shelton, 1978; Amoah *et al.*, 1996). En latitudes tropicales y subtropicales de México, los genotipos criollos presentan gran variación en cuanto al inicio (entre enero y abril) y finalización (entre mayo y agosto) de la época de anestro (Gutiérrez, 1979; Constantino *et al.*, 1982; Valencia *et al.*, 1990; Esquivel *et al.*, 1992).

El ciclo reproductivo estacional de la hembra caprina doméstica es controlado primariamente por la secuencia anual de cambios en duración del fotoperiodo (Thiéry *et al.*, 2002), sin embargo, existen evidencias de que bajo latitudes tropicales y

subtropicales la expresión de este ciclo reproductivo es a su vez influenciada por señales socio sexuales y nutricionales (Martin *et al.*, 1999; Chemineau *et al.*, 2004). En ese sentido, se ha observado que una mejora en la alimentación de las hembras caprinas puede prolongar algunas semanas la duración de la época de actividad reproductiva (Duarte *et al.*, 2008), y a su vez, que esto parece depender más del consumo diario de energía y no de las reservas corporales de ésta (Estrada *et al.*, 2009).

Una alternativa de manejo para reducir el problema de estacionalidad reproductiva en las hembras caprinas es mediante la bioestimulación socio-sexual de la actividad ovulatoria por parte del macho, o “efecto macho” (Delgadillo, 2011). Sin embargo, para inducir este efecto es indispensable que el macho bioestimulador sea un macho sexualmente activo. En relación a lo anterior, la estacionalidad reproductiva que también presentan los machos caprinos, con periodos de baja libido y disminución en calidad y cantidad de semen al final del invierno e inicio de la primavera, puede representar a su vez un problema pues durante este periodo se afecta su capacidad bioestimuladora (Delgadillo *et al.*, 2003).

Al igual que en la hembra, el ciclo reproductivo estacional del macho caprino está controlado de manera primaria por las variaciones anuales en duración del fotoperiodo (Delgadillo *et al.*, 2004) y aparentemente también puede ser modulado de manera secundaria por factores ambientales como la nutrición (Walkden-Brown *et al.*, 1994). Este último efecto, podría ser de gran relevancia en condiciones extensivas de producción como las prevalecientes en la caprinocultura de México, condiciones en las cuales generalmente el estado nutricional de los animales se ve comprometido por periodos prolongados durante el año. En relación a esto mismo, cabe resaltar que en el caso de hembras caprinas criollas, se observó que el componente de la condición nutricional asociado con la duración del periodo de anestro fue el consumo diario de alimento y no las reservas corporales de energía estimadas a partir del índice de masa corporal (Estrada *et al.*, 2009). En el caso de machos caprinos, no se ha analizado de manera independiente el efecto de los componentes de la condición nutricional sobre la expresión de estacionalidad reproductiva.

Considerando lo anterior, en el presente proyecto se planteó analizar el efecto de los componentes de la condición nutricional, sobre el desarrollo y actividad endocrina testicular de machos caprinos criollos a través del periodo de transición entre las épocas de menor a mayor actividad reproductiva.

### **1.1 Objetivo**

Determinar el efecto de los componentes de la condición nutricional, consumo diario de alimento y reservas corporales de energía, sobre la expresión temporal de la estacionalidad reproductiva en machos caprinos criollos.

### **1.2 Hipótesis**

Los componentes de la condición nutricional, consumo diario de alimento y reservas corporales de energía, influyen de forma independiente sobre la expresión temporal de la estacionalidad reproductiva en machos caprinos criollos.

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1. Fisiología reproductiva del macho caprino**

#### **2.1.1 Testículos**

Los testículos son órganos con una estructura compleja que desarrollan funciones importantes como son la síntesis y secreción de testosterona, así como la producción de espermatozoides. El tejido testicular se encuentra organizado en dos compartimentos: el tubular y el intersticio. Los túbulos seminíferos están formados por las células de Sertoli y las células germinales, siendo las primeras las que conforman la pared del túbulo y proveen un soporte estructural para las segundas. El intersticio se encuentra compuesto de células de Leydig, macrófagos, fibroblastos, vasos sanguíneos y linfáticos. En el adulto la función testicular está controlada por la acción de las hormonas gonadotrópicas, LH y FSH, así como por la testosterona producida localmente (Gnessi *et al.*, 1997).

Las funciones principales de los testículos, estereidogénesis y espermatogénesis, requieren de la actividad coordinada de las gonadotropinas hipofisarias; LH actúa sobre las células de Leydig y FSH actúa sobre las células de Sertoli. A su vez, la secreción de gonadotropinas está controlada por la secreción hipotalámica pulsátil de la hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH), hormona que es transportada del hipotálamo a la hipófisis por la circulación portal que comunica a estas estructuras.

#### **2.1.2 Control neuroendocrino de la función reproductiva del macho caprino**

El control de la función reproductiva en el macho caprino es ejercido principalmente por el hipotálamo, el cual se encuentra en la base del cerebro y secreta entre otros a un decapeptido conocido como hormona liberadora de gonadotropinas o GnRH (Schally *et al.*, 1971).

La GnRH se secreta en forma pulsátil a nivel de la eminencia media hipotalámica, de ahí es transportada directamente a la hipófisis anterior por medio del sistema porta hipotálamo-hipofisiario para regular la síntesis y secreción de las hormonas luteinizante (LH) y folículo estimulante (FSH) por parte de las células gonadotropas (Jeong y Kaiser, 2006).

En el macho, el órgano blanco de las gonadotropinas son los testículos, en los cuales, las células intersticiales o de Leydig presentan receptores de membrana para LH, mientras que las células de Sertoli, que conforman la pared del túbulo seminífero tienen receptores para FSH (Schanbacher, 1979).

La LH estimula la síntesis y secreción de andrógenos, principalmente de testosterona, en las células de Leydig. La testosterona es una hormona esteroide que se sintetiza a partir del colesterol, el cual, es convertido a pregnenolona, después a progesterona y posteriormente a testosterona. Una vez secretada a la circulación general, la testosterona puede actuar como tal o ser utilizada como prohormona para ser convertida en dihidrotestosterona por acción de la enzima  $5\alpha$ -reductasa y así regular diversas funciones en sus tejidos blancos (Rommerts y Van der Molen, 1989).

En machos caprinos, la concentración plasmática de testosterona durante la época de menor actividad reproductiva se encuentra en un rango entre 1 y 5 ng/ml elevándose hasta 20 a 25 ng/ml en la de mayor actividad (Lincoln, 1989). Esta elevación en la concentración plasmática de testosterona es producto del aumento en la síntesis y secreción de la hormona por parte de las células de Leydig estimuladas por la LH. Lo anterior, implica a su vez un incremento en la concentración de testosterona intratesticular, la cual es necesaria para que el proceso espermatogénico se realice de forma eficiente (Hall, 1988). Este incremento intratesticular de testosterona se ve

reforzado por el retorno hacia el testículo de la hormona liberada al drenaje venoso, a partir de un mecanismo de transferencia vena-arteria testicular (Amann y Ganjam, 1976; Amann, 1983) y por la presencia en el interior del túbulo seminífero de la proteína ligadora de andrógenos (ABP) secretada por las células de Sertoli.

Los andrógenos testiculares también son responsables del desarrollo y mantenimiento de la función de las glándulas sexuales accesorias, la aparición de las características sexuales secundarias y del comportamiento sexual. Por otra parte, ejercen un efecto anabólico al inducir la síntesis de proteínas dentro del músculo esquelético y participan en la regulación de la secreción de gonadotropinas a través de la retroalimentación negativa que ejercen a nivel del eje hipotálamo-hipofisiario (Hall, 1988).

#### **2.1.2.1 Espermatogénesis**

La espermatogénesis es un fenómeno biológico cuyos componentes son: tres tipos principales de células (espermatogonias, espermatocitos y espermátides), procesos de división celular (mitosis y meiosis) y procesos de diferenciación de espermátides en espermatozoides. Los espermatozoides son el producto final del proceso espermatogénico, el cual se lleva cabo desde que se completa la pubertad y se mantiene activo durante toda la vida reproductiva del individuo.

La regulación del proceso espermatogénico involucra además de los andrógenos testiculares, a las hormonas hipofisiarias LH y FSH. Estas últimas al parecer juegan un papel más importante que la testosterona durante la división inicial de las espermatogonias, y en su posterior diferenciación celular a espermatocitos primarios, no obstante, en etapas más avanzadas del proceso, tanto gonadotropinas como la testosterona son igualmente importantes en el control de la dinámica de las poblaciones espermáticas (Courot y Ortavant, 1981).

Los túbulos seminíferos de los testículos en los mamíferos están revestidos con células germinales y células de Sertoli. La unión de la FSH a los receptores de las células de Sertoli estimula indirectamente la espermatogénesis en las células germinales tras la maduración sexual. Las células de Sertoli dan soporte al desarrollo de los espermatozoides y son responsables de la síntesis de una proteína ligadora de andrógenos (ABP) y de la inhibina. Las células intersticiales, denominadas células de Leydig, que están situadas entre los túbulos seminíferos, producen y secretan hormonas sexuales, particularmente testosterona. La propia testosterona y la inhibina proporcionan una retroalimentación negativa sobre los centros hipotalámicos que controlan la producción de GnRH y por lo tanto, disminuyen la liberación de las gonadotropinas FSH y LH por la adenohipófisis (Jeong y Kaiser, 2006).

#### Etapas de la espermatogénesis

Los túbulos seminíferos contienen gran número de células pequeñas y medianas, denominadas espermatogonias, situadas en dos o tres capas a lo largo del borde externo del epitelio tubular. Estas células proliferan continuamente y se diferencian pasando por etapas definidas del desarrollo para producir espermatozoides.

Las células progenitoras llamadas espermatogonias As o Ao se encuentran en la base de los túbulos seminíferos entre células de Sertoli. Estas espermatogonias se dividen activamente por mitosis para mantener una población constante y en una de las rondas de división dan origen a las espermatogonias A1 que quedan comprometidas para el proceso de espermatogénesis. Las espermatogonias A1 sufren 3 divisiones mitóticas para dar origen a espermatoцитos primarios, los cuales se dividen por meiosis para producir espermátides haploides que a su vez se transforman en espermatozoides (Dadoune y Demoulin, 1993).

La espermatogénesis consta de tres etapas:

Espermatocitogenesis.- División mitótica de las espermatogonias y diferenciación a espermatocitos primarios.

Meiosis.-División de espermatocitos primarios para dar origen a espermatocitos secundarios (1era división meiotica) y división de espermatocitos secundarios para dar origen a espermátides (2nda división meiotica).

Espermiogénesis.- Cambios morfológicos de las espermátides para transformarse en espermatozoides.

Cada una de estas etapas abarca aproximadamente un tercio de la duración total de la espermatogénesis. Los espermatozoides completamente formados son liberados de las células de Sertoli hacia la luz del túbulo seminífero mediante el proceso llamado espermiación. Los espermatozoides liberados a la luz del túbulo son inmaduros y necesitan del tránsito por el epidídimo para adquirir la madurez funcional (Dadoune y Demoulin, 1993).

En la primera etapa de la espermatogénesis las divisiones mitóticas de espermatogonias cumplen un propósito de multiplicación y después de la última división se da un proceso de diferenciación con aumento de volumen para formar los espermatocitos primarios. Durante la 1era división meiotica, los cromosomas se replican y se recombinan en el espermatocito primario, pero al dividirse éste, solo queda uno de cada par cromosómico en los espermatocitos secundarios resultantes, aunque duplicado y ya recombinado con fragmentos paternos y maternos. En base a esto, el espermatocito secundario queda en una condición haploide (1 N), pero con su grupo de cromosomas duplicado (2 DNA). Durante la 2nda división meiotica, no hay replicación de cromosomas en los espermatocitos secundarios, de tal manera que al dividirse estos, las espermátides resultantes quedan en una condición haploide (1N) y con la mitad de DNA (1 DNA). En un principio las espermátides todavía conservan las características usuales de las células epitelioides, pero pronto empiezan a alargarse para transformarse en espermatozoides que tienen cabeza, cuello y cola. En la cabeza queda condensado el material nuclear, el cual es introducido al óvulo durante la fertilización para formar el cigoto o huevo.

En la mayoría de los mamíferos la cabeza del espermatozoide presenta forma de espátula, compuesta por un núcleo que contiene el material genético o genoma masculino donde la cromatina está altamente condensada. Cubriendo la parte anterior del núcleo se localiza el acrosoma el cual es una modificación de una vesícula membranosa que contiene enzimas hidrolíticas. Estas enzimas ayudan al espermatozoide en el proceso de penetración de las envolturas que rodean al óvulo durante la fertilización.

Extendiéndose a partir del cuello está la cola que es relativamente larga y posee la misma estructura de un cilio. La cola se divide en pieza media, pieza principal y pieza terminal y está cubierta por una extensión de la membrana celular que contiene grandes cantidades de fosfato de adenosina (ATP); a partir del ATP se obtiene la energía para los movimientos de la cola.

#### Función de las células de Sertoli

Las células de Sertoli son células voluminosas del epitelio germinativo o seminífero, que se extienden desde la base de este epitelio hasta su término que define el borde de la luz de los túbulos seminíferos. Las células germinales (espermatogonias, espermatoцитos y espermátides) se encuentran entre células de Sertoli vecinas y presentan una estrecha relación con éstas. Las células de Sertoli a su vez crean un medio ambiente apropiado para el proceso de espermatogénesis proporcionando a las células germinales material nutritivo, hormonas y enzimas (Skinner, 1991).

#### **2.1.3 Comportamiento sexual**

En el macho, el comportamiento sexual o libido ha sido definido como la voluntad y el deseo de realizar la monta a una hembra (Chenoweth, 1983).

En machos caprinos el interés sexual puede ser detectado a temprana edad (4 a 7 meses) y se asocia con el incremento en las concentraciones circulantes de testosterona a su vez asociados con la pubertad. Por otra parte, aunque la producción de testosterona testicular determina la libido, no se ha encontrado una correlación significativa entre libido y circunferencia escrotal (Hernández y Menéndez, 1994), o entre libido y cantidad o calidad seminal (Boyd y Corah, 1988). De esta manera, es posible encontrar machos con baja libido y buena calidad seminal y viceversa (Lunstra y Laster, 1982; Chenoweth, 1983), por lo que resulta de gran importancia incorporar la evaluación de la libido como parte de las pruebas para evaluar a un semental.

El patrón básico de comportamiento sexual en los machos es innato y se puede desarrollar aún en ausencia de contacto con hembras (Chenoweth, 1981), sin embargo, la experiencia y la observación refuerzan su desarrollo en machos jóvenes (Boyd y Corah, 1988), por lo que las experiencias prepuberales son muy importantes para la estructuración adecuada de los patrones de comportamiento sexual (Perkins y Fitzgerald, 1992).

En los caprinos, la expresión del comportamiento sexual incluye signos como el olfateo de los genitales y la orina de la hembra, los gruñidos, los golpeteos con las extremidades anteriores (pataleo), el lengüeteo y el signo de venteo o flehmen. Este último consiste en elevación de la cabeza con los labios fruncidos hacia arriba después de olfatear la región perineal de la hembra, favoreciendo así el paso de las feromonas producidas por la hembra a los bulbos olfatorios del macho (Goyal y Memon, 2007) .

## **2.2 Estacionalidad reproductiva en el macho caprino**

Los machos caprinos locales del norte de México, presentan variaciones estacionales de su actividad sexual, la cual ocurre de mayo a diciembre, y es caracterizada por altas concentraciones plasmáticas de testosterona, un intenso comportamiento y olor sexual, un elevado peso testicular y una mayor producción espermática de mejor

calidad; esta estacionalidad reproductiva es controlada principalmente por el fotoperiodo (Delgadillo *et al.*, 2004).

El ambiente es un factor que influye sobre el potencial genético de los individuos determinando el período reproductivo y la intensidad del mismo (Chemineau, 1992). En la especie caprina, existen diferencias entre razas en su respuesta sexual al fotoperiodo, observándose una importante variabilidad en cuanto a la duración y las fechas de inicio y finalización de la actividad reproductiva tanto para hembras (Valencia *et al.*, 1990; Amoah *et al.*, 1996) como para machos (Pérez y Mateos, 1995, 1996; Delgadillo *et al.*, 2004; Delgadillo, 2011). Lo anterior indica que existen respuestas diferenciadas del eje hipotálamo-hipófisis a los cambios en duración del fotoperiodo, que determinan las diferencias en la longitud e intensidad de la estación reproductiva de las distintas razas (Chemineau *et al.*, 2004). La duración de la temporada de apareamiento, la libido y el comportamiento sexual y social son codificados por los factores genéticos y se modifican por la acción de factores externos como el fotoperiodo, la disponibilidad de alimento, la temperatura, el régimen pluvial y la humedad (Mellado *et al.*, 1991; Silva *et al.*, 1998; Urrutia *et al.*, 2008; Estrada *et al.*, 2009). Lo anterior implica que los aspectos reproductivos no pueden extrapolarse entre las distintas razas y medios ambientes, sino que deben ser evaluados para cada sistema de producción (Pérez y Mateos, 1995, 1996; Islam y Land, 1977).

### **2.2.1 Efecto del fotoperiodo sobre la función reproductiva**

La secuencia anual de cambios en duración del fotoperiodo (cantidad de horas luz durante el ciclo diario luz-oscuridad) sirve como un control externo del ritmo reproductivo circanual endógeno de ovinos y caprinos. Sincroniza la actividad ovulatoria con los cambios estacionales externos, al regular la secreción y, por lo tanto, las concentraciones sanguíneas de las hormonas gonadotrópicas (D'Occhio y Suttie, 1992; Corteel, 1994; Barrell *et al.*, 2000).

El registro de la duración del fotoperiodo se inicia en receptores sensibles a la luz presentes en la retina, posteriormente, esta información se transmite por una conexión neural retinohipotalámica hasta los núcleos supraquiasmáticos del hipotálamo, luego a través de neuronas simpáticas preganglionares hasta el ganglio cervical superior y a partir de éste por neuronas posganglionares hasta la glándula pineal. El estroma pineal contiene células parenquimatosas, encargadas de sintetizar y secretar la hormona melatonina en grandes cantidades durante la fase de oscuridad del ciclo diario de luz-oscuridad; de esta manera se realiza una transducción de una señal luminosa externa (luz-oscuridad) a una señal química interna (melatonina-disminuida o elevada) (Arendt *et al* 1988; Ganong, 1994; D' Occhio y Suttie, 1992).

Se ha comprobado que la pinealectomía o una denervación de la glándula pineal suprimen la percepción a los cambios de horas luz en el ciclo diario de luz-oscuridad, lo que se traduce en una distorsión en la expresión de la estacionalidad reproductiva (Malpoux *et al.*, 2001). Aparentemente, las variaciones a través del año en la duración de las fases de melatonina elevada, actúan como un “marcador de tiempo” para ajustar la expresión de un ritmo biológico endógeno de sensibilidad al efecto de retroalimentación negativa de los estrógenos ováricos sobre la secreción de GnRH hipotalámico y por consecuencia de LH hipofisiaria (Barrell *et al.*, 2000; Chemineau *et al.*, 2008).

En el caso de machos caprinos, a través del año y asociado con las épocas de mayor y menor actividad reproductiva, se observa un ciclo de aumento y disminución en la frecuencia de pulsos de secreción de LH y testosterona circulante, así como del tamaño testicular (Muduuli *et al.*, 1979; Lincoln, 1989; Ritar, 1991; Delgadillo *et al.*, 1999).

La primer reacción en la esteroidogenesis testicular es la conversión de colesterol a pregnenolona que es catalizada por la enzima mitocondrial P450scc, cuya presencia es dependiente de la LH a mediano plazo. Sin embargo, el efecto agudo de LH sobre la síntesis de testosterona se debe al incremento en translocación de colesterol al interior de la mitocondria por la proteína StAR (Saez, 1994). Aunque la LH es el

principal regulador de la producción de testosterona, otros factores producidos localmente en el testículo son importantes para la función de las células de Leydig, entre estos los producidos a partir de la estimulación de células de Sertoli por la FSH (Saez, 1994).

Otra hormona que también presenta cambios estacionales en ovinos y caprinos al igual que en otros mamíferos estacionales es la prolactina (Lincoln, 1989; Martinet y Mondain-Monval, 1993). En carneros, la prolactina actúa directa e indirectamente en los testículos, para regular en conjunto con la LH y FSH el ciclo estacional testicular, específicamente, durante el proceso de transición para salir de la fase de regresión e iniciar y mantener una adecuada fase de re-desarrollo (Sanford y Baker, 2010). Asimismo, las variaciones estacionales de prolactina parecen estar relacionadas también con la regulación de funciones no reproductivas como cambios en distintos procesos del metabolismo corporal (Curlewis, 1992). Se ha considerado que, la prolactina podría ejercer un papel preponderante durante los periodos de máximo crecimiento cornual en la primavera y el verano. En este contexto, ha sido establecido que la prolactina está implicada en diversos procesos fisiológicos de crecimiento, desarrollo y secreción tisular, y cada vez son más los tejidos donde se han encontrado sus receptores (Karabulut *et al.*, 1999).

### **2.2.2 Tamaño testicular y características seminales**

En los machos caprinos, el tamaño testicular se modifica a través del año siguiendo un patrón estacional (Chemineau *et al.*, 1988; Ritar, 1991; Roca *et al.*, 1992; Delgadillo *et al.*, 1999; Castilla, 2006). Estos cambios son a su vez el reflejo de las variaciones estacionales en el patrón de secreción de GnRH hipotalámica y de las gonadotropinas hipofisaria, variaciones que representan un ritmo biológico endógeno guiado en su expresión ("entrained"), o sincronizado con los cambios en las condiciones del medio externo, por la secuencia de cambios en duración del fotoperiodo a través del año (Chemineau *et al.*, 2008). En particular, el tamaño testicular en machos caprinos del centro y norte de México presenta un ciclo de aumento en primavera e inicio del

verano y disminución en la segunda mitad del verano y otoño (Delgadillo *et al.*, 1999; Castilla, 2006), de tal manera que el macho ya está en su fase de mayor actividad reproductiva cuando inicia la fase de actividad ovulatoria en la hembra. El aumento de tamaño testicular parece estar asociado a un incremento en el número de células de Sertoli dentro del túbulo seminífero y de células de Leydig en el tejido intersticial como ocurre en los ovinos (Lincoln, 1989). Además de lo que ocurre en caprinos y ovinos, el efecto de estacionalidad sobre el tamaño testicular se presenta también en otras especies domésticas como los equinos (Johnson y Thompson, 1983).

Las características seminales o del eyaculado también presentan cambios estacionales en los caprinos, con una mayor cantidad y calidad de espermatozoides durante la primavera-verano y menor cantidad y calidad a mediados del invierno (Delgadillo *et al.*, 1999; Castilla, 2006). En relación a esto, está demostrado que la calidad del eyaculado depende de una interacción funcional compleja entre las células de Leydig, células de Sertoli y células germinales, siendo importante para las dos primeras la regulación ejercida externamente por las gonadotropinas hipofisarias e internamente por la testosterona y otros factores paracrinos (Skinner, 1991). Esta regulación, puede verse alterada por la disminución estacional en los pulsos de secreción de GnRH hipotalámica que a su vez están relacionados con los cambios estacionales en el tamaño testicular y libido (Chemineau *et al.*, 2008).

### **2.2.3 Comportamiento sexual**

En general, las diferentes razas de caprinos domésticos son reproductivamente estacionales lo cual es muy evidente en la hembra pues a través del año presenta periodos con y sin actividad estral/ovulatoria claramente delimitados aunque de duración variable. En el caso del macho caprino, también se observa un patrón reproductivo estacional aunque no tan definido como en la hembra, con periodos de mayor o menor actividad reproductiva particularmente en lo que se refiere a la intensidad de la libido y capacidad espermatogénica (Delgadillo *et al.*, 2004). Los periodos de menor actividad sexual o libido se presentan en el norte y centro de México durante los meses de febrero a mayo y la mayor actividad entre agosto y

noviembre, coincidiendo con el patrón de cambios en las concentraciones circulantes de testosterona (Delgadillo *et al.*, 1999; Castilla, 2006). Cabe resaltar que la intensidad de la libido y capacidad espermatogénica están relacionadas con la capacidad de servicio del semental y con el número de hembras gestantes y la eficiencia reproductiva del rebaño (Memon *et al.*, 2007).

### **2.3 Efecto del estado nutricional sobre la función reproductiva en machos caprinos**

Existen pocos estudios en los que se haya analizado el efecto de la condición nutricional sobre la función reproductiva de machos caprinos y sus mecanismos de acción. No obstante, se han encontrado evidencias de que la restricción nutricional de mediano a largo plazo afecta el tamaño testicular y su actividad espermatogénica (Kemper-Green *et al.*, 1995; Martin y Walkden-Brown, 1995; Vera-Ávila, 1996), así como la intensidad del olor que despiden los machos activos y la secreción de testosterona y gonadotropinas (Walkden-Brown *et al.*, 1994; Vera-Avila, 1996). Estos efectos se manifiestan sobrepuestos al patrón de cambio estacional que presenta cada una de las variables mencionadas, tanto en intensidad/magnitud como en la temporalidad de expresión; la restricción nutricional reduce la intensidad/magnitud y retrasa el inicio de la fase de incremento o fase de mayor actividad. En relación a la expresión de la libido, no se ha determinado con claridad si la condición nutricional del macho caprino influye en la intensidad de este componente reproductivo, aunque si se ha observado que la suplementación alimenticia no mejora la respuesta sexual de machos caprinos activados por manipulación del fotoperiodo (Cruz-Castrejón *et al.*, 2007).

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 Localización**

El trabajo se llevó a cabo en las instalaciones del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal, INIFAP-SAGARPA, localizado a 20° 42.3' de latitud norte, 100° 1.2' de longitud Oeste y 1900 m sobre el nivel del mar. Esta zona cuenta con un clima semiseco con lluvias en verano, una temperatura media anual de 15° C y una precipitación pluvial anual de 450 a 630 mm.

La etapa experimental comprendió el periodo entre los meses de marzo y octubre, que corresponde a su vez a las fases de anestro, transición e inicio de estación reproductiva en hembras caprinas de raza criolla (Valencia *et al.*, 1990).

#### **3.2 Animales (alimentación y manejo)**

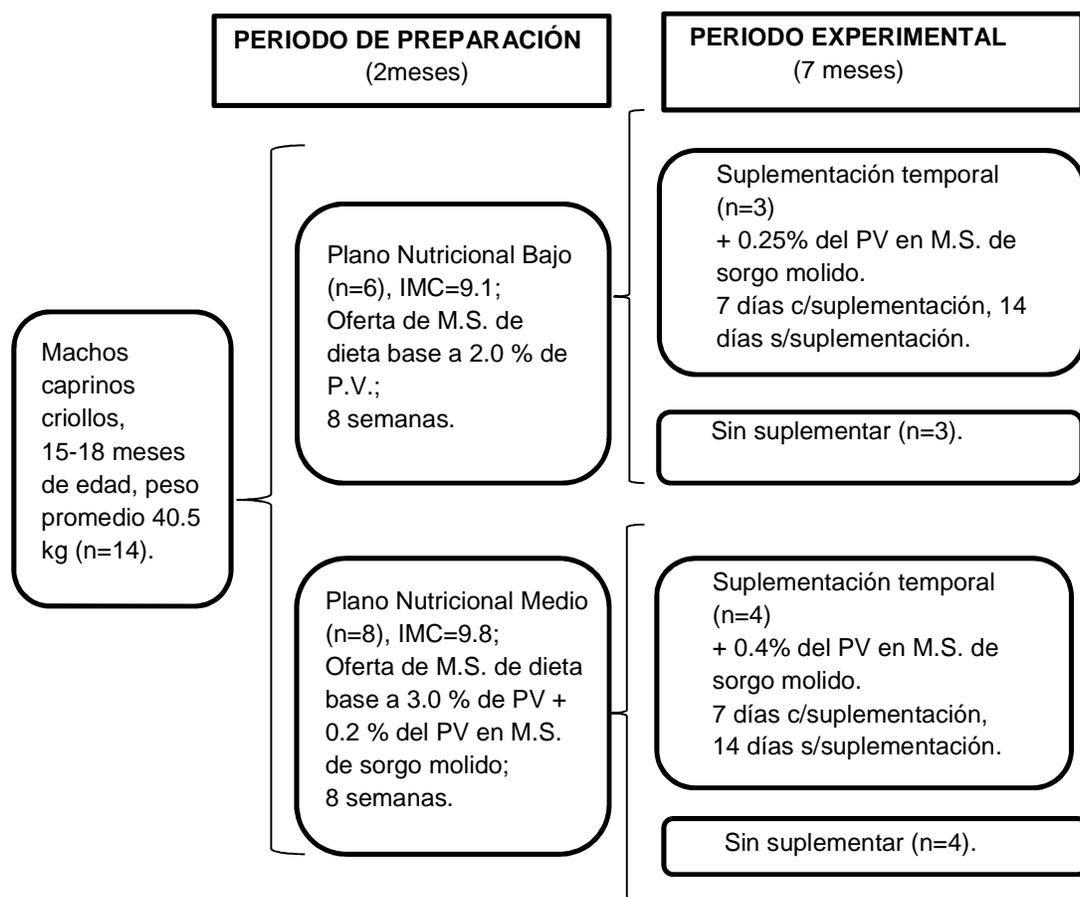
Se utilizaron 14 machos caprinos criollos encastados de Nubia, adultos, de entre 15 y 18 meses de edad y peso vivo promedio de 40.5 kg. Con el objeto de determinar la influencia del estado nutricional de los machos sobre la expresión estacional de su actividad reproductiva, se conformaron aleatoriamente dos grupos experimentales: 1) grupo de plano nutricional medio (PNM; n=8) y 2) grupo de plano nutricional bajo (PNB; n=6). Para lo anterior, durante un periodo de preparación de 2 meses previos al inicio del experimento, los animales de ambos grupos fueron alimentados con una misma dieta base (Cuadro 1), pero en cantidades diferentes (oferta de materia seca a 3.0 y 2.0 % del peso vivo para grupo PNM y PNB, respectivamente) y asignando una cantidad extra de grano a los animales del grupo de PNM (sorgo molido, 0.2 % del peso vivo en materia seca). Las dietas/raciones ofertadas aportaban un estimado de 100 y 60 % de energía metabolizable, de los requerimientos nutricionales teóricos en los grupos PNM y PNB, respectivamente (NRC, 2007). Al término del periodo de preparación el índice de masa corporal (IMC) promedio en los grupos PNM y PNB fue

de  $9.8 \pm 0.16$  y  $9.1 \pm 0.27$  puntos ( $P < 0.05$ ). La alimentación durante este periodo de preparación y el experimental se hizo de manera individual separando a los animales en corraletas.

**Cuadro 1.** Dieta base utilizada en la alimentación de los animales experimentales.

<b>Ingrediente</b>	<b>% de inclusión</b>
Rastrojo de sorgo	53.2
Heno de alfalfa	20
Sorgo molido	19.8
Melaza	5
Minerales	2
<b>Aporte de nutrientes (Base Seca)</b>	
Proteína Cruda	8.9 %
Energía Metabolizable	1.5 Mcal/kg

El periodo de preparación concluyó el 13 de marzo y a partir de esta fecha cada grupo de plano nutricional se dividió a su vez en dos subgrupos: 1) subgrupo con suplementación temporal de energía (CST; n=3 o 4) y 2) subgrupo sin suplementación nutricional (SST; n= 3 o 4). La suplementación temporal de energía, consistió en ofrecer 19 % extra de energía metabolizable en forma de grano de sorgo molido, con respecto a la dieta base de cada grupo (+ 0.4 % y + 0.25 % del peso vivo en materia seca de sorgo molido para el grupo PNM y PNB, respectivamente) (Figura 1). El aporte extra de grano se hizo por periodos de 7 días en bloques de 21 días hasta el final del periodo experimental; 7 días con suplementación y 14 días sin suplementación. Esto con el fin de efectuar un incremento de corto plazo en el aporte de energía sin influir a mediano/largo plazo en las reservas corporales de ésta.



**Figura 1.** Esquema de alimentación para grupos y subgrupos experimentales.

### 3.3 Variables de respuesta

Durante todo el periodo experimental, 13 de marzo a 3 de octubre, se realizaron mediciones semanales del peso vivo y de la circunferencia escrotal, además de hacer una calificación del olor emitido por los machos. Asimismo, entre el 15 de marzo y el 13 de septiembre, se obtuvieron muestras de sangre dos veces por semana para determinar las concentraciones séricas de testosterona. Adicionalmente se estimó el índice de masa corporal al inicio y al final del periodo experimental.

**Peso vivo:** Se determinó en kilogramos como el promedio de 2 pesajes consecutivos durante el mismo día.

**Índice de masa corporal:** Se determinó con la fórmula  $IMC = PV \text{ (kg)} / [\text{Altura a la cruz (m)} * \text{Largo entre cruz y maslo (m)} * 10]$  (Tanaka *et al.*, 2003).

**Circunferencia escrotal:** Se estimó utilizando una cinta métrica de plástico; los testículos fueron medidos en su circunferencia más ancha después de deslizarlos hasta el fondo de la bolsa escrotal manteniéndolos paralelos. El valor utilizado como variable de respuesta corresponde al promedio de 2 mediciones consecutivas hechas por diferentes personas.

**Calificación de olor:** El sitio para hacer la calificación de olor fue el dorso de la nuca de los machos, a una distancia de 15-20 cm entre el animal y el evaluador. La escala de calificación usada fue de 0 a 3, 0 = olor neutro (igual al de una hembra o un macho castrado), 1 = olor ligero de macho activo, 2 = olor moderado y 3 = olor intenso (Walkden-Brown *et.al*, 1994). Para hacer la calificación, el evaluador se situó en un lugar lejos de los corrales donde se alojaban los machos (para no confundir el olor del animal con el olor del corral) y cerca de una corraleta con hembras. La calificación para cada macho se hizo por separado, sin que al evaluador se le informara a que grupo experimental pertenecía el animal a evaluar, oliendo primero a una hembra y posteriormente al macho que se estaba calificando; de esta manera la calificación se hace por comparación del olor del macho con el olor neutro de una hembra. El valor utilizado corresponde al promedio de 2 mediciones consecutivas hechas por diferentes personas. De acuerdo a los valores anteriores, se calculó el intervalo de tiempo entre inicio del experimento y presentación de olor intenso de macho activo en dos mediciones consecutivas (valor 3); este valor fue el que se utilizó como variable de respuesta.

**Muestras de sangre y determinación de testosterona:** Las muestras de sangre se obtuvieron siempre entre las 10 y 11 AM, mediante punción de la yugular usando

tubos al vacío sin anticoagulante y colocándolas a 4 °C inmediatamente después de colectadas. Posteriormente, fueron centrifugadas a 2500 rpm por 10 min para obtener suero, el cual se almacenó a -20 °C hasta ser analizado para determinar por RIA las concentraciones de testosterona (Testosterona total, Siemens Health Care Diagnostics, Los Ángeles CA). La sensibilidad del ensayo fue de 4ng/dl, con coeficientes de variación intraensayo de 6.5% e interensayo de 7.8%. La variable de respuesta que se utilizó corresponde al promedio quincenal de testosterona sérica por macho.

### **3.4 Análisis estadístico**

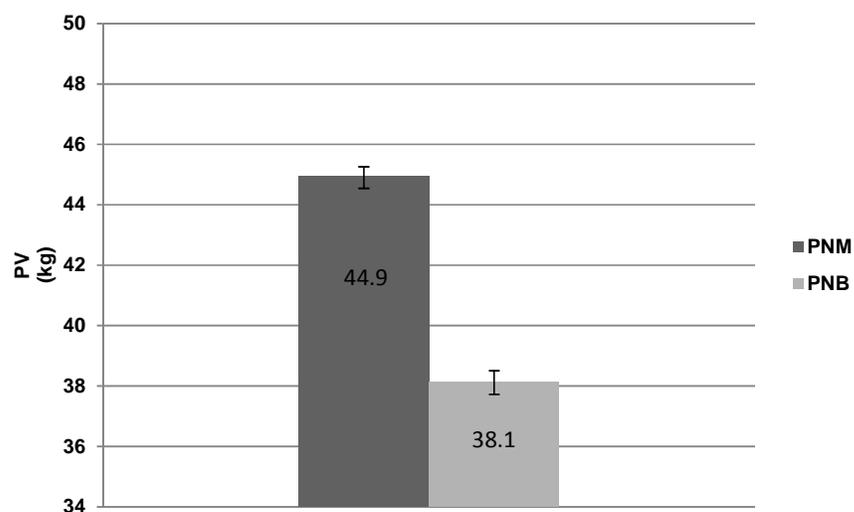
Las variables de respuesta peso vivo, circunferencia escrotal y concentración sérica de testosterona se analizaron por medio de análisis de varianza para un diseño de observaciones repetidas (SAS, 2007). Los efectos de interés fueron el plano nutricional (PN; Medio y Bajo), suplementación temporal de energía (ST; Con suplementación y Sin suplementación) y la fecha de medición así como las interacciones correspondientes. El intervalo inicio del experimento a presentación de olor intenso de macho activo se sometió a análisis de varianza para un diseño completamente al azar, considerando los efectos de PN, ST y su interacción.

## IV. RESULTADOS

### 4.1 Índice de masa corporal y peso vivo

El índice de masa corporal promedio en los grupos de PNM y PNB fue de  $9.8 \pm 0.16$  y  $9.1 \pm 0.27$  puntos al inicio ( $P < 0.05$ ) y de  $10.3 \pm 0.12$  y  $9.1 \pm 0.55$  puntos al final ( $P < 0.05$ ) del periodo experimental. La suplementación temporal de energía y la interacción de este efecto con el de plano nutricional no tuvieron influencia sobre estas respuestas ( $P > 0.05$ ).

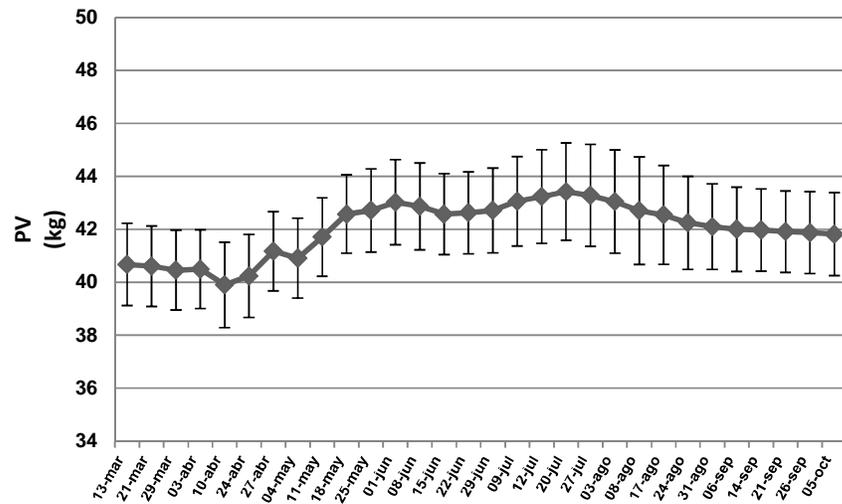
Los pesos vivos promedio (PV) al inicio del periodo experimental fueron de  $42.3 \pm 2.0$  y  $38.5 \pm 2.3$  kg en los grupos de PNM y PNB ( $P > 0.05$ ). A través del periodo experimental el PV fue influenciado por el plano nutricional, la fecha de medición y la interacción entre ambos ( $P < 0.05$ ). Como se observa en la Figura 2 (efecto de plano nutricional), los animales del grupo PNM pesaron en promedio 6.8 kg más que los del grupo PNB. En relación al efecto de fecha de medición, se observa que el PV de los animales experimentales presentó variaciones a través del periodo experimental (Figura 3); el patrón de cambio observado fue de un incremento inicial para llegar a un máximo el 20 de julio (+2.7 kg de PV con respecto al valor inicial) y posteriormente una disminución ligera hasta inicios del mes de septiembre (-1.4 kg de PV, 6 de septiembre vs 20 de julio), para después estabilizarse. El patrón de cambio de PV a través del periodo experimental fue diferente entre grupos de plano nutricional (Figura 4; efecto de la interacción entre plano nutricional y fecha de medición). Los animales en el grupo PNB mantuvieron relativamente estable su PV a través del periodo experimental, el cual fue siempre menor al de los animales del grupo PNM. En contraste, los animales del grupo PNM presentaron un incremento gradual de PV entre el 10 de abril y el 27 de julio (+5.6 kg de PV), para después experimentar una ligera disminución progresiva hasta el final del periodo experimental (-3 kg de PV entre el 27 de julio y el 3 de octubre). Ni la suplementación temporal de energía ni su interacción con el plano nutricional o fecha de medición tuvieron efecto sobre el PV ( $P > 0.05$ ; resultados no presentados).



**Figura 2.** Peso vivo (PV; media  $\pm$  eem), en machos caprinos mantenidos entre el 13 de marzo y 5 de octubre en un plano nutricional bajo (PNB) o medio (PNM); promedio general del periodo. Efecto de plano nutricional,  $P = .03$

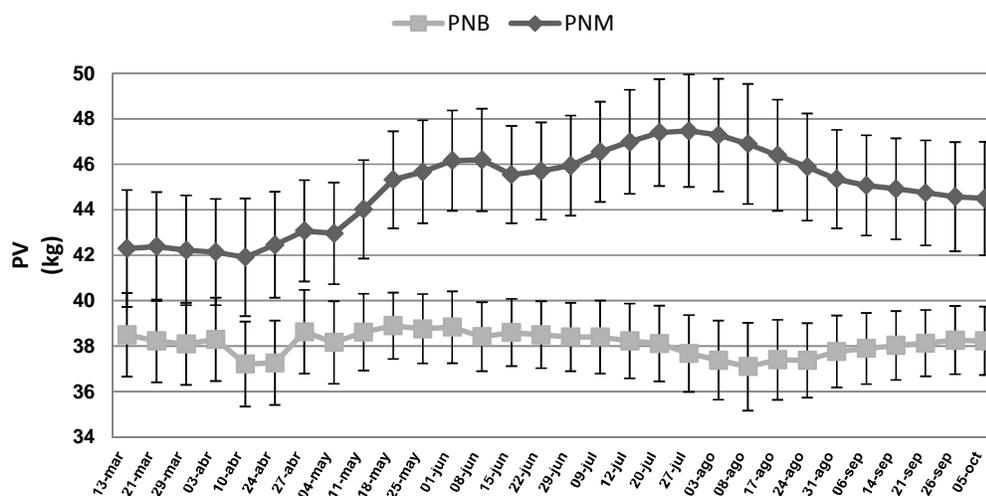
#### 4.2 Circunferencia escrotal

La circunferencia escrotal promedio (CE) al inicio del periodo experimental fue de  $26.3 \pm 0.9$  y  $25.1 \pm 1.0$  cm en los grupos de PNM y PNB ( $P > .05$ ). A través del periodo experimental la CE no fue influida por el plano nutricional o por la interacción de éste con la fecha de medición ( $P > .05$ ). Sin embargo, la suplementación temporal de energía, la fecha de medición y su interacción si tuvieron efecto sobre esta variable ( $P < .05$ ).



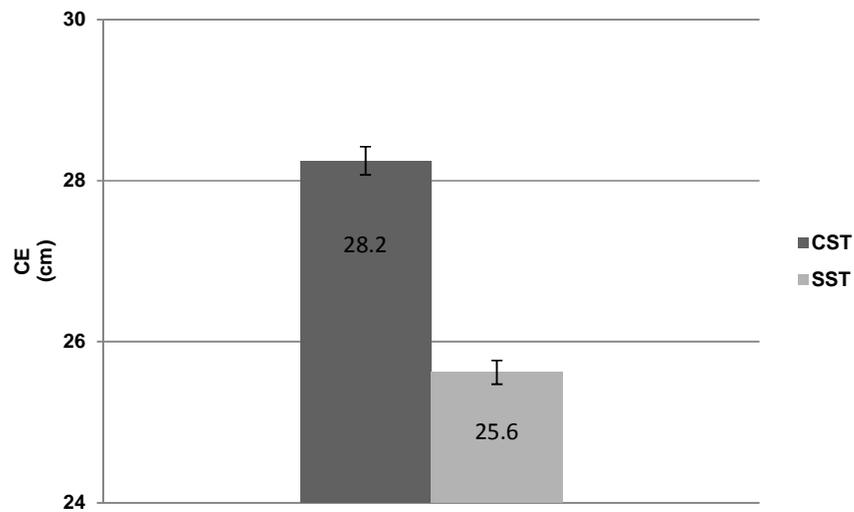
**Figura 3.** Peso vivo (PV; media  $\pm$  eem) de machos caprinos a través del periodo de estudio (13 de marzo a 5 de octubre), independiente de los efectos de plano nutricional y suplementación temporal de energía. Efecto de fecha de medición,  $P = .01$ .

Como se observa en la Figura 5 (efecto de suplementación temporal de energía), los animales del grupo CST tuvieron un promedio de CE 2.6 cm mayor que los del grupo SST, esto considerando todo el periodo experimental. En relación al efecto de fecha de medición, se observa que la CE de los animales experimentales presentó variaciones a través del periodo experimental (Figura 6); el patrón de cambio observado fue de un incremento inicial para llegar a un máximo a mediados del mes de junio (+2.2 cm de CE con respecto al valor inicial) y posteriormente una disminución gradual hasta el final del periodo experimental (-1.8 cm de CE entre valor máximo y valor final).



**Figura 4.** Peso vivo (PV; media  $\pm$  eem) a través del periodo experimental en machos caprinos mantenidos en un plano nutricional bajo (PNB) o medio (PNM). Efecto de plano nutricional x fecha de medición,  $P = .01$

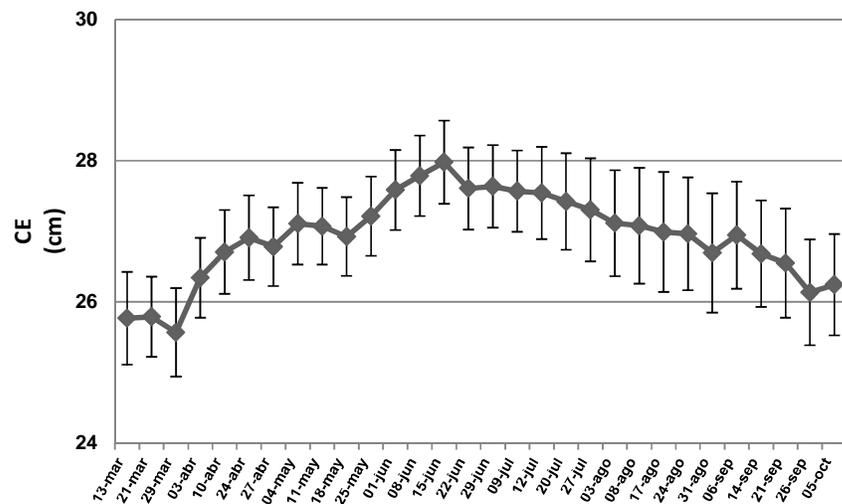
El patrón de cambio de CE a través del periodo experimental fue diferente entre subgrupos de suplementación temporal de energía (Figura 7; efecto de la interacción entre suplementación temporal de energía y fecha de medición). Los animales de ambos subgrupos presentaron un incremento gradual de la CE para llegar a un valor máximo el 15 de junio (+1.6 y +2.7 cm de CE con respecto al valor inicial en los subgrupos SST y CST, respectivamente), posteriormente en el subgrupo SST se presentó una disminución gradual hasta el final del periodo experimental (-2.1 cm de CE entre el valor final y el valor máximo). En contraste, después de alcanzar el valor máximo los animales del subgrupo CST mantuvieron relativamente estable su CE hasta poco antes de concluirse el periodo experimental (21 de septiembre) y después presentaron una ligera disminución hacia el final de éste (-1.3 cm de CE entre valor final y valor máximo).



**Figura 5.** Circunferencia escrotal (CE; media  $\pm$  eem) en machos caprinos sometidos entre el 13 de marzo y 5 de octubre a suplementación temporal de energía (CST) o sin suplementación (SST); promedio general del periodo. Efecto de suplementación temporal de energía,  $P = .02$

#### 4.3 Tiempo a presentación de olor a macho activo

El total de los machos del grupo de PNM presentó olor con valor 3 durante el periodo experimental (8/8), mientras que solo 3/6 del grupo de PNB lo presentaron. El tiempo a presentación de olor intenso característico de macho activo (Olor = 3) tendió a ser influenciado por el plano nutricional ( $P = .06$ ) pero no por la suplementación temporal de energía o por la interacción de estos factores ( $P > .05$ ). En la Figura 8 se presentan los días entre inicio del experimento y obtención de valor 3 de olor en los diferentes grupos de plano nutricional (8-A) y en los subgrupos de suplementación temporal de energía (8-B).

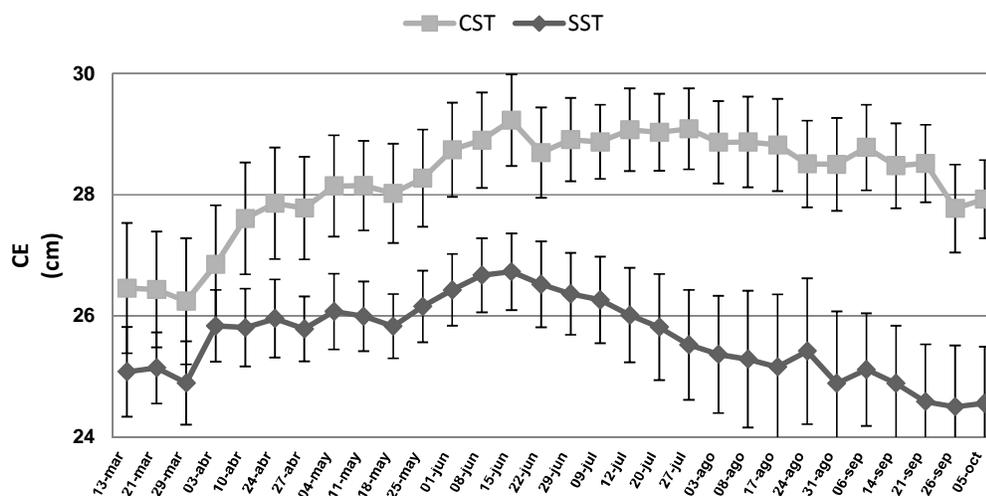


**Figura 6.** Circunferencia escrotal (CE; media  $\pm$  eem) de machos caprinos experimentales a través del periodo de estudio (13 de marzo a 5 de octubre), independiente de los efectos de plano nutricional y suplementación temporal de energía. Efecto de Fecha de Medición,  $P = .004$

Como puede observarse, en el grupo PNM los machos alcanzaron el valor 3 de olor 46 días antes que los del grupo PNB. Los días a presentación de olor con valor 3 no fueron diferentes entre los grupos con y sin suplementación temporal de energía.

#### 4.4 Concentración sérica de testosterona

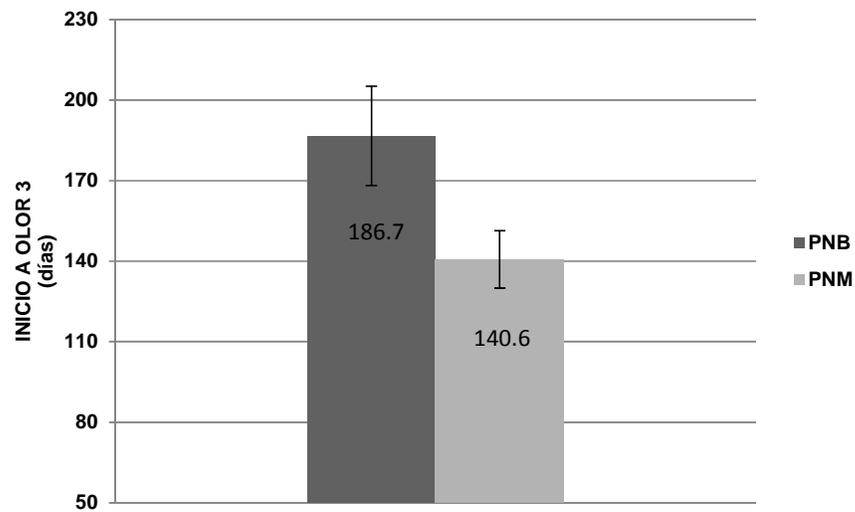
Las concentraciones séricas de testosterona (T) fueron influenciadas por los efectos de plano nutricional ( $P < .05$ ), fecha de medición y su interacción ( $P < .01$ ). Como puede observarse en la Figura 9 (efecto de plano nutricional), los animales del grupo de PNM presentaron mayor concentración sérica promedio de T en comparación con los animales del grupo de PNB (+110.1 ng/dl), esto considerando todo el periodo experimental.



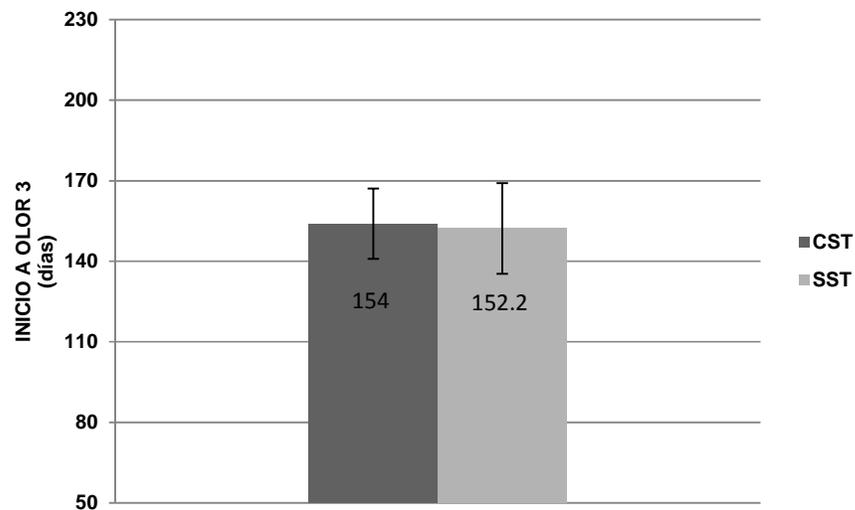
**Figura 7.** Circunferencia escrotal (CE; media  $\pm$  eem) a través del periodo experimental en machos caprinos sometidos a suplementación temporal de energía (CST) o sin suplementación (SST). Efecto de suplementación temporal de energía x fecha de medición,  $P = .04$

Asimismo, las concentraciones séricas de T presentaron variaciones a través del periodo experimental (Figura 10, efecto de fecha de medición), con un patrón inicial de incremento ligero (110.0 a 165.0 ng/dl de T entre marzo y mayo), seguido de un incremento importante entre mayo y agosto para llegar a un valor de 484.7 ng/dl y posterior a esto descender de manera continua hasta el final del periodo de muestreo. El patrón de variaciones en la concentración sérica de T a través del periodo experimental fue diferente entre grupos de plano nutricional (Figura 11; efecto de la interacción entre plano nutricional y fecha de muestreo).

A)



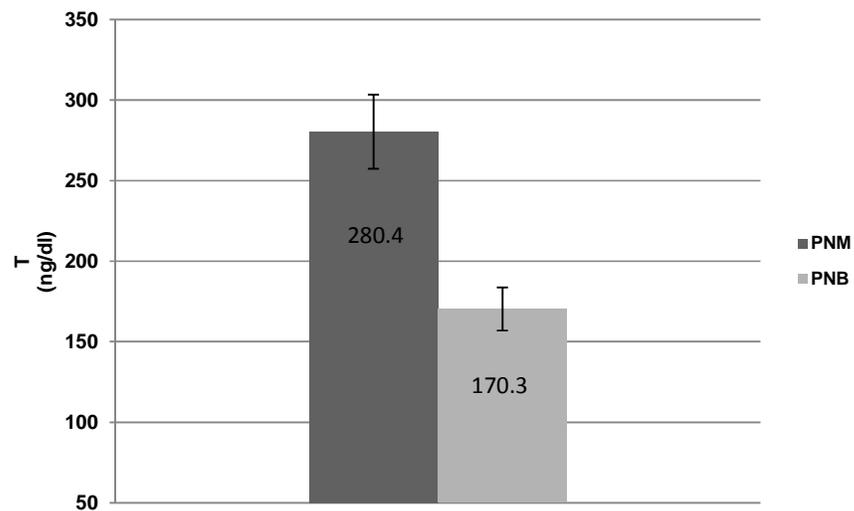
B)



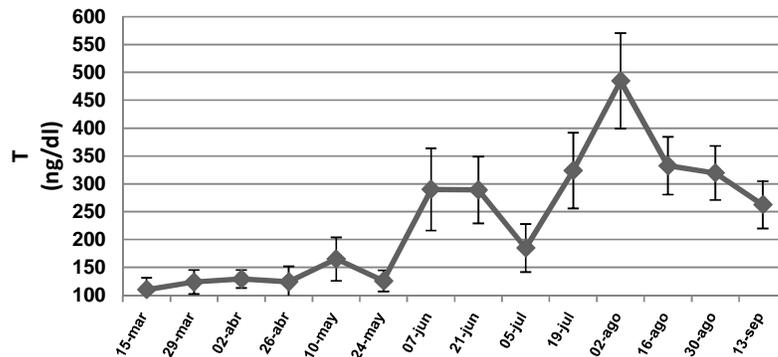
**Figura 8.** Días entre el inicio del experimento y la presentación de olor intenso característico de macho activo (calificación 3; escala 1 a 3; media  $\pm$  eem), en machos caprinos con: A) plano nutricional bajo (PNB) y medio (PNM), o B) con suplementación temporal de energía (CST) y sin suplementación (SST). Efecto de PN,  $P = .06$ ; Efecto de ST y de interacción PN x ST,  $P = .82$  y  $P = .95$ .

La concentración sérica de T fue similar entre grupos de plano nutricional hasta finales de mayo (<240 ng/dl). A partir de inicios de junio, los animales en el grupo de PNM presentaron un incremento agudo importante en la concentración sérica de esta hormona, para llegar hasta 642.8 ng/dl a principios de agosto y luego disminuir

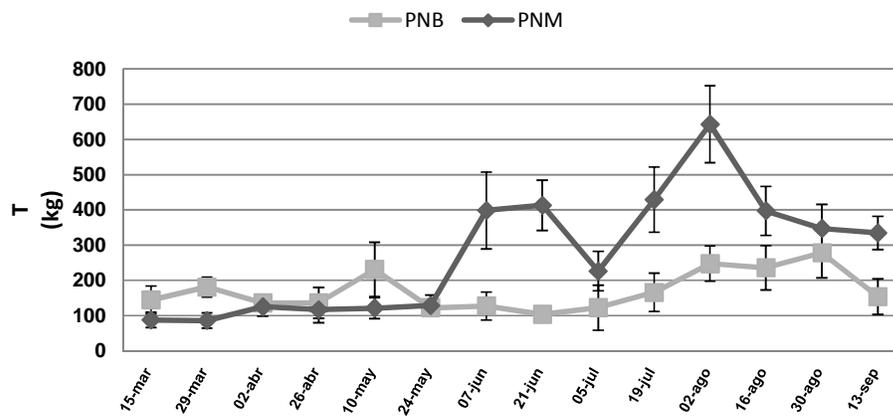
gradualmente hasta 334.7 ng/dl al finalizar el periodo de muestreo en septiembre. En contraste, los machos caprinos del grupo PNB presentaron un incremento más tardío (inicios de julio), más gradual y de menor amplitud, para alcanzar un valor máximo de 278.2 ng/dl a finales de agosto y a partir de entonces descender hasta 154 ng/dl. Los valores promedio de concentración sérica de T durante los periodos de incremento fueron 417.7 y 231.8 ng/dl en los grupos PNM (mayo a inicios de agosto) y PNB (julio a finales de agosto), respectivamente.



**Figura 9.** Concentraciones séricas de testosterona (T; media  $\pm$  eem) en machos caprinos mantenidos entre el 13 de marzo y 5 de octubre en un plano nutricional bajo (PNB) o medio (PNM); promedio general del periodo. Efecto de plano nutricional,  $P = .04$ .



**Figura 10.** Concentraciones séricas de testosterona (T; media  $\pm$  eem) en machos caprinos a través del periodo de estudio (15 de marzo a 13 de septiembre), independiente de los efectos de plano nutricional y suplementación temporal de energía. Efecto de fecha de muestreo,  $P < .001$ .



**Figura 11.** Concentraciones séricas de testosterona (T; media  $\pm$  eem) a través del periodo experimental en machos caprinos mantenidos en un plano nutricional bajo (PNB) o medio (PNM). Efecto de plano nutricional x fecha de medición,  $P = .005$ .

Ni la suplementación temporal de energía ni su interacción con el plano nutricional o fecha de medición tuvieron efecto sobre la concentración sérica de T, así como tampoco la triple interacción de estos factores ( $P > .05$ ).



## V DISCUSION

El paradigma experimental que se intentó generar fue el de mantener dos grupos separados de plano nutricional y/o de reservas corporales de energía y sobre esos grupos producir episodios cortos de aumento en el consumo de energía (suplementación temporal), sin provocar cambios en cuanto a la clasificación individual de plano nutricional y/o índice de masa corporal. De esta manera, se intentaba disociar los efectos/señales de mediano vs. efectos/señales de corto plazo asociadas al estado nutricional, particularmente en lo relativo a energía. Cabe señalar que el índice de masa corporal constituye un buen estimador de las reservas corporales de energía en los caprinos (tejido graso y muscular; Vilar *et al.*, 2004). El hecho de que no se haya observado efecto de la suplementación temporal de energía, o de su interacción con los demás factores evaluados, sobre la evolución del peso vivo y del índice de masa corporal a través del periodo experimental, indica que sí se logró generar el paradigma experimental deseado.

Por otra parte, se establecieron diferencias en peso vivo entre grupos de plano nutricional, siendo mayor en el de plano nutricional medio a partir de las primeras semanas de inicio del experimento y manteniéndose así hasta su término (Fig. 4). En el grupo de plano nutricional bajo el peso vivo se mantuvo relativamente estable a lo largo de todo el periodo experimental. En contraste, en el grupo de plano nutricional medio se observó un gradual y ligero incremento de peso entre principios de mayo y finales de julio, más notorio entre mayo y junio, a pesar de que la asignación de alimento se mantuvo siempre en la misma proporción de materia seca con respecto al peso vivo. Lo anterior, podría ser un reflejo de cambios estacionales en cuanto a eventos metabólicos (cambios estacionales en la tasa metabólica y/o en la producción de calor), similar a los que se han observado en ovinos y roedores estacionales (Thiery *et al.*, 2002). Estos cambios estacionales en eficiencia metabólica, podrían explicar las diferencias a través del tiempo en la tasa de incremento de peso de los machos en el grupo de plano nutricional medio, no obstante que no hubo incremento en la asignación de alimento en relación al peso vivo. Por su parte, los machos del grupo de plano nutricional bajo probablemente no pudieron expresar esos cambios en

eficiencia metabólica, debido a la condición de restricción nutricional constante a la que estuvieron sujetos.

A través del periodo experimental e independientemente del plano nutricional o suplementación temporal de energía, la circunferencia escrotal presentó un patrón de incremento (+2.2 cm, entre finales de marzo y mediados de junio), seguido de disminución gradual para quedar ligeramente mayor al final del periodo experimental con respecto al tamaño inicial (+0.4 cm, 5 de octubre vs. 13 de marzo) (Figura 6). Los machos de especies estacionales, sufren cambios en el tamaño y función testicular asociados a las estaciones del año, de manera similar a la estacionalidad ovulatoria en sus contrapartes hembras (Thiery *et al.*, 2002). En el caso de los caprinos domésticos estos han sido descritos para varias razas y normalmente preceden a los cambios estacionales de actividad reproductiva en las contrapartes hembra (Muduli *et al.*, 1979; Ritar, 1991; Walkden-Brown *et al.*, 1994; Delgadillo *et al.*, 1999; Castilla, 2006). Los machos caprinos incrementan su tamaño testicular para llegar a un máximo poco antes del inicio de la época de actividad reproductiva en la hembra y casi al llegar a este tamaño máximo es cuando incrementan la actividad testicular endocrina y espermatogénica (Ritar, 1991). Después de mantener el tamaño testicular y su actividad por algún tiempo, entran en una nueva fase estacional de disminución. La duración del periodo en que se mantiene el mayor tamaño y función testicular depende del grado de estacionalidad de la raza; menor en razas muy estacionales y viceversa (Pérez y Mateos, 1995, 1996; Delgadillo *et al.*, 2004; Castilla, 2006; Delgadillo, 2011). En el caso de machos jóvenes, el patrón de cambio estacional del tamaño testicular encubre al efecto de edad e incremento de peso sobre el desarrollo de los testículos, pero al final del periodo estacional de cambio (término de la fase de disminución de tamaño), los testículos terminan con un tamaño mayor que al inicio reflejando el efecto de aumento de edad y de peso vivo sobre el desarrollo gonadal (Ritar, 1991).

Por otra parte e independientemente del nivel de plano nutricional, la suplementación temporal de energía tuvo efecto sobre el desarrollo de los testículos (+2.6 cm de circunferencia escrotal en machos suplementados vs. machos no suplementados; Figura 5), modificando a su vez el patrón de cambio a través del tiempo en el tamaño testicular, estimado a partir de la circunferencia escrotal (Figura 7). Los machos

cabríos que fueron suplementados temporalmente alcanzaron un mayor tamaño máximo de circunferencia escrotal que los no suplementados (+2.7 vs. +1.6 cm), aunque en la misma fecha de medición (15 de junio). Asimismo, la suplementación temporal de energía promovió que el tamaño testicular se mantuviera relativamente estable hasta casi el final del periodo experimental (21 de septiembre) para iniciar lo que aparentemente era su fase de decaimiento hasta las últimas 2 semanas de este periodo. En contraste, el grupo no suplementado mantuvo su tamaño testicular máximo solo por un par de semanas para luego iniciar su fase de disminución, la cual se mantuvo hasta el final del periodo experimental. En forma similar a lo anterior, se ha observado en machos cabríos de raza Cashmere que la variación del tamaño testicular a través del año es regulada por los cambios en fotoperiodo, pero que también es influenciada en forma importante por claves metabólicas asociadas con el consumo voluntario de alimento (Walkden-Brown *et al.*, 1994). En otros trabajos también se ha observado un efecto negativo de la restricción nutricional sobre el tamaño testicular, aunque en estos no se ha diferenciado si el efecto es debido a restricciones en el consumo diario de alimento o a efectos de mediano plazo sobre las reservas corporales de energía (Kemper-Green *et al.*, 1995; Martin y Walkden-Brown, 1995; Vera-Avila, 1996). El efecto de la condición nutricional sobre el desarrollo testicular estacional aparentemente es mediado en parte por sus efectos sobre la secreción de GnRH y gonadotropinas, particularmente de la FSH (Walkden-Brown *et al.*, 1994). Sin embargo, también parece involucrar a señales metabólicas independientes del eje hipotálamo-hipófisis-gónadas (Walkden-Brown *et al.*, 1994), dentro de las cuales podría estar el IGF-I para el cual se expresan receptores en células de Leydig y de Sertoli (Saez, 1994; Martin y Walkden-Brown, 1995), además de que sus niveles circulantes son claramente influenciados por la condición nutricional (Guerra *et al.*, 2009).

A diferencia de lo observado con el tamaño testicular, la función testicular en términos endocrinos no fue influenciada por la suplementación temporal de energía aunque sí por el plano nutricional (+110.1 ng/dl de testosterona sérica promedio en los machos de plano nutricional medio vs. plano nutricional bajo; Figura 9). Las concentraciones séricas de testosterona presentaron un patrón estacional de cambio como el que se ha descrito previamente para caprinos domésticos (Ritar, 1991; Walkden-Brown *et al.*, 1994; Delgadillo *et al.*, 1999), el cual asimismo se presentó desfasado del patrón de

cambio estacional en el tamaño testicular, en el sentido de que el incremento en testosterona circulante inició cuando prácticamente se había completado la fase de incremento del tamaño testicular (Figuras 7 y 10). Este patrón estacional fue diferente entre los machos de plano nutricional medio comparado con los de plano nutricional bajo; fase de incremento de la concentración circulante de testosterona adelantada y de mayor intensidad y duración en los machos de plano nutricional medio (Figura 11). El efecto de plano nutricional también se observó en el tiempo a presentación de olor intenso de macho activo, el cual se presentó 46 días antes en los machos de plano nutricional medio (Figura 8), reflejando los cambios en las concentraciones circulantes de testosterona ya que las glándulas asociadas con el olor del macho son dependientes de andrógeno (Jenkinson *et al.*, 1967). Una situación similar fue observada por Walkden-Brown *et al.* (1994), al comparar machos Cashemere sometidos durante varias semanas al consumo de dietas de alta y baja calidad (condición equivalente a los planos nutricionales medio y bajo del presente estudio); incremento de concentraciones circulantes de testosterona y presentación de olor de macho activo adelantados, de mayor intensidad y duración en machos consumiendo la dieta de alta calidad. En su trabajo, los autores anteriores encontraron evidencias de que ese efecto era mediado por un efecto del plano nutricional sobre las concentraciones circulantes de LH y aunque no lo midieron específicamente, consideraron que el efecto directo era más bien sobre la secreción de GnRH, dado el tipo de regulación de la secreción de LH ejercido por la neurohormona (Jeong y Kaiser, 2006). Cabe mencionar que el efecto negativo de la restricción nutricional sobre la secreción de GnRH y LH, como mediadores del efecto de la condición nutricional sobre la actividad ovulatoria, ha sido ampliamente documentado en hembras de pequeños rumiantes (Mora *et al.*, 2007). Asimismo, hay evidencias en ovinos de que la regulación nutricional sobre la producción gonadal de testosterona es diferente de la regulación nutricional sobre el desarrollo testicular (Martin *et al.*, 1987; Martin *et al.*, 1994). Por otra parte, también se han identificado efectos diferenciados entre el consumo diario de alimento y las reservas corporales de energía sobre la expresión de estacionalidad en hembras caprinas criollas (Estrada *et al.*, 2009). Con base en lo anterior, se podría explicar las diferencias observadas en el presente trabajo en cuanto a efectos de los componentes de la condición nutricional (consumo diario de alimento y reservas corporales de energía), sobre los patrones estacionales de desarrollo y función endocrina testicular.

Aunque previamente se ha establecido el efecto de interacción entre los cambios de fotoperiodo y la condición nutricional sobre la expresión de estacionalidad reproductiva en machos cabríos (Walkden-Brown *et al.*, 1994), hasta ahora no se había intentado diferenciar el efecto de los componentes de corto (consumo diario de alimento) y mediano plazo (peso y condición corporal) sobre ésta característica. En ese sentido, el presente estudio aporta nueva información en cuanto al control diferencial de los componentes anteriores, sobre la expresión de estacionalidad reproductiva en el macho caprino.

## **VI CONCLUSIONES**

El estado nutricional puede influenciar la expresión de la estacionalidad reproductiva en machos caprinos criollos mantenidos bajo un fotoperiodo tropical. Las señales o claves de corto plazo asociadas con un incremento temporal en el consumo de energía influyen sobre el crecimiento testicular, mientras que las de mediano plazo, asociadas al plano nutricional e índice de masa corporal influyen sobre la función endocrina testicular y el olor asociado a ésta.

## VII LITERATURA CITADA

- Amann, R.P. 1983. Endocrine changes associated with onset of spermatogenesis in Holstein bulls. *J. Dairy Sci.* 66:2606.
- Amann, R.P., Ganjam, V.K. 1976. Steroid production by the bovine testis and steroid transfer across the pampiniform plexus. *Biol. Reprod.* 15:695.
- Amoah, E.A., Gelaye, S., Guthrie, P., Rexroad, C.E. 1996. Breeding season and aspects of reproduction in female goats. *J. Anim. Sci.* 74:723-728.
- Arbiza, A.S. 1986. Producción de caprinos. AGT Editor S.A. México. pp 77-114.
- Aréchiga, C.F., Aguilera, J.I., Rincón, R.M., Méndez de Lara, S., Bañuelos, V.R., Meza-Herrera, C.A. 2008. Situación actual y perspectivas de la producción caprina ante el reto de la globalización. *Trop. Subtrop. Agroecosys.* 9:1-14.
- Arendt, J., Symons, A.M., English, J., Puolton, A., Tobler. 1988. How does melatonin control seasonal reproductive cycles? *Reprod. Nutr. Dévelop.* 28:387-397.
- Barrell, G.K., Thrun, L.A., Brown, M.E., Viguié, C., Karsch, F.J. 2000. Importance of photoperiodic signal quality to entrainment of the circannual reproductive rhythm of the ewe. *Biol. Reprod.* 73:769-774.
- Boyd, G.W., Corah, R. 1988. Effect of sire and sexual experience on serving capacity of yearling beef bulls. *Theriogenology.* 29:779.
- Cantú, R.E., Colín, N.M., Contreras, M., García, J. 1989. Estudios sobre la estacionalidad reproductiva de los machos caprinos de las razas Saanen y Alpina. En: Memorias de la V Reunión Nacional sobre Caprinocultura. Zacatecas, Zac., México. p.67.
- Castilla León, G.A.E. 2006. Comparación del comportamiento reproductivo en machos caprinos de diferentes razas durante la transición hacia la estación reproductiva. Tesis de Maestría. FES Cuautitlán-UNAM, México.

- Constantino, D., Valencia, J., Galván, A., Bustamante, G. 1982 Observaciones sobre el aparato reproductivo en cabras gestantes sacrificadas en el rastro. *Vet. Méx.* 13:1-5
- Courot, M., Ortavant, R. 1981. Endocrine control of spermatogenesis in the ram. *J. Reprod. Fertil. Suppl.* 30:47.
- Cruz-Castrejón, U., Veliz, F.G., Rivas-Muñoz, R., Flores, J.A., Hernández, H., Duarte, M.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. *Téc. Pec. Méx.* 45 (1):93-100.
- Curlewis, J.D.(1992. Seasonal prolactin secretion and its role in seasonal reproduction: a review. *Reprod. Fert. Dev.* 4:1-23.
- Chemineau, P. 1992. Medio ambiente y reproducción animal. *Rev Mund. Zoot., FAO,* 77: 2- 14.
- Chemineau, P., Daveau, A., Cognié, Y., Aumont, G., Chesneau, D. 2004. Seasonal ovulatory activity exists in tropical Creole female goats and Black Belly ewes subjected to a temperate photoperiod. *BMC Physiol.* 4:12-23.
- Chemineau, P., Guillaume, D., Migaud, M., Thiéry, J.C., Pellicer-Rubio, M.T., Malpoux, B. 2008. Seasonality of reproduction in mammals: intimate regulatory mechanisms and practical implications. *Reprod. Dom. Anim.* 43 (Suppl. 2); 40-47.
- Chemineau, P., Pelletier, J., Guérin, Y., Colas, G., Ravault, J.P., Touré, G. 1988. Photoperiodic and melatonin treatments for the control of seasonal reproduction in sheep and goats. *Reprod. Nutr. Develop.* 28:409.
- Chenoweth, P. J. 1981. Libido and mating behavior in bulls, boars and rams: A review. *Theriogenology.* 16:155.
- Chenoweth, P. J. 1983. Sexual behavior of the bulls: a review. *J. Dairy. Sci.* 66:173.

- Dadoune, J.P., Demoulin, A. 1993. Structure and function of the testis. In: Reproduction in mammals and man, Edited by Ch Thibault, MC Lavoisier and RHF Hunter. Ellipses, Paris.
- Daza, A. 2004. Ganado caprino: producción, alimentación y sanidad. Madrid. Editorial Agrícola Española.
- Delgadillo, J.A. 2011. Environmental and social cues can be used in combination to develop sustainable breeding techniques for goat reproduction in the subtropics. *Animal*, 5: 74-81.
- Delgadillo, J.A., 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., Cortez, M.E., Duarte, G., Chemineau, P., Malpoux, B. 2004. Evidence that the photoperiod controls the annual changes in testosterone secretion, testicular and body weight in subtropical male goats. *Reprod. Nutr. Dev.* 44(3): 183-93.
- Delgadillo, J. A., Flores, C.J.A., Véliz, D.F.G., Duarte, M. G., Vielma, S. J., Poindron, M. P., Malpoux, B. 2003. Control de la reproducción de los caprinos del subtrópico mexicano utilizando tratamientos fotoperiódicos y efecto macho. *Vet. Méx.* 34 (1):69-79.
- Devendra, C.D. 1991. Milk and kid production from dairy goats in developing countries. Proceedings of the 23rd International Dairy Congress (Montreal, Canada) 1: 327.
- 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. *Dom. Anim. Endocr.* 8, 35 (4): 362-370.
- D'Ochio, M. J., Suttie, J.M. 1992. The role of pineal gland melatonin in reproduction in male domestic ruminants. *Anim. Reprod. Sci.* 30:135.

- Esquivel, M.H., Torres, A.F., Montes, P.R. 1992. Estacionalidad reproductiva de las cabras bajo condiciones del trópico subhúmedo. Memoria: Reunión Nacional de Investigación Pecuaria. Chihuahua, México. 246 p.
- Estrada-Cortés, E., Vera-Avila, H.R., Urrutia-Morales, J., Villagómez-Amezcu, E., Jiménez-Severiano, H., Mejía-Guadarrama, C.A., Rivera-Lozano, M.T., Gámez-Vázquez, H.G. 2009. Nutritional status influences the expression of reproductive seasonality in creole goats: I. Ovarian activity during seasonal reproductive transitions. *Anim. Reprod. Sci.* 116:282-290.
- Ganong, W. F. 1994. Fisiología Médica. 14a edición. El manual moderno. México.
- Gnessi, L., Fabbri, A., Spera, G. 1997. Gonadal peptides as mediators of development and functional control of the testis: an integrated system with hormones and local environment. *Endocrine reviews.* 18 (4): 541-609.
- Goyal, H.O., Memon, M.A. 2007. Clinical reproductive anatomy and physiology of the buck. In: *Current Therapy in Large Animal Theriogenology* (Chapter 64). Editors R.S. Youngquist & W.R. Threlfael. W.B. Saunders Company.
- Gutiérrez, J., 1979. Comportamiento y eficiencia reproductiva en cabras en la región central del estado de Chihuahua. Boletín No. 17. Centro de Investigación y Fomento Pecuario. Facultad de Zootecnia. UACH. Chihuahua, México.
- Guerra, G.M., Meza, H.C.A., Sánchez, T.M., Gallegos, S.J., Torres, H.G., 2009 Pro MA. IGF-I y actividad ovárica de cabras en condición corporal divergente y con un suplemento de proteína no degradable en rumen. *Agrociencia*; 43:241-247.
- Hall, P. F., Knobil, E., Neill, J. 1988. Testicular steroid synthesis: organization and regulation. *The physiology of Reproduction.* Raven Press, Ltd., New York.
- Hernández, R. M., Menéndez, M. 1994. Pruebas de libido y colección seminal en caprinos. XIV Congreso Panamericano de Ciencias Veterinarias. pp 296.

- Herrera, H.J.G. 1999. Memoria: La cabra criolla en México. Generalidades y Propuesta de un Programa de Selección. Colegio de Posgraduados. Montecillo, Texcoco, México. 1-15p.
- Honhold, N., Petit, H., Halliwell, R.W. 1991. Trop. Anim. Health Prod. p.p.21:121-123.
- INEGI. 2010. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Censo de población y vivienda. Comunicado 164/11
- Islam, A.B.M.M., Land, R.B. 1977. Seasonal variations in testis diameter and sperm output of rams breeds of different prolificity. *Anim. Prod.* 25: 311-317.
- Jenkinson, D.M., Blackburn, P.S., Proudfoot, R. 1967. Seasonal changes in the skin glands of the goat. *Brit. Vet. J.* 123 541-549.
- Jeong, K., Kaiser, U.B. 2006. Gonadotropin-releasing hormone regulation of gonadotropin biosynthesis and secretion. En Knobil and Neill's Physiology of Reproduction, 3rd Edition, Elsevier, pp 1635-1701.
- Johnson, L. Thompson. 1983. Age - Related and seasonal variation in the Sertoli cell population, daily sperm production and serum concentrations of follicle stimulating hormone, luteinizing hormone and testosterone. *Biol. Reprod.* 29:777.
- Karabulut, A. K., Layfield, R., Pratten, M.K. 1999. Effects of prolactin in embryogenesis – links to growth factors. *Cells Tissues Organs* 164, 2-13.
- Kemper-Green, N., Oman, J. S., Savell, J.W., Waldron, D. F., Johnson, L., Welsh Jr, T. H. 1995. Histological and morphometric comparison of testes from Spanish x Spanish and Boer x Spanish goats maintained on pasture or in a feedlot. *J. Anim. Sci.* 73 (Suppl 1):228.
- Lincoln, G.A., Burger, H., Kretser, D. 1989. Seasonal aspects of testicular function. The testis. Pp. 329-385. USA.

- Lincoln, G.A. 1989. Seasonal aspects of testicular function. En: H. Burger and D. de Kretser. The testis. Second edition. Pp. 329-385. Raven Press, Ltd. USA.
- Lunstra, D., Laster, D.B. 1982. Influence of single sire and multiple natural mating on pregnancy rate of beef heifers. *Theriogenology*. 18:373.
- Malpoux, B., Migaud, M., Tricoire, H., Chemineau, P. 2001. Biology of mammalian photoperiodism and the critical role of the pineal gland and melatonin. *J. Biol. Rhythms*. 16:336-347.
- 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., Walkden-Brown, S.W. 1995. Nutritional influences on reproduction in mature male sheep and goats. *J. Reprod. Fert., Suppl.*, 49: 437-449.
- Martin, G.B., Tjondronegoro, S., Blackberry, M.A. 1994. Effects of nutrition on testicular size and the concentration of gonadotrophins, testosterone and inhibin in plasma of mature male sheep. *J. Reprod. Fert.* 101: 121-128.
- Martin, G.B., Tjondronegoro, S., Boukhliq, R., Blackberry, M.A., Briegel, J.R., Blache, D., Fisher, J.A., Adams, N.R. 1999. Determinants of the annual pattern of reproduction in mature male Merino and Suffolk sheep: modification of endogenous rhythms by photoperiod. *J.Reprod. Fert. Dev.* 11(6):355-66.
- Martinet, L., Mondain-Monval, M. 1993. Seasonal reproduction and photoperiod. *Reproduction in Mammals and Man*, Ed. Elipses. París. Pp.605-626.
- Mellado, M., Foote, R.H., Gomez, A. 1991. Reproductive efficiency of Nubian goats throughout the year in northern Mexico *Small Ruminant Research* 6:151-156.
- Memon, M.A., Mickelsen, W.D., Goyal, H.O. 2007. Examination of the reproductive tract and evaluation of potential breeding soundness in the buck (Chapter 65). In: *Current Therapy in Large Animal Theriogenology* (Chapter 64). Editors R.S. Youngquist & W.R. Threlfael. W.B. Saunders Company.

- Mora, O., Vera-Ávila, H.R., Shimada, A. 2007. Mecanismos celulares y endocrinos afectados por la subnutrición en pequeños rumiantes. *Ciencia Veterinaria* Vol. 10: 107-135.
- Muduuli, D. S., Sanford, L.M., Palmer, W.M ., Howland, B.E. 1979. Secretary patterns and circadian and seasonal changes in luteinizing hormone, prolactin and testosterone in the male pygmy goat. *J. Anim. Sci.* 49:543.
- NRC 2007. Nutrient requirements for small ruminants. National Research Council. The National Academic Press. Washington, USA.
- Pérez, B., Mateos, E. 1995. Seasonal variations in plasma testosterona levels in Verata and Malagueña bucks. *Small Ruminat Res*, 15: 155-162.
- Pérez, B., Mateos, E. 1996. Effect of photoperiod on semen production and quality in bucks of Verata and Malagueña breeds. *Small Ruminat Res*, 22: 163-168.
- Perkins, A., Fitzgerald, J.A. 1992. Luteinizing hormone, testosterone, and behavioral response of age-oriented rams to estrous ewes. *J. Anim. Sci.* 70: 1787-1794.
- Ritar, A.J. 1991. Seasonal changes in LH, androgens and testes in male Angora goat. *Theriogenology* 36:959-972.
- Romero, P.J. 2004. Programa de Investigación e Innovación Tecnológica de la Cadena Alimentaria de Carne y Leche de Caprinos. Memoria: XIX Reunión Nacional Sobre Caprinocultura. Acapulco, Gro, México. 78-89p.
- Roca, J., Martínez, E., Sánchez-Valverde, E., Ruiz, S., Vázquez, J. 1992. Seasonal variations of semen quality in male goats; study of sperm abnormalities. *Theriogenology*. 38:115.
- Rommerts, F.F.G., Van der Molen, H.J. 1989. Testicular steroidogenesis. En H. Burger and D. de Kretser (Ed.) *The testis* (2nd Ed.) Raven Press, Ltd., USA

- Saez, J.M. 1994. Leydig cells: endocrine, paracrine and autocrine regulation. *Endocrine Reviews* 15(5):574-626.
- SAGARPA, 2007. Programa Nacional Pecuario 2007- 2012.
- Salinas, G.H., Ávila, J.L., Falcón, R.J.A., Flores, R.R.T. 1991. Factores Limitantes en el Sistema de Producción de Caprinos en Zacatecas, México. Turrialba. Vol. 41. No. 1. 48-52 p.
- SAS 2007 JMP. Version 7.0.1 (Academic). SAS Institute Inc., Cary NC, EEUU.
- Sanford, L.M., Baker, S.J. 2010. Prolactin regulation of testosterone secretion and testes growth in DLS rams at the onset of seasonal testicular recrudescence. *Reproduction* 139: 197-207.
- Schally, A.V., Arimura, A., Kastin, A.J., Matsuo, H., Baba, Y., Redding, T.W., Nair, R.M.G., Debeljuk, L., Whie, W.F. 1971. Gonadotropin-releasing hormone: one polypeptide regulates secretion of luteinizing and follicle-stimulating hormones. *Science*. 173:1036.
- Schanbacher, B.D. 1979. Relationship of in vitro gonadotropin binding to bovine testes and the onset of spermatogenesis. *J. Anim. Sci.* 48:591.
- Shelton, M., 1978. Reproduction and Breeding of Goats. *J. Dairy Sci.* 61:994-1010.
- Shelton, M., 1991. Management of reproduction in the goat. VII Reunión nacional sobre caprinocultura. Monterrey N. L. México. 168-184.
- Silva, E., Galina, M.A., Palma, J.M., Valencia, J. 1998. Reproductive performance of Alpine dairy goats in a semi-arid environment of Mexico under continuous breeding system. *Small. Ruminat. Res.* 27:79-84.
- Skinner, M.K. 1991. Cell-cell interactions in the testis. *Endocrine Reviews* 12 (1):45-77.

- Tanaka, T., Yamaguchi, T., Kamomae, H., Kaneda, H. 2003. Nutritionally induced weight body loss and ovarian quiescence in Shiba goats. *J. Reprod. Dev.* 49(1):113-119.
- Thiéry, J.C., Chemineau, P., Hernandez, X., Migaud, M., Malpoux, B. 2002. Neuroendocrine interactions and seasonality. *Dom. Anim. Endoc.* 23:87-100.
- Urrutia, M.J., Díaz, G.M.O., Gámez, V.H., Rivera, L.M.T., Vera, Á.H., Villagómez-Amezcu, M.E. 2008. Effect of continual presence of the male on seasonal variation of reproductive activity in crossbred Nubian goats under tropical photoperiod. In: 9th International Conference on Goats. International Goat Association, Queretaro, Mexico, August, 31th p-252 (abstract).
- Valencia, J., Zarco, L., Ducoing, A., Murcia, C., Navarro, H. 1990. Breeding season of Criollo and Granadina goats under constant nutritional levels in the Mexican highlands. In: Livestock Reproduction in Latin America. International Atomic Agency, Viena, Austria. pp-321-333.
- Vera-Avila, H.R. 1996. *Acacia berlandieri* (Guajillo) consumption, effects on pituitary, adrenal and testis function male Angora goats . Ph. D. Dissertation, Texas A and M University, USA.
- Vilar, H., Vera, A.H.R., González, P.E., López, O.R., Domínguez, A.G., Jiménez, S.H. 2009. Comparisson of different *in vivo* estimators of body fat and muscle content in adult creole goats. *Trop Subtrop Agroecosys* 11:95-97.
- 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 odour in Australian cashmere goats. *J. Reprod. Fertil.* ;102:351–360.

