

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



LA CONDICIÓN CORPORAL DE LAS CABRAS MULTIRRACIALES  
SOMETIDAS AL EFECTO MACHO INFLUYE SU RESPUESTA  
CONDUCTUAL, ESTRAL, OVÁRICA Y REPRODUCTIVA

Tesis

Que presenta ALEJANDRO SANTOS ALVARADO

como requisito parcial para obtener el Grado de  
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

Torreón, Coahuila

Diciembre, 2022

LA CONDICIÓN CORPORAL DE LAS CABRAS MULTIRRACIALES  
SOMETIDAS AL EFECTO MACHO INFLUYE SU RESPUESTA  
CONDUCTUAL, ESTRAL, OVÁRICA Y REPRODUCTIVA

TESIS

Elaborada por ALEJANDRO SANTOS ALVARADO como requisito parcial para  
obtener el grado de Maestro en Ciencias en Producción Agropecuaria con la  
supervisión y aprobación del Comité de Asesoría

\_\_\_\_\_  
Dra. Ma. De los Ángeles de Santiago Miramontes  
Asesor Principal

\_\_\_\_\_  
Dr. Oscar Ángel García  
Asesor

\_\_\_\_\_  
Dra. Dalia Ivette Carillo Moreno  
Asesor

\_\_\_\_\_  
Dra. Ma. Guadalupe Calderón Leyva  
Asesor

\_\_\_\_\_  
Dra. Dalia Ivette Carillo Moreno  
Jefe del departamento de Postgrado

\_\_\_\_\_  
Dr. Antonio Flores Naveda  
Subdirector de Postgrado

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A mis padres:**

Sra. María Alvarado Ibarra y el Sr. Leonardo Santos Mejía gracias por su apoyo incondicional, amor y consejos a lo largo de mi vida.

### **A mis hermanos:**

Muchas gracias por el apoyo tanto en lo familiar, como en lo académico.

### **A mis hijos:**

Romina y Santiago que son mayor motivación para salir adelante, todos mis logros se los dedico a ustedes, los amo.

### **Dra. Ma. De los Ángeles de Santiago Miramontes:**

Muchas gracias su tiempo dedicado hacia mi formación dentro del posgrado y por compartirme sus conocimientos y experiencia en la materia.

### **A mi comité de asesores:**

Porque siempre estuvieron en la mejor disposición de ayudarme a realizar esta tesis.

### **Al Sr. Horacio Hernández y familia:**

Muchas gracias por facilitarme y permitir trabajar con sus animales, gracias por su gran hospitalidad.

### **A Julia Morales y Fernanda Pimentel:**

Muchas gracias por su apoyo incondicional tanto en el experimento como en la elaboración de esta tesis.

### **A mis compañeros de maestría:**

Citlally Moreno y Guillermo Morillón gracias por su amistad y gran compañerismo durante los dos años de maestría.

## ÍNDICE GENERAL

Índice de figuras.....	vi
Índice de cuadros.....	vii
RESUMEN.....	viii
ABSTRACT.....	ix
1.- INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. HIPÓTESIS.....	2
1.2. OBJETIVO GENERAL.....	2
1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Generalidades de la caprinocultura a nivel mundial, nacional y regional.....	3
2.2. Estacionalidad reproductiva.....	5
2.3. Moduladores de la actividad reproductiva.....	6
2.3.1. Relaciones socio-sexuales.....	6
2.3.2. Efecto macho.....	7
2.3.3. Efecto hembra.....	7
2.3.4. Efecto de la alimentación.....	8
2.4. Efecto de la condición corporal en algunos parámetros reproductivos de las cabras.....	11
2.4.1. Influencia de la alimentación en el efecto macho y la tasa ovulatoria.....	11
2.4.2. Al empadre en la fertilidad y en la tasa ovulatoria.....	14
2.4.3. En la implantación embrionaria después del empadre.....	15
2.4.4. En la conducta sexual de hembras y machos.....	17
2.4.5 En la prolificidad.....	19
2.4.6. Efecto del estado corporal sobre el tamaño o diámetro de las estructuras ováricas.....	20
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
3.1. General.....	22
3.2. Descripción de la ubicación y condiciones ambientales.....	22
3.4. Tratamientos.....	22

<b>3.5. Variables de respuesta</b> .....	23
<b>3.5.1. Comportamientos sexuales de hembras y macho</b> .....	23
<b>3.5.2. Respuesta al estro</b> .....	23
<b>3.5.3. Desarrollo folicular y ovulación</b> .....	23
<b>3.5.4. Gestación, nacimientos y prolificidad</b> .....	24
<b>3.6. Análisis estadístico</b> .....	24
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	24
<b>4.1. Comportamientos sexuales</b> .....	24
<b>4.2. Estructuras ováricas</b> .....	25
<b>4.3. Gestación</b> .....	27
<b>5. CONCLUSIÓN</b> .....	30
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	31

## Índice de figuras

Figura 1. Producción de carne en canal (Toneladas) (SIAP, 2021).....	4
Figura 2. Producción litros de leche (Toneladas) (SIAP, 2022).....	5
Figura 3. Los estímulos ambientales en la reproducción operan a través de una variedad de vías, muchas de las cuales afectan en última instancia la pulsatilidad de la GnRH (Tomado de Martin et al., 2004). .....	8
Figura 4. Efectos agudo, dinámico y estático de la nutrición en la tasa ovulatoria (Adaptada de Scaramuzzi et al., 2006). .....	10
Figura 5 Comportamientos sexuales (número $\pm$ EEM) entre hembras y machos en dos grupos con CC alta (ACC: n = 22) o baja (BCC n = 26) de cabras multirraciales en el noreste de México .....	25

## Índice de cuadros

Tabla 1 Mínimos cuadrados significa $\pm$ error estándar de la media (SEM) de las características foliculares en dos grupos: CC alta (ACC: n = 22) o baja (BCC: n = 26) de cabras multirraciales en el árido noreste de México. ....	25
Tabla 2 Mínimos cuadrados $\pm$ error estándar de la media para la respuesta estral y luteogénesis, en dos grupos: CC alta (ACC n = 22) o CC baja (BCC n = 26) de cabras multirraciales en el noreste de México. ....	26
Tabla 3 Mínimos cuadrados $\pm$ error estándar de la media en dos grupos: CC alta (ACC n = 22) o baja (BCC n = 26) de cabras multirraciales en el noreste de México. ....	27

## RESUMEN

### LA CONDICIÓN CORPORAL DE LAS CABRAS MULTIRRACIALES SOMETIDAS AL EFECTO MACHO INFLUYE SU RESPUESTA CONDUCTUAL, ESTRAL, OVÁRICA Y REPRODUCTIVA

ALEJANDRO SANTOS ALVARADO

Para obtener el grado el grado de Maestro en Ciencias en Producción  
Agropecuaria

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna

Dra. Ma. De los Ángeles de Santiago Miramontes

Directora de tesis

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de BCS sobre el tamaño de las estructuras ováricas, la intensidad de los comportamientos sexuales de hembras y machos, así como la respuesta estral, ovulatoria y reproductiva de dos grupos de cabras en pastreo. El estudio se llevó a cabo en el noreste de México. Se eligieron cuarenta y ocho hembras con condición corporal opuesta (CC) y se formaron 2 grupos: CC baja (LBCG;  $1,0 \pm 0,2$ ;  $n=26$ ) o CC alta (HBCG;  $2,5 \pm 0,9$ ;  $n=22$ ). En las hembras, los comportamientos sexuales de olfateo anogenital recibido, huidas y movimiento de la cola difirieron ( $p < 0.05$ ) entre los grupos. Así mismo, aproximaciones e intentos de monta emitidos por los machos ( $p \leq 0.01$ ), con valores superiores para las cabras HBCG. El diámetro y tamaño de los folículos no difirió ( $P > 0,05$ ) entre grupos, con un promedio de  $4,9 \pm 0,3$  mm y  $24,5 \pm 0,05$ ,  $10 \pm 0,05$  y  $38,5 \pm 0,2$  unidades; pequeño, mediano y grande respectivamente. No obstante, el volumen folicular fue mayor ( $p < 0,05$ ) en HBCG. No se registró diferencia en pérdidas fetales y prolificidad ( $p > 0.05$ ) entre grupos. Sin embargo, las cabras HBCG presentaron una mayor tasa de preñez ( $p < 0,05$ ) en el día 45, así como en tasa de partos y número de cabritos nacidos vivos. También existió diferencia ( $P < 0.05$ ) en el porcentaje de hembras que ovularon, número de cuerpos lúteos, tasa de ovulación, diámetro del cuerpo lúteo y volumen de tejido luteal. Estos resultados muestran que una mayor BCS mejora el comportamiento sexual en los machos. y hembras, así como la respuesta estral, ovárica y el comportamiento reproductivo de cabras de pastreo.

Palabras clave: cabras, nutrición, reproducción, estructuras ováricas.

## ABSTRACT

### BODY CONDITION OF MULTIRRACIAL GOATS SUBJECTED TO THE MALE EFFECT INFLUENCES THEIR BEHAVIORAL, ESTRAL, OVARIAN AND REPRODUCTIVE RESPONSE

ALEJANDRO SANTOS ALVARADO

Para obtener el grado el grado de Maestro en Ciencias en Producción  
Agropecuaria

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna

Dra. Ma. De los Ángeles de Santiago Miramontes

Thesis Director

The aim of this study was to evaluate the effect of BCS on the size of the ovarian structures, the intensity of the sexual behaviors of females and males, as well as the estrous, ovulatory and reproductive response of two groups of rangeland goats. The study was carried out in northeastern Mexico. Forty-eight females with the opposite body condition (CC) were chosen and 2 groups were formed: low CC (LBCG;  $1.0 \pm 0.2$ ;  $n=26$ ) or high CC (HBCG;  $2.5 \pm 0.9$ ;  $n=22$ ). In females, the sexual behaviors of received anogenital sniffing, flight, and tail wagging differed ( $p < 0.05$ ) between groups. Likewise, approaches and mounting attempts issued by males ( $p \leq 0.01$ ), with higher values for HBCG goats. The diameter and size of the follicles did not differ ( $P > 0.05$ ) between groups, with an average of  $4.9 \pm 0.3$  mm and  $24.5 \pm 0.05$ ,  $10 \pm 0.05$  and  $38.5 \pm 0.2$  units; small, medium and large respectively. In contrast, the follicular volume was higher ( $p < 0.05$ ) in HBCG. There was no difference in fetal loss and prolificacy ( $p > 0.05$ ) between groups. However, HBCG goats presented a higher pregnancy rate ( $p < 0.05$ ) on day 45, as well as kidding rate and number of kids born alive. There was a difference ( $P < 0.05$ ) in the proportion of ovulating females, number of corpora lutea, ovulation rate, diameter of the corpus luteum and volume of luteal tissue. These results show that a higher BCS improves sexual behavior in males and females, as well as the estral and ovarian response and the reproductive performance of rangeland goats.

Key words: Goats, nutrition, reproduction, ovarian structure

## 1.- INTRODUCCIÓN

La Comarca Lagunera (26° N) está dentro de los primeros lugares a nivel nacional en cuanto a producción de leche de cabra se refiere (Escareño et al., 2013). Esto, derivado a una cruce de razas lecheras entre las cuales se encuentran Saanen, Alpino, Toggenburg y Nubia, las cuales representan un inventario superior a las 400 mil cabezas de cabras a nivel nacional (SIAP, 2021). La estacionalidad reproductiva está determinada por el fotoperiodo y modulada por la nutrición, y las relaciones sociosexuales (efecto macho y efecto hembra). La baja condición corporal en las cabras puede interferir en el retraso a la respuesta del efecto macho a diferencia de la observada en aquellas con buena condición corporal (Mellado, 2008; De Santiago-Miramontes, 2008). Se ha comprobado que en cabras de la Comarca Lagunera la nutrición de las hembras influye en el cambio de la estación reproductiva, peculiaridad del ciclo estral y la tasa ovulatoria (De Santiago-Miramontes, 2009). Por otro lado, Delgadillo y colaboradores (2009), mencionan que las relaciones socio-sexuales tendrían utilidad en la estimulación de la actividad sexual en las cabras que se encuentran en reposo sexual por lo tanto al introducir un macho cabrío con un grupo de hembras en reposo sexual, inducirá la liberación de LH, así comportamientos de estro y ovulaciones durante los primeros cinco días posteriores al primer encuentro entre machos y hembras. En el caso de las cabras del norte de México sería relevante determinar si existe diferencia entre la respuesta estral, ovárica y desempeño reproductivo de las cabras que tienen una mayor condición corporal, por lo anterior, esta investigación se realizó para evaluar el efecto de la condición corporal en cabras multirraciales en el noreste de México expuestas a machos sexualmente activos sobre la respuesta conductual, estral, ovárica y desempeño reproductivo.

### **1.1. HIPÓTESIS**

Una mayor condición corporal en las cabras multirraciales expuestas a machos sexualmente activos, podría mejorar la respuesta conductual, estral, ovulatoria, tamaño de estructuras ováricas y desempeño reproductivo.

## **1.2. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el efecto de la condición corporal en cabras multirraciales en el noreste de México expuestas a machos sexualmente activos sobre la respuesta conductual, estral, ovárica y desempeño reproductivo.

## **1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Determinar el efecto de la condición corporal en cabras multirraciales en el noreste de México expuestas a machos sexualmente activos sobre la intensidad de conductas sexuales en machos y hembras.

Registrar el efecto de la condición corporal en cabras multirraciales en el noreste de México expuestas a machos sexualmente activos sobre su respuesta estral, ovulatoria y el tamaño de las estructuras ováricas.

Comparar el efecto de la condición corporal en cabras multirraciales en el noreste de México expuestas a machos sexualmente activos sobre el desempeño reproductivo.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Generalidades de la caprinocultura a nivel mundial, nacional y regional

La caprinocultura en México, es una práctica realizada por familias rurales de escasos recursos, concentrándose en las regiones áridas y semiáridas del país. Dicho sistema de producción depende del pastoreo en tierras de donde las cabras obtienen su alimentación todo el año (Mellado *et al.*, 2003; Echavarría *et al.*, 2006). Las cabras de latitudes subtropicales y templadas se caracterizan por mostrar una marcada estacionalidad reproductiva (Duarte *et al.*, 2008). Por esta razón la oferta de productos derivados de la cabra (leche y carne de cabrito) también muestran la misma estacionalidad, reduciendo paralelamente un apoyo económico continuo para los productores caprinos (Delgadillo, 2011).

El sistema de producción caprino en México genera cerca de 43´000,000 kg de carne y alrededor de 160´000,000 de litros de leche anuales, más del 70% de esta producción sucede en las zonas áridas y semiáridas y solamente el 25% en los sistemas de producción de leche estabulados (OCDE/FAO (2017). México cuenta con más de 8 millones de cabras (SIAP 2020), y la Comarca Lagunera localizada en el norte de México, se distingue en el sistema de explotación caprino a nivel nacional, y cuenta con alrededor de 400,000 cabezas (SIAP 2020).

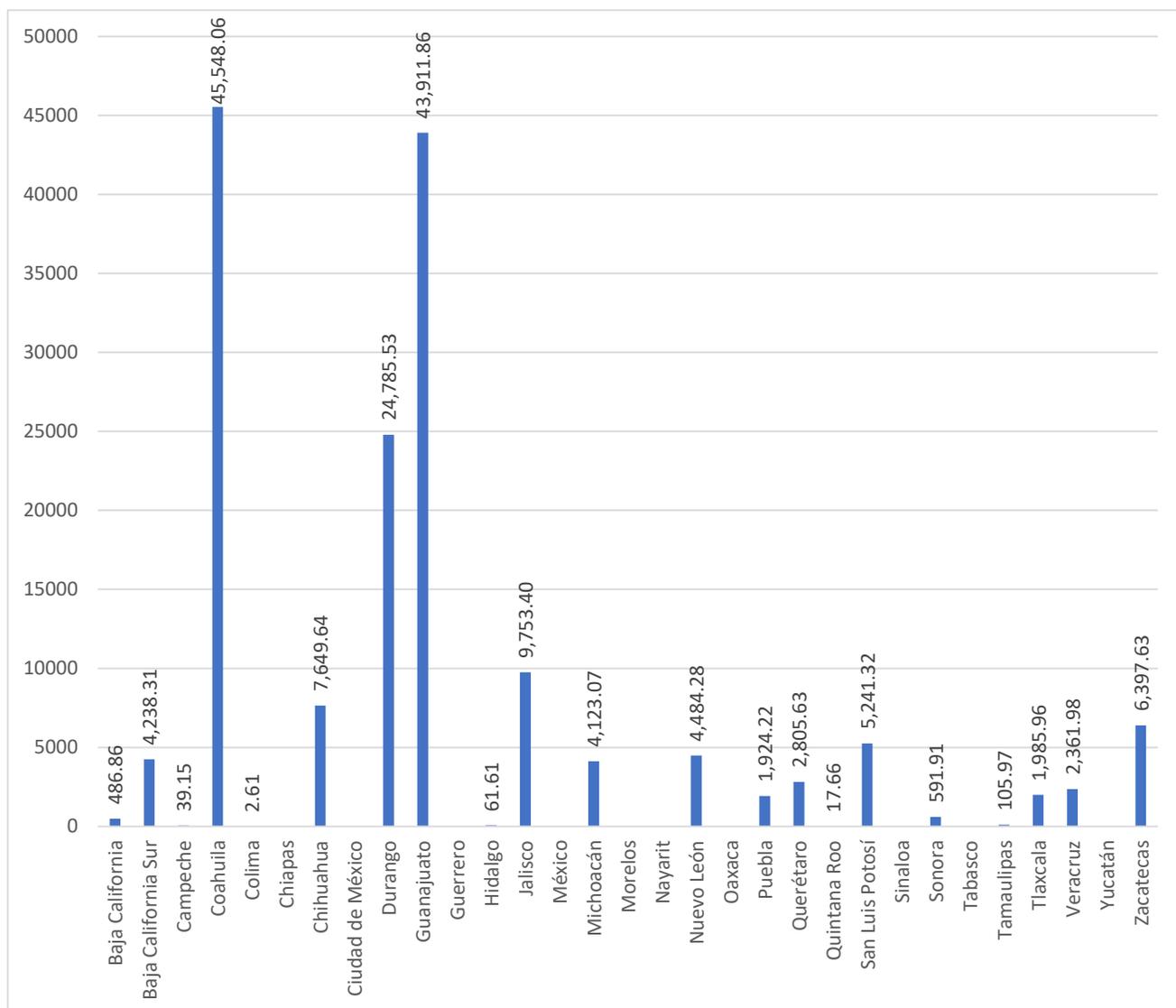


Figura 1. Producción de carne en canal (Toneladas) (SIAP, 2021)

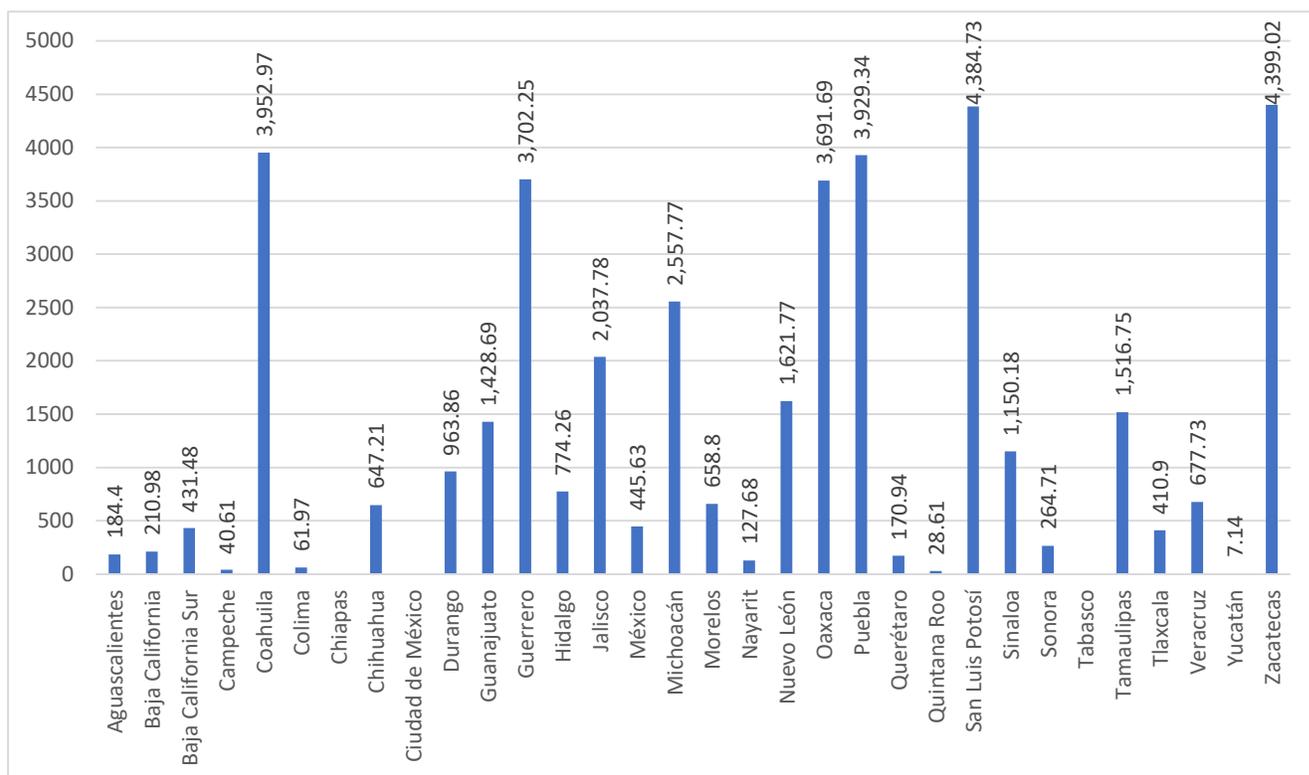


Figura 2. Producción litros de leche (Toneladas) (SIAP, 2022)

## 2.2. Estacionalidad reproductiva

Las cabras son animales poliestrísticos estacionales, es decir, presentan actividad estral solo durante una época específica del año. En regiones templadas la actividad estral inicia al final del verano y continúa hasta el final del invierno (Amoah *et al.*, 1996). La especie caprina muestra una estacionalidad reproductiva y productiva debido a las variaciones de la duración de horas luz, que controla el ritmo endógeno a través de la melatonina que estimula la pulsatilidad de la Hormona Liberadora de Gonadotropinas (GnRH; Chemineau *et al.*, 2010). No obstante, otros factores como la raza, las relaciones socio-sexuales (efecto macho y efecto hembra) y la nutrición actúan como moduladores. Las cabras experimentan un periodo anovulatorio de marzo a mayo, una estación

reproductiva de agosto a febrero y una etapa de transición reproductiva de junio a julio (Alvarado-Espino *et al.*, 2016).

La estacionalidad reproductiva en las cabras se manifiesta con una época de actividad estral durante el otoño/-nvierno (ciclos estrales y ovulatorios contínuos a menos que la hembra quede preñada, o bien la finalización de la época reproductiva que se continúa con la de ausencia de estros y de actividad ovulatoria durante la primavera/verano (anestro). Este ritmo de ciclicidad o se rige los cambios de días largos del verano y los días cortos del otoño-invierno (Chemineau *et al.*, 2008). El fenómeno arriba descrito, se puede interpretar también como un mecanismo de adaptación que han desarrollado algunos animales en el proceso de la selección natural, como una estrategia de supervivencia de la progenie para elegir el momento más favorable para que este acontecimiento suceda (Malpoux *et al.*, 1997). Aunado a lo anterior otros factores como las relaciones socio-sexuales y la disponibilidad de alimento modulan el comportamiento estral y reproductivo de las cabras (Jainudeen *et al.*, 2002).

### **2.3. Moduladores de la actividad reproductiva**

#### **2.3.1. Relaciones socio-sexuales**

la reproducción en el sistema caprino permite controlar el periodo de partos, optimizar la prolificidad y aumentar el ritmo del escalamiento genético (Chemineau *et al.*, 1993). Existen métodos variados para inducción al celo y la ovulación en las cabras durante su periodo de inactividad. El "efecto macho" es una práctica eficaz para promover la ovulación en cabras estacionalmente anovulatorias, esta técnica requiere una mínima cantidad de costo y mano de obra y es una alternativa viable para los productores caprinos en sistemas extensivos (Luna Orozco *et al.*, 2012).

#### **2.3.2. Efecto macho**

Este fenómeno en la introducción repentina de un macho sexualmente activo a un hato de cabras anovulatorias, para que induzca y sincronice su actividad conductual, sexual y ovárica en los días posteriores al contacto (Álvarez y Zarco, 2001; Fiol y Ungerfeld, 2012). Por otro lado, Delgadillo *et al.*, en 2003

mencionaron que el contacto entre hembras y machos promueve un incremento en la secreción de LH, que culmina con un pico preovulatorio de dicha hormona, desencadenando la ovulación. Walkden-Brown *et al.*, (1999) mencionan que en las especies domésticas caprina y ovina, el efecto macho es una herramienta indispensable para la manipulación de la temporada de cría ya que tiene bajo costo para la inducción y sincronización reproductiva en las cabras anovulatorias. Las cabras en contacto completo continuamente con machos muestran una conducta de reproducción limitada a una estación del año equivalente al que de observa en las especies totalmente separados de los machos (Chemineau,1993). Este fenómeno socio-sexual precisa de un lapso de aislamiento previo entre hembras y machos, lo que sugiere que estos últimos deben representar un estímulo “intenso y novedoso” (Ramírez y Quintero,2001).

### **2.3.3. Efecto hembra**

Otro fenómeno de bioestimulación sexual conocido en ovejas y cabras se refiere al papel inductor de las hembras, denominado “efecto hembra” (Bouillon *et al.*, 1982). Aunado a lo ya mencionado Carrillo *et al.* en 2014 reportaron que en el norte de México (26°N), la exposición de machos cabríos Alpino-francés a hembras estrogenizadas durante la temporada de reposo reproductivo, el estímulo sociosexual y la comunicación químico-sexual por parte de las hembras hacia los machos incremento los niveles de testosterona en sangre, así como la intensidad de comportamientos sexuales.

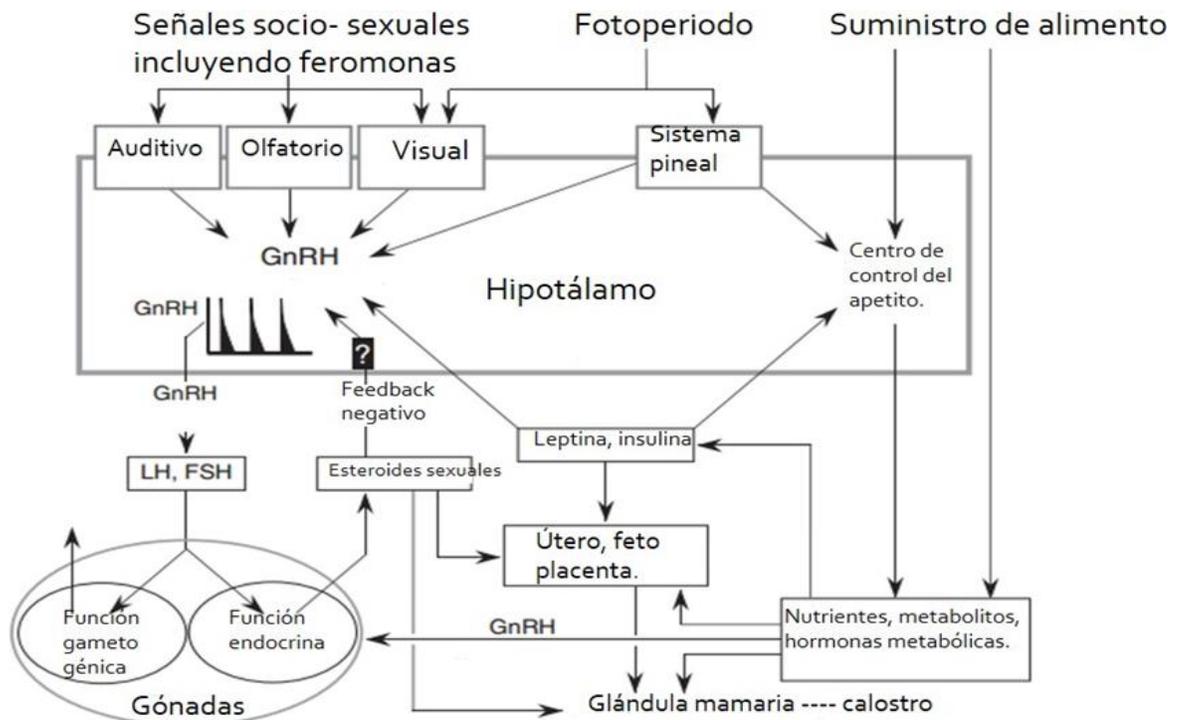


Figura 3. Los estímulos ambientales en la reproducción operan a través de diversas de vías que afectan en última instancia la pulsatilidad de la GnRH (Tomado de Martin et al., 2004).

#### 2.3.4. Efecto de la alimentación

La reducción de los alimentos en los mamíferos tiende a tener una afectación sobre las regiones del hipotálamo y esta a su vez puede afectar la secreción y generación de la glándula hipófisis responsable en los procesos reproductivos (Dunn y Moss, 1992). En las cabras domesticas la limitación de energía contenida en la dieta genera retraso en la aparición, puerperio prologado (Schillo, 1992) y extensión de la falta de estro estacional en cabras cuyo comportamiento sexual se rige por la estacionalidad (Forcada *et al.*, 1992).

La cabra, de la misma manera que la oveja y contrario a la vaca, presenta ovulaciones múltiples, sin embargo, esta característica puede ser modulada por la nutrición. La relación nutrición-reproducción se puede apreciar a través del balance energético. Cuando el requerimiento neto de nutrientes de los animales

es mayor que la ingesta neta de nutrientes, los animales utilizarán sus reservas de energía para cubrir el déficit. Cuando un animal está en este estado, está en “balance energético negativo”. De manera similar, cuando el requerimiento neto de nutrientes es menor que la ingesta neta de nutrientes, el animal almacenará el exceso de nutrientes (como glucógeno y triglicéridos) y/o dispersará el exceso de nutrientes como calor metabólico. Cuando un animal está en este estado está en “balance energético positivo” (Scaramuzzi *et al.*, 2006).

El nivel nutricional influye en los procesos inherentes a la foliculogénesis y tasa de ovulación de los rumiantes mediante fluctuaciones en el peso y la condición corporal.

El efecto de la nutrición en el funcionamiento ovárico está clasificado como:

- 1) Estático o de largo plazo: Las hembras con mayor peso corporal logran una mayor tasa de ovulación (Meza–Herrera *et al.*, 2004, 2007; Scaramuzzi *et al.*, 2006).
- 2) Efecto dinámico o de mediano plazo: Se refiere a cuando aumentos leves en el peso o condición corporal en semanas anteriores y durante periodo de apareamiento incrementan la eficiencia ovárica (Meza–Herrera *et al.*, 2004 y 2008).
- 3) De corto plazo o efecto agudo: se refiere a la aportación de un complemento estratégico proteico o energético que logra tener un efecto positivo en la fisiología reproductiva sin variaciones en el peso o la condición corporal (Scaramuzzi *et al.*, 2006).

Los efectos de la nutrición son influenciados por variaciones en los niveles de metabolitos y los factores de crecimiento (Meza–Herrera *et al.*, 2006). Las concentraciones de hormona del crecimiento (GH) varían en respuesta al estado nutricional ya que puede reducir la síntesis y secreción de FSH y LH e influir en la eficiencia de la reproducción (Scaramuzzi *et al.*, 2006). No obstante, las vías de estos efectos en el comportamiento reproductivo requieren mayores estudios para ser dilucidados (Martin *et al.*, 2004).

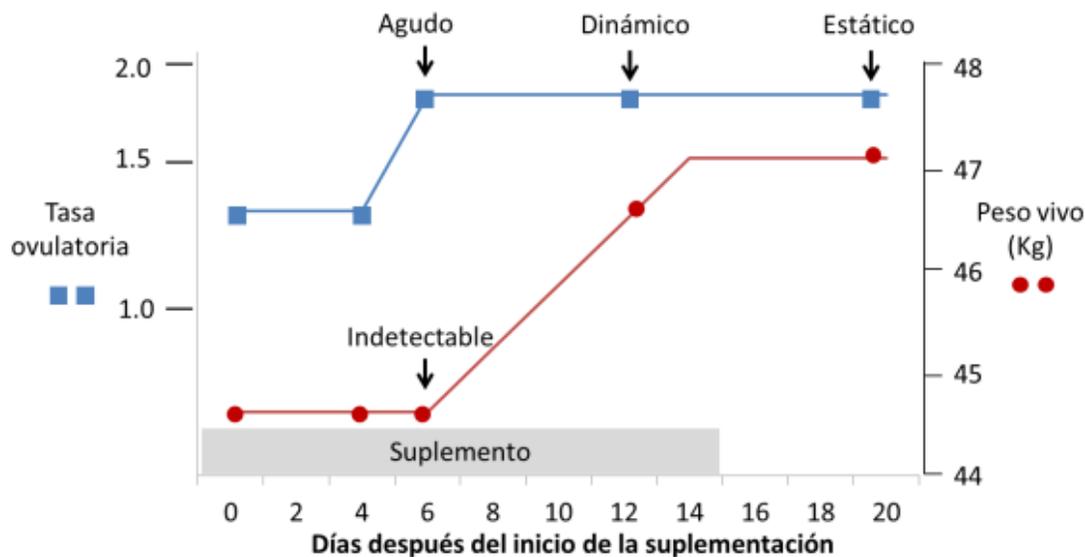


Figura 4. Efectos agudo, dinámico y estático de la nutrición en la tasa ovulatoria (Adaptada de Scaramuzzi et al., 2006).

## 2.4. Efecto de la condición corporal en algunos parámetros reproductivos de las cabras.

### 2.4.1. Influencia de la alimentación en el efecto macho y la tasa ovulatoria

En los sistemas de producción semi-extensivos del norteste de México los empadres se realizan a finales del invierno y durante la primavera, en donde un reducido número de cabras muestran actividad estral (Rivera-Lozano *et al.*, 2011), ocasionando tasas menores de gestación (Mellado *et al.*, 2005; Urrutia-Morales *et al.*, 2012). Para la inducción de la receptividad sexual el uso de tratamientos o sincronización hormonal, se recurre al llamado “efecto macho” (Chemineau *et al.*, 2000; Delgadillo *et al.*, 2015). Se ha demostrado que una estrategia nutricional modifica positivamente la sensibilidad de las hembras anovulatorias a la estimulación de los machos (Mellado et al., 1994; Restall *et al.*, 1994; Urrutia *et al.*, 2003; Gallego Calvo *et al.*, 2015, De Santiago-Miramontes *et al.*, 2009). El peso y la condición corporal de las hembras caprinas pueden ofavorecer notablemente la respuesta al efecto macho (Veliz et al., 2006; Vélez

*et al.*, 2012). Veliz *et al.*, 2006 demostraron que la respuesta es más alta en cabras con mayor peso y condición corporal (Urrutia *et al.*, 2003).

En cabras multirraciales del noreste de México en manejo en semi-extensivo, la suplementación alimenticia una semana previa a la introducción de los machos incrementó el porcentaje de cabras en celo (55.17% vs 44.83%) y la tasa de ovulación ( $1.0 \pm 0.2$  vs  $1.6 \pm 0.2$ , hembras no suplementadas vs. suplementadas respectivamente (De Santiago-Miramontes *et al.*, 2008).

Martin y Blache (2004) reportaron que mediante la práctica de suplementación, se incrementaron aspectos como la producción espermática previa a el apareamiento, la tasa de ovulación, así como la reducción de pérdidas embrionarias tempranas.

Durante los empadres en anestro estacional, usar el efecto macho representa una práctica que permite inducir el reinicio de la actividad ovárica en las hembras (Shelton, 1960; Chemineau, 1983; Walkden-Brown., 1993). Cuando las cabras tienen contacto repentino con un macho, tras un periodo de separación, se estimula la frecuencia de pulsos de LH lo que promueve un pico previo a la ovulación antes de 48 h, esto permite pues, no sólo la estimulación sino la sincronización de los estros y ovulaciones (Chemineau *et al.*, 1986). En las hembras, la primera ovulación en pocas ocasiones se acompañado por comportamiento estral (Chemineau, 1986), sin embargo, el primer estro es detectado hasta los días 7 y 14 días despues del contacto entre hembras y machos (2ª ovualción; Shelton, 1960; Chemineau, 1983; Walkden-Brown, 1993; Skinner Hofmeyr HS, 1969). No obstante, la respuesta de las hembras al efecto macho suele ser muy variable, la condición corporal baja, es uno de los factores que afectan negativamente su respuesta al momento del empadre (Mellado,1994). Diversos estudios han demostrado que la complementación alimenticia previa y durante el efecto macho favorece de manera significativa la respuesta de las cabras a la presencia del macho; asi, cabras con mayores consumos de energía presentan una frecuencia de pulsos de LH incrementada, lo que da origen a una mayor proporción de hembras que ovulan (Restall, 1994).

El peso y condición corporal son señalizadores útiles del estado nutricional de las hembras y de su fertilidad. Aún y cuando la determinación de la condición corporal es subjetiva, ésta es un indicador funcional y efectivo para el manejo alimenticio y reproductivo de las cabras. Los niveles de condición corporal se categorizan del 1 al 5. Para incrementar la eficiencia reproductiva, es importante que las hembras posean una condición corporal entre 2 y 3 unidades al momento del empadre. Una condición corporal superior a 3 no es necesaria, además de que el agostadero natural generalmente es escaso en cantidad y calidad de alimento e imposibilita una mayor condición corporal en dichos animales. Adicionalmente, las cabras deben mantener su buena condición corporal durante la gestación (calificación de 3; Mellado, 2008).

Cabe mencionar que una condición corporal por debajo de 2 durante la gestación repercute disminuyendo el potencial reproductivo de las cabras (Urrutia *et al.*, 2003; Mellado *et al.*, 2004). Gran parte de los rebaños de caprinos en el norte de México tienen su periodo de pariciones durante el verano, lo que significa que durante el periodo de empadre y la gestación las hembras pasan por un periodo de subalimentación durante el invierno. Teniendo en cuenta lo antes mencionado es conveniente revisar la condición corporal de las cabras a los 30 días antes del periodo de monta, y si ésta es menor a 2 entonces debe plantearse la posibilidad de efectuar una complementación alimenticia (Mellado, 2008).

La tasa ovulatoria es influenciada por la nutrición de las cabras sometidas al efecto macho (Lindsay *et al.*, 1975; Rattray *et al.*, 1981). Según estudios realizados por Lassoued y colaboradores en 2004 reportaron que existe una relación entre la tasa ovulatoria y el nivel de alimentación en ovejas D' Man. Por otro lado, Gunn y colaboradores en 1991 observaron una mayor tasa ovulatoria (1.5) en hembras cuya condición corporal era  $\geq 2.75$  en proporción a las hembras con condición corporal de 2.50 (1.3) y que las de  $\leq 2.25$ . (Gunn *et al.*, 1991). En ovejas Booroola Merino se observó que los niveles de alimentación afectan la tasa ovulatoria previa al apareamiento; en ovejas con niveles bajos fue de 2.64,

en nivel medio de 2.87, mientras que en niveles altos alcanzó un 3.01 (Kleemann *et al.*, 1991).

El efecto que el macho produce en las hembras puede verse influenciado de acuerdo al nivel de la alimentación (Wright *et al.*, 1990; Mellado *et al.*, 1994). Los niveles de nutrición en las ovejas y cabras influyen en la respuesta al efecto macho generando un comportamiento estral más intenso y a su vez una mayor proporción de hembras que presentan ovulación. Concordando con lo anterior, Wright *et al.* (1990) observaron que durante un periodo de 14 días en el que las ovejas estuvieron en contacto con los moruecos solo un 70% con nutrición adecuada presentó estro, mientras que el 20% de las hembras con subalimentación fueron detectadas en estro durante el mismo periodo. Khaldi en 1984 reportó que el porcentaje de ovulación en la raza Barbarin puede aumentar hasta el 90% acorde a su nivel de alimentación. Así mismo la ovulación en la raza de ovejas Merino puede alcanzar de 95% a un 79% respectivamente en hembras bien alimentadas y emaciadas (Wright *et al.*, 1990). Por otro lado, Mellado y colaboradores (1994) en sus investigaciones en caprinos encontraron que las hembras con condición corporal adecuada mostraron estro en un periodo de 8 días superando un 78% del hato, sin embargo, en cuanto a las cabras emaciadas solo un 62% presentó estro después de 12 días sometidas al efecto macho.

#### **2.4.2. Al empadre en la fertilidad y en la tasa ovulatoria**

El proceso de la ovulación se ha estudiado por muchos años y se produce principalmente por dos hormonas, la FSH y la LH (Karsh, 1984; Godman, 1988). Así mismo también están involucrados los estrógenos y a progesterona (Downey, 1980; Bindon y Piper, 1984).

Scaramuzzi y colaboradores (2011) afirman que la fecundidad y productividad están determinados por la tasa ovulatoria la cual es controlada en base a la genética, esto nos indica que se puede mejorar en base a la selección, no obstante dicho potencial genético está ligado al régimen nutricional previo al empadre.

Entre las funciones más relevantes de los ovarios en las hembras está la de la liberación y selección de ovocitos maduros que dará como resultado una propagación y fertilización exitosa de las especies (Gougeon, 1996; Greenwald, 1994). Durante la fase fetal ya se encuentra el número de ovocitos en el ovario, todo esto ocurre previo al inicio de la actividad reproductiva de la hembra (Fortune, 1994).

Una buena condición corporal es de suma importancia para que las cabras de un hato sean capaces de realizar sus actividades reproductivas las cuales se logran en base a una buena alimentación (Jimeno *et al.*, 2000). Tal es el caso de la tasa ovulatoria que se ve afectada negativamente en las hembras por una deficiencia de nutrientes (Mani *et al.*, 1992; Abecia *et al.*, 2006).

Se ha demostrado que la concentración de hormonas metabólicas, incluyendo insulina, IGF-I, GH, triyodotironina (T3), tiroxina (T4), ghrelinas, apelinas y adipocinas (leptina, adiponectina, resistina) es influenciada por la suplementación nutricional; la función ovárica se ve afectada por dichas hormonas en rumiantes (Guerra-García *et al.*, 2009; Dupont, Scaramuzzi y Reverchon, 2014). La nutrición impacta la función ovárica en dos rutas una a nivel hipotalámico y otra estimulando a nivel del ovario, dando lugar a la ovulación o inhibiéndola y por ende afectando la tasa ovulatoria (Scaramuzzi y Martin, 2008; Meza-Herrera y Tena-Sempere, 2012).

Una complementación de 4 a 6 días hacia el final del estro pudiera aumentar el número de ovulaciones dobles hasta un 30 % (Viñoles *et al.*, 2005; 2009; Fitz-Rodríguez *et al.*, 2009; Zabuli *et al.*, 2010). Es difícil detectar el momento exacto de la ovulación, por lo tanto es conveniente la suplementación en todo el ciclo (20-22 días) y de esta manera favorecer la respuesta de las hembras (Viñoles *et al.*, 2009). A corto plazo una suplementación de proteína así como de energía pudieran influir en un aumento en la tasa ovulatoria (Burton e Ingold, 1984)

#### **2.4.3. En la implantación embrionaria después del empadre**

En las cabras el embrión en estadio de mórula llegará al útero en un lapso de 4 a 5 días después de la ovulación. Hacia el día 7 ya se observan blastocitos y para

el día 8 se da la eclosión de la zona pelucida. Ya fuera, el blastocito contacta con el útero (Rosas *et al.*,2009). El embrión al llegar el día 12 tiene una elongación en sus membranas trofoblásticas y para el día 14 las paredes uterinas entraran en contacto con el trofoblasto. El interferón-tau (IFN- T) se secretará en su máxima producción al día 15-17 por las células del trofoblasto. El interferón se unirá a los receptores de las células endometriales bloqueando los receptores de los estrógenos y la oxitocina evitando así la síntesis de la PGF2 $\alpha$  (Rosas *et al.*, 2009; Gonella, Grajales y Hernández, 2010). Dicho interferón permite el reconocimiento materno de la preñez a partir del día 15 una vez que el embrión envíe el mensaje antiluteolítico, durante el día 16 ocurrirá la regresión del cuerpo lúteo debido al efecto de la prostaglandina F2 $\alpha$  (Gnatek, Smith, Duby y Godkin, 1989; Gonella *et al.*, 2010).

Una vez que el embrión se encuentra en el útero, producirá estimulaciones al endometrio que darán lugar a una reacción celular de reconocimiento. Para que pueda ocurrir la implantación es necesario que ocurran cambios en el útero como son la disminución de la actividad muscular y tonicidad, pero a su vez el aumento del flujo sanguíneo en el epitelio uterino esto promoverá la fusión endometrio-trofoblasto. La implantación se llevará a cabo alrededor de la cuarta y quinta semana (Rosas, *et al.*, 2009). Uno de los principales problemas en la reproducción en cabras es la perdida fetal, rondando entre el 15% y el 70% la tasa abortiva de las hembras (Falcon *et al.*, 1990; Cepeda *et al.*, 1992; Mellado *et al.*, 2001; 2005).

La deficiencia nutricional en la gestación de las cabras provoca una hipoglucemia (Mellado *et al.*,2004). En hatos caprinos de sistemas extensivos los fetos abortados no se muestran descompuestos ni momificados es por esto que dichos abortos no tienen causa en la disfunción placentaria. Por lo tanto las placentas de las cabras con un déficit en sus reservas corporales de energía en la gestación tendrán un 60% de mayor peso a diferencia de las placentas de las hembras que tengan buena condición corporal (Mellado *et al.*, 2006). Dicha hipertrofia en la

placenta es a causa de la restricción de alimentos dada por el esfuerzo de la cabra para proveer los metabolitos pertinentes al feto (Mellado, 2008).

La hembra durante la gestación y la calidad en su nutrición están íntimamente relacionadas con el crecimiento placentario-fetal (Godfrey y Barker, 2000). En la hembra gestante su nutrición interviene en el desarrollo de las membranas fetales, su tamaño y el óptimo intercambio entre los nutrientes y el feto, que influencia el peso de la cría de manera directa (Vonnahme y Ford, 2004). El peso de las crías al nacimiento y de sus membranas fetales son un indicador de las variaciones de la deficiencia y el aporte de nutrientes al feto durante el desarrollo gestacional.

#### **2.4.4. En la conducta sexual de hembras y machos**

La domesticación de los animales tiene una ventaja dada por el comportamiento sexual lo cual beneficia el desarrollo de un programa de cría, el cual tiene como base usar unos cuantos sementales en un hato caprino, ya que las cabras que se encuentren en celo podrían aparearse con cualquier macho. En la vida libre los animales exhiben su comportamiento reproductivo mediante una estructura social ya determinada, comportamiento territorial lo cual lleva a un eficiente esquema reproductivo. Las conductas de comportamiento sexual son mediadas por estrógenos y testosterona (Hafez, 1989).

En los machos cabríos el comportamiento sexual es de suma relevancia ya que antes de su encuentro con la hembra éste presenta un periodo refractario más estrecho entre eyaculaciones y una mayor frecuencia de las mismas en los machos que se someten por primera vez. El contacto entre parejas sexuales provoca la manifestación del celo y de la ovulación.

Durante el contacto entre hembras y machos, éstas muestran inquietud, agitan la cola rápidamente y con frecuencia, además, ejercen una intensa búsqueda del macho y permanecen muy cerca de ellos. Adicionalmente, disminuyen el apetito y la producción láctea (Jainudeen, *et al.*, 2002).

En la hembra el comportamiento sexual está conformado por tres fases principales: la atractividad, la proceptividad y la receptividad (Fabre-Nys y Gelez, 2007). La primera inicia una vez que la hembra ovina o caprina despierta el interés del macho mediante estímulos inactivamente emitidos por la hembra, que es determinado por el comportamiento del macho una vez que este se aproxima y analiza a la hembra (Gonyou, 1991; Roselli y Stormshak, 2010). El comportamiento estral se intensifica cuando aumentan los niveles de estradiol, antes de la ovulación, esto aumenta la probabilidad de que la hembra sea montada cuando es fértil (Fabre-Nys y Gelez, 2007; Haulenbeek, 2009).

Durante el celo el carnero o el macho cabrío se encuentra en búsqueda de contacto con la hembra utilizando el sentido del olfato las cuales realiza principalmente en el tracto genital y la orina de la misma. La conducta de flehmen se basa en olores en el órgano vomeronasal que serán detectadas en el sistema olfatorio accesorio. Una vez que se presenta el flehmen el macho adoptara diferentes comportamientos en presencia de la hembra como son la posición rígida e inmóvil, nariz extendida, labio superior elevado en reacción al sabor y olor de la orina de la hembra (Haupt, 2010; Perkins y Roselli, 2007; Roselli y Stormshak, 2009).

La atracción sexual en machos cabríos y en carneros hacia la hembra inicia con topeteos, pataleos, balidos e intentos de monta y monta falsa sin intromisión. Existe una diferencia entre ambas especies en el caso de los machos cabrios sucede el automarcaje conducta que se presenta antes o después de los comportamientos de atractividad sexual, esta conducta consiste en que el macho se orina la cara o las barbas. Posteriormente ocurre la monta verdadera o con servicio, su principal característica es el movimiento que se conoce como golpe de riñón (Perkins y Roselli, 2007; Haupt, 2010; Roselli y Stormshak, 2010).

La ovulación antes de las 48 horas puede ocurrir en hembras que presentan anestro si estas son expuestas al macho después de un periodo de separación, esto sucederá debido a un incremento en los pulsos de LH, ocasionando un pico preovulatorio de la misma. (Chemineau *et al.*, 1986). Normalmente el primer ciclo

de ovulación en las cabras no suele ser detectado ya que pueden o no manifestar comportamiento estral, el estro suele ser detectado hasta que ocurre la segunda ovulación posteriormente de haber transcurrido entre una a dos semanas después de que la hembra entra en contacto con el macho. (Shelton M., 1960; Skinner y Hofmeyr, 1969). Se ha demostrado que la condición corporal en las hembras influye significativamente afectando al efecto macho, mientras más baja sea la condición corporal menor será la respuesta hacia este en el momento del empadre (Mellado M. *et al.*, 1994). El cambio, en las dietas de las hembras produce alteraciones de la sensibilidad de éstas en presencia de los machos; entre más energía consuman más aumento habrá en la frecuencia de pulsos de LH lo que propicia a un mayor número de hembras que ovulan como reacción al efecto macho (Restall *et al.*, 1994).

#### **2.4.5 En la prolificidad**

La conducta sexual en los caprinos se verá influenciada por su condición corporal y el nivel de nutrición (Mellado, 2008). Una mejor condición corporal y aumento en el nivel de nutrición en las hembras caprinas antes y durante el empadre dará una respuesta favorable al efecto macho y la prolificidad (Gámez *et al.* 2004).

Monroy y colaboradores en el 2013 realizaron una investigación en 42 cabras criollas divididas en dos grupos( n=21 con condición corporal 2.0 y n=21 con condición corporal 1.0) de las cuales reportaron que las hembras del grupo de condición corporal de 1.0, el 0% presento gestación, por ende tampoco partos ni prolificidad, sin embargo las hembras que presentaban condición corporal 2.0, el 100% quedó gestante en un lapso de 60 días después de la exposición al efecto macho, el 95% parieron (20/21), se obtuvieron 32 crías en total y prolificidad de 1.6, los datos obtenidos fueron diferentes significativamente ( $P < 0.01\%$ ).

En ovejas adultas se sugiere que tengan condición corporal mayor a 3 al momento del empadre y un peso aproximado de 36 a 38 kg, sin embargo, se aconseja que durante este proceso las hembras sigan subiendo de peso ya que beneficiará a tener mejor fertilidad y prolificidad. Se debe monitorear el estado nutricional de las hembras durante la gestación a través de la condición corporal

ya que será de suma importancia al momento del parto para disminuir la tasa de mortalidad en las crías que sucede en los sistemas ganaderos (Montossi *et al.*, 2005).

Ganzabal y colaboradores en el 2002 afirman que cada kilogramo que aumente las ovejas y borregas primíparas de raza Corriedale en el momento del empadre que ocurre durante los meses de marzo y abril eleva entre 1.94 y 1.74 el porcentaje de parición.

Durante un estudio en cabras criollas que presentaban distinta condición corporal y dietas diferentes que para el grupo testigo era solo de mantenimiento mientras que para el grupo tratamiento eran alimentadas con suplementos que contenían 12% de proteína cruda y 2.8 Mcal de energía digestible antes de iniciar el empadre, se demostró que no habían diferencias estadísticas en el momento en que ambos grupos presentaron celo, no obstante las cabras que tenían mejor condición corporal tuvieron mejor fertilidad y prolificidad a diferencia de las de menor condición corporal (Gomez-Vazquez *et al.*, 2004).

#### **2.4.6. Efecto del estado corporal sobre el tamaño o diámetro de las estructuras ováricas**

La oveja y la cabra suelen presentar ovulaciones múltiples a diferencia de las vacas, esta característica se llega a ver afectada si hay una mala nutrición. Sin embargo, la sobrealimentación en las hembras en un periodo de tiempo corto muestra efectos en la tasa ovulatoria, estos pueden alterar la segregación de hormonas, pero sin que se lleguen apreciar cambios en el peso vivo y la condición corporal del animal (Landau *et al.*, 1996).

En ovejas y cabras tanto el desarrollo de folículos y la tasa de ovulación se verá alterada debido a cambios que ocurran en la condición corporal y el peso vivo de las hembras (Meza-Herrera *et al.*, 2004; Scaramuzzi *et al.*, 2006; Meza-Herrera *et al.*, 2007).

Scaramuzzi y colaboradores (2006) reportan que la hormona del crecimiento (GH) y su concentración en sangre varía de acuerdo al estado nutricional,

pudiendo afectar de manera negativa la síntesis y la secreción de gonadotropinas (FSH y LH) y a su vez impactar en la eficiencia reproductiva. No obstante, la relevancia y medios de acción de esos efectos en el comportamiento reproductivo requieren ser más estudiados (Martin *et al.*, 2004).

Teniendo en cuenta que la tasa ovulatoria es uno de los parámetros que nos indica cuantos cabritos nacerán por hembra gestante, se ha estudiado ampliamente que la variación en la condición corporal pudiesen influir en las concentraciones de algunas hormonas metabólicas que alteran la síntesis y/o liberación de gonadotropinas. De igual manera, generarían variaciones en la susceptibilidad ovárica a LH, FSH y a algunos factores de crecimiento que intervienen en el desarrollo folicular e influyen en la tasa ovulatoria (Meza-Herreta *et al.*, 2007).

Gutierrez en el 2001 hace referencia que el crecimiento folicular por un efecto sincronizado de gonadotropinas generando fluctuaciones en la secreción de las mismas originadas en base a la nutrición. Williams y colaboradores en el 2001 indican que la función del ovario se ve afectada por factores como la insulina y glucosamina, así mismo los factores de crecimiento y la leptina causan efectos en el desarrollo de folículos en el ovario.

Por su parte Muñoz-Gutiérrez *et al.* (2002) mencionan que hay evidencia de que existen sistemas ováricos internos que se estimulan en base a cambios en la nutrición de ovinos, así mismo el efecto de los estímulos alimenticios en el ovario son de mayor relevancia que los estímulos producidos por la nutrición sobre la actividad de los núcleos reproductivos del cerebro de las hembras.

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. General**

Todos los procedimientos experimentales, métodos y manejo de unidades de prueba experimentales utilizados en este estudio cumplieron con las normas internacionales (FASS, 2010) y nacionales (NAM) para el uso ético, cuidado y

bienestar de los animales en investigación, 2010), con número de referencia de aprobación institucional UAAAN-UL-18-3059.

### **3.2. Descripción de la ubicación y condiciones ambientales**

El experimento se llevó a cabo en el noreste de México (25° 47' LN, 103° 21' WL, altitud = 1111 msnm). Las precipitaciones pluviales se producen de junio a septiembre con un promedio de 230 mm/año. El fotoperiodo consta de 13:41 h de luz durante el solsticio de verano y de las 10:19 h durante el solsticio de invierno. Esta región tiene un clima seco, la temperatura media anual es de 22.3 °C con una máxima de 42 °C a 0°C en invierno (INEGI, 2015). Todas las cabras se alimentan en la vegetación nativa de la región: gramíneas y arbustos así como residuos de cultivos (INIFAP, 2010). Todas las cabras fueron desparasitadas por vía subcutánea dos meses antes del estudio (Ivermectina 1%, Baymec, Bayer®, CDMX, México) recibieron vitamina A (500,000 UI), D3 (75,000), E (50 mg) (Vigantol: ADE + Selenio®, Zapopan Jalisco México).

### **3.3. Manejo de animales**

De un hato de cabras multirraciales (n = 153), fueron elegidas 48 hembras con gestaciones previas y se diagnosticaron como no preñadas mediante ecografía trans-rectal (Aloka SSD 500 Tokio, Japón; transductor de 7.5 MHz), ambos grupos se alimentaron en pastizales de 10:00 a.m. a 8:00 p.m. y fueron encerrados por la noche en corrales, el agua sales minerales se proporcionaron *ad libitum*.

### **3.4. Tratamientos**

Se eligieron cuarenta y ocho hembras con CC (condición corporal) opuesta, y se formaron 2 grupos con CC baja (BCC) o alta (ACC) considerando una escala de 1 (emaciada) a 4 (obeso; Walkden-Brown et al., 1997). Las cabras del grupo ACC tuvieron una CC de 2,5±0,9 (n=22) y las del grupo BCC tuvieron un CC de 1,0 ± 0,2 (n=26). Se seleccionaron dos machos adultos multirraciales con una puntuación de condición corporal de 2,5 para fecundar las cabras. Los machos recibieron 50 mg de testosterona IM (Testosterone 50, Lab. Brovel®, CDMX, México) en días alternados durante las 3 semanas previas al empadre (Luna-

Orozco et al., 2012). Se administraron veinte mg de progesterona IM a las 48 cabras (Progestelas "E", Lab Aranda, CDMX, México) para inhibir la ocurrencia de ciclos cortos.

### **3.5. Variables evaluadas**

#### **3.5.1. Comportamientos sexuales de hembras y machos**

Estos comportamientos se registraron diariamente durante 8 días (7:00-7:30 am y 8:30-9:00 pm) utilizando un etograma, intercambiando los machos entre los 2 grupos de hembras para observar y registrar el número de comportamientos expresados por los machos hacia las hembras; olfateo anogenital, aproximaciones (apetitivo), intentos de montaje y monta con eyaculación (consumatorio), así como los comportamientos sexuales de las hembras; huidas, aproximación al macho y movimiento de la cola. Una cabra se consideraba en celo cuando permanecía inmóvil en el momento de la cópula (Chemineau *et al.*, 1992).

#### **3.5.2. Respuesta al estro**

A través de los períodos de observación de A.M. y P.M., se obtuvieron la proporción de hembras que presentaron estro, el intervalo al mismo (d<sub>0</sub>; introducción de los machos a cada grupo-tiempo de estro), la duración del estro (h) y el intervalo estro-ovulación.

#### **3.5.3. Desarrollo folicular y ovulación**

Veinticuatro horas antes del d<sub>0</sub>, para confirmar el estado anovulatorio se realizó una ecografía transrectal mediante la localización de los ovarios como lo refieren Ginther y Kot (1994). Se registraron todos los folículos  $\geq 2,0$  mm. Se consideró que una cabra había ovulado cuando los folículos más grandes registrados el día anterior habían desaparecido. Además, los folículos se clasificaron como pequeños (2-3.4 mm), medianos (3.5-4.9 mm) y grandes ( $\geq 5$  mm). La proporción de cabras que presentaron ovulación y la tasa de ovulatoria se determinaron categorizando el tipo de ovulación. El diámetro se determinó mediante la siguiente fórmula:  $d = r \sqrt{2}$ , donde  $r = (L/2 + A/2) / 2$ , donde L= Longitud, y A= Ancho. Y el volumen del tejido lúteo se calculó utilizando la siguiente fórmula:  $3/4 (\pi) r^3$ .

### **3.5.4. Gestación, nacimientos y prolificidad**

Las gestaciones fueron diagnosticadas 45 días después de la ovulación por ecografía transrectal. Asimismo, se registró el número de cabras que parieron, y se determinó el número de crías nacidas vivas, la prolificidad y pérdidas de gestación.

### **3.6. Análisis estadístico**

El diámetro folicular y del cuerpo lúteo, el volumen folicular, el volumen del tejido lúteo, el intervalo en horas entre la introducción de los machos al comienzo del estro y de éste a la ovulación, la duración del estro, la ocurrencia de la ovulación en relación con el inicio del estro, la tasa ovulatoria, el número de crías nacidas vivas y la prolificidad se analizaron con un ANOVA y las medias se compararon con una prueba de Tukey. El número de folículos y su diámetro se evaluaron con una prueba de t-student. El número de comportamientos sexuales (apetitivos y consumatorios) de los machos, y los de las hembras entre los grupos, la proporción de hembras que presentaron estro, que ovularon, tipo de ovulación (simple, doble, triple y cuádruple), hembras gestantes al día 45, tasa de pérdida fetal y cabras que parieron, se compararon con una prueba de chi-cuadrada. Todos los análisis fueron realizados con el paquete estadístico (SPSS ver. 24). La significancia se consideró en  $P < 0,05$ .

## **4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1. Comportamientos sexuales**

Los comportamientos sexuales de olfateo anogenital recibido, huidas y movimiento de la cola de las hembras difirieron ( $p < 0,05$ ) entre los grupos. Asimismo, aproximaciones e intentos de monta emitidos por los machos ( $p \leq 0,01$ ), con valores más altos para el grupo de ACC (Figura 1).

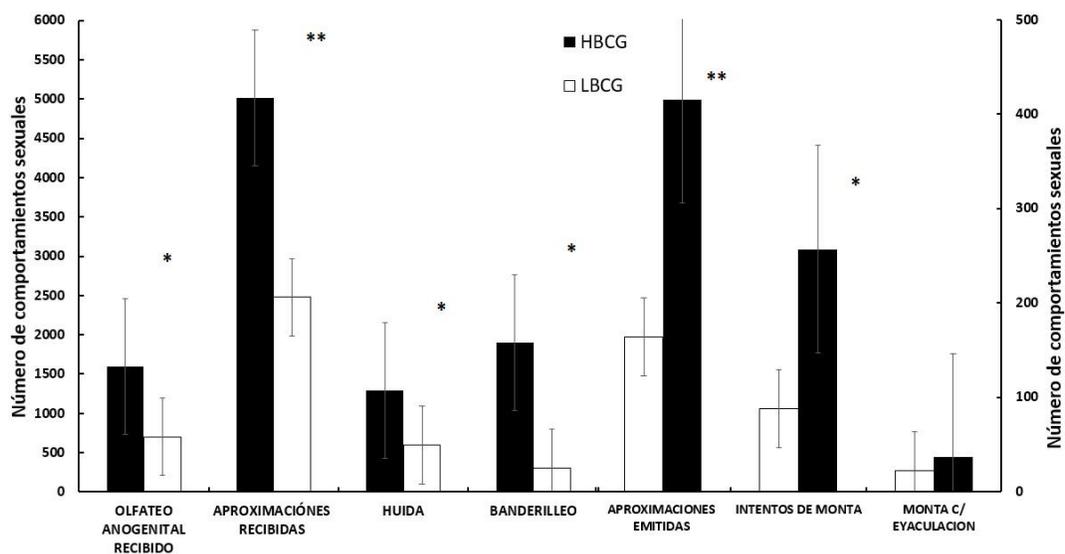


Figura 5 Comportamientos sexuales (número  $\pm$  EEM) entre hembras y machos en dos grupos con CC alta (ACC: n = 22) o baja (BCC n = 26) de cabras multirraciales en el noreste de México.

\* indica diferencia entre los grupos: ( $P \leq 0,05$ ); \*\* ( $P \leq 0,01$ ).

#### 4.2. Estructuras ováricas

El diámetro de los folículos no fue diferente ( $P > 0,05$ ) entre los grupos, con un promedio de  $4,9 \pm 0,3$  mm, (Tabla 1), ni el tamaño de los folículos ( $P > 0,05$ ), con un promedio de  $24,5 \pm 0,05$ ,  $10 \pm 0,05$ , y  $38,5 \pm 0,2$ ; pequeño, mediano y grande respectivamente. En contraste, el volumen folicular fue mayor en ACC ( $p = 0,05$ ).

Tabla 1 Mínimos cuadrados significa  $\pm$  error estándar de la media (SEM) de las características foliculares en dos grupos: CC alta (ACC: n = 22) o baja (BCC: n = 26) de cabras multirraciales en el árido noreste de México.

Tipo de folículos	Grupos experimentales		Valor P
	ACC (n=22)	BCC (n=26)	
Pequeño n (2-3.4mm)	21 $\pm$ 0,06 <sup>a</sup>	28 $\pm$ 0,04 <sup>a</sup>	0.35
Mediano n (3.5-4.9mm)	5 $\pm$ 0,06 <sup>a</sup>	15 $\pm$ 0,04 <sup>a</sup>	0.24
Grande n ( $\geq$ 5mm)	47 $\pm$ 0,2 <sup>a</sup>	30 $\pm$ 0,2 <sup>a</sup>	0.56
Número total de folículos (n)	73 $\pm$ 0,2 <sup>a</sup>	73 $\pm$ 0,1 <sup>a</sup>	0.36
Diámetro promedio (mm)	5,2 $\pm$ 0,3 <sup>a</sup>	4,6 $\pm$ 0,3 <sup>a</sup>	0.45
Volumen promedio (mm) <sup>3</sup>	70,6 $\pm$ 11,2 <sup>A</sup>	50,5 $\pm$ 11,9 <sup>b</sup>	0.05

<sup>a,b</sup>, Las medias con diferentes superíndices dentro de las filas difieren ( $P \leq 0.05$ ).

La CC influyó en los resultados obtenidos en este estudio, mostrando un mayor volumen folicular ( $P < 0,05$ ) en ACC que en BCC (Tabla 1). Sobre el comportamiento del estro, el porcentaje de hembras detectadas en estro, latencia al estro, duración del estro, latencia del estro a la ovulación, proporción de ciclos cortos, cabras con ovulación simple, doble, triple y cuádruple, no hubo diferencia estadística ( $p > 0,05$ ) entre ambos grupos. Sin embargo, si se registró diferencia ( $P < 0.05$ ; Tabla 2) en el porcentaje de hembras que ovularon, número de cuerpos lúteos, la tasa ovulatoria, el diámetro del cuerpo lúteo y el volumen de tejido lúteo. En este sentido, es importante destacar que estas variables de respuesta están estrechamente relacionadas con el proceso de implantación embrionaria, que requiere una sinergia entre estas estructuras ováricas, con el útero y el conceptus (Meza-Herrera et al., 2019), ya que influyen notablemente en la secreción constante de progesterona por parte del cuerpo lúteo (Rostami et al., 2017) para asegurar la gestación durante las primeras semanas (Brooks et al., 2014).

Tabla 2 Mínimos cuadrados  $\pm$  error estándar de la media para la respuesta estral y luteogénesis, en dos grupos: CC alta (ACC n = 22) o CC baja (BCC n = 26) de cabras multirraciales en el noreste de México.

Variables	Grupos experimentales		Valor de p
	ACC (n= 22)	BCC (n=26)	
Hembras que presentaron estro n (%)	16/22 (72,7) <sup>a</sup>	15/26 (57,6) <sup>a</sup>	0.08
Intervalo al estro (h)	245,2 $\pm$ 30 <sup>a</sup>	284,1 $\pm$ 25 <sup>A</sup>	0.23
Duración del estro (h)	21,3 $\pm$ 3,8 <sup>A</sup>	20,5 $\pm$ 4	0.48
Intervalo estro-ovulación (h)	33 $\pm$ 4,1	44 $\pm$ 2,9 <sup>A</sup>	0.76
Hembras con ciclos cortos n (%)	6/22 (27) <sup>a</sup>	7/26 (27) <sup>a</sup>	0.58
Hembras que ovulan n, (%)	18/22 (81,8) <sup>a</sup>	11/26 (42,3) <sup>b</sup>	0.02
Número de cuerpo lúteo	36 $\pm$ 0,1 <sup>A</sup>	17 $\pm$ 0,1 <sup>b</sup>	0.03
Tasa ovulatoria (unidades)	1,61 $\pm$ 0,2 <sup>A</sup>	0,58 $\pm$ 0,2 <sup>b</sup>	0.04
Diámetro del cuerpo lúteo (milímetro)	11,77 $\pm$ 1,1 <sup>a</sup>	5,0 $\pm$ 1,3	0.01
Volumen del tejido lúteo (mm) <sup>3</sup>	678,85 $\pm$ 72,6 <sup>a</sup>	262,9 $\pm$ 73,9	0.02
Tipo de ovulación:			
Simple n (%)	5/18 (27,8) <sup>a</sup>	6/11 (54,5) <sup>a</sup>	0.14
Doble N (%)	9/18 (50,0) <sup>a</sup>	4/11 (36,4) <sup>a</sup>	0.47
triple n (%)	3/18 (16,7) <sup>a</sup>	1/11 (9,1) <sup>a</sup>	0.56
Quadruple n (%)	1/18 (5,6) <sup>a</sup>	0/11 (0,0) <sup>a</sup>	0.42

<sup>a,b</sup>, Las medias con distintos superíndices entre filas difieren ( $P \leq 0.05$ ).

### 4.3. Gestación

Finalmente, no hubo diferencia en las pérdidas fetales y la prolificidad ( $p > 0,05$ ) entre ambos grupos (Tabla 3). Sin embargo, las cabras del grupo ACC presentaron una mayor tasa de gestación al día 45 ( $p < 0,05$ ), cabras que parieron y número de críos nacidos vivos.

Tabla 3 Mínimos cuadrados  $\pm$  error estándar de la media en dos grupos: CC alta (ACC n = 22) o baja (BCC n = 26) de cabras multirraciales en el noreste de México.

Variables	Grupos experimentales		Valor p
	ACC	BCC	
	(n= 22)	(n=26)	
Hembras gestantes al día 45 n (%)	18/22 (81,8) <sup>a</sup>	11/26 (42,3) <sup>b</sup>	0.05
Tasa de pérdida fetal n (%)	2/18 (11.1) <sup>a</sup>	3/11 (27.3) <sup>a</sup>	0.26
Cabras que parieron n (%)	16/22 (72,7) <sup>a</sup>	8/26 (30.8) <sup>b</sup>	0.03
Número de críos nacidos vivos	29 $\pm$ 0,1 <sup>A</sup>	13 $\pm$ 0,2 <sup>b</sup>	0.01
Prolificidad	1.8 <sup>a</sup>	1.6 <sup>a</sup>	0.69

<sup>a,b</sup>, Las medias con diferentes superíndices dentro de las filas difieren ( $P \leq 0.05$ ).

Los resultados apoyan nuestra hipótesis de que un CC más alta en cabras mejora el número de comportamientos sexuales en ambos sexos y el rendimiento reproductivo de las hembras. Los comportamientos sexuales de las hembras, como los acercamientos al macho, el movimiento de la cola y la huida, y el de los machos: olfateo anogenital, acercamientos a las hembras e intentos de monta, fueron mayores para el grupo ACC. Además, las cabras ACC registraron una mayor proporción de hembras que ovularon, número de cuerpos lúteos, tasa ovulatoria, diámetro del cuerpo lúteo, así como volumen de tejido lúteo. De igual manera, se detectó un mayor porcentaje de hembras preñadas, que parieron, y un mayor número de crías nacidas. Kenyon *et al.*, (2014) han documentado la relación entre CC y fertilidad, tasa de gestación o tasa de parto. En cuanto a la proporción de hembras preñadas los resultados de este experimento son consistentes con los reportados por Molina *et al.* (1994) en cabras La Mancha, de Atti *et al.* (2001) en ovejas Barbarine, así como en ovejas Merino (Kleemann y Walker, 2005). Además, Kenyon *et al.* (2004), en ovejas Romney, y Kivircik (con un CC de 2.0 y 2.5, respectivamente), observaron que estas hembras tenían más probabilidades de quedar preñadas que las ovejas con una CC más baja. En este estudio, se observó una respuesta favorable del estado nutricional durante todo el período gestacional porque las cabras BCC presentaron un mayor

número de pérdidas de gestación que las cabras ACC, esta información está en línea con lo reportado por Mellado y Pastor (2006). Con respecto a la respuesta al estro, los resultados no difirieron entre los grupos. Mellado *et al.* (2004) mencionan que las hembras caprinas con reservas de energía escasas si responden al estímulo del macho, presentando estro y ovulación. La notable diferencia en el número de comportamientos sexuales tanto de hembras como de machos indica que la mayor CC en hembras conduce a una más alta exhibición de comportamientos de cortejo apetitivos y consumatorios por parte de los machos, así como a una mayor proceptividad y receptividad en las hembras (Fabre-Nys y Gelez, 2007). La "forma" del cuerpo de la hembra influye en la reacción sexual de los machos, así como en el contexto de la interacción (Tilbrook y Lindsay, 1987), siendo el comportamiento proceptivo el rasgo más atractivo de la hembra hacia el macho. En la mayoría de las especies, un aumento en la actividad motora de las hembras está relacionado con el estro. La retroalimentación sexual consta de tres fases principales: atractividad, proceptividad y receptividad (Fabre-Nys & Gelez, 2007). Este último se puede medir por el número de montas o intentos de monta que la hembra recibe del macho (Beach, 1976; Fabre-Nys y Gelez, 2007). El diámetro y el número de folículos no mostraron diferencias entre los grupos, lo difiere con lo informado por Widiyono *et al.*, 2020 quienes evaluaron las estructuras foliculares en cabras de raza Kacang en función de la condición corporal y encontraron un tamaño, diámetro y volumen folicular más pequeños en cabras con condición corporal inferior con respecto al alta. En cuanto a la luteogénesis, está reportado que la tasa de ovulación es esencial para una mayor prolificidad en rebaños en sistemas de producción marginales. En estos sitios, el estado nutricional es un factor limitante en el rendimiento reproductivo de las cabras. En el presente estudio, estas variables fueron mayores en cabras con ACC, por lo que se infiere que la condición corporal influye en este proceso. Esta información coincide con lo demostrado en diversos estudios donde en las hembras con una CC más alta, la tasa de ovulación es mayor que en aquellas con una CC baja (Scaramuzzi *et al.*, 2006; De Santiago-Miramontes *et al.*, 2009). Además, Hussain *et al.* (1996) han

demostrado que la baja CC causa una disminución de la fertilidad en las hembras. Mellado *et al.* (1996) afirman que el porcentaje de cabras que paren con una puntuación de condición corporal de 3 (rango 1-7) fueron aproximadamente un 20% más bajas que este parámetro en cabras con una puntuación de condición corporal de 4 o mayor. Las cabras con mayor CC, además de mayor tamaño, estimulan un mayor comportamiento sexual en los machos, favoreciendo una mayor tasa ovulatoria, diámetro y volumen del cuerpo lúteo, (Zuñiga-García *et al.*, 2020), esto puede promover mayores niveles de progesterona (Rostami *et al.*, 2017) y contribuir al éxito de la preñez y un número de críos nacidos vivos más elevado. Estos resultados indican que la CC en cabras es de suma importancia en estos sistemas de producción marginal para el desempeño reproductivo, por lo que es útil ofrecer un suplemento nutricional a las cabras en pastizales y acceso ocasional a residuos de cultivos en áreas agrícolas de esta región. Esto repercutiría en un mejor rendimiento reproductivo (Mellado *et al.*, 2020) y una mayor percepción de ingresos para los propietarios de este tipo de producción caprina.

## 5. CONCLUSIÓN

Estos resultados muestran que una CC más alta mejoró la interacción sexual entre hembras y machos, así como la respuesta estral y ovulatoria. Además, se registraron estructuras ováricas más grandes y un mejor rendimiento reproductivo. Mantener una adecuada condición corporal es esencial para garantizar el éxito reproductivo en las cabras. Sin embargo, en latitudes como las del presente estudio, el manejo reproductivo se lleva a cabo en la estación de sequía debido a la conveniencia de un precio más alto en la venta de crías, por lo tanto, es necesario considerar una estrategia de suplementación nutricional en hembras para cubrir las exigentes necesidades características del proceso reproductivo y contrarrestar la marcada deficiencia de nutrientes que afecta el proceso de implantación embrionaria durante este período crítico de gestación en esta especie.

## BIBLIOGRAFIA

1. ABECIA JA, SOSA C, FORCADA F, MEIKLE A. The effect of undernutrition on the establishment of pregnancy in the ewe. *Reproduction Nutrition Development*. 2006;46(4):367-78.
2. ALVARADO-ESPINO, A.S.; MEZA-HERRERA, C.A.; CARRILLO, E.; GONZÁLEZ-ÁLVAREZ, V.H.; GUILLEN-MUÑOZ, J.M.; ÁNGEL-GARCÍA, O.; MELLADO, M.; VÉLIZ-DERAS, F.G. Reproductive outcomes of Alpine goats primed with progesterone and treated with human chorionic gonadotropin during the anestrus-to-estrus transition season. *Animal Reproduction Science*. 2016, 167, 133–138.
3. ÁLVAREZ-RAMIREZ, L. and L. A. ZARCO-QUINTERO. Los fenómenos de bioestimulación sexual en ovejas y cabras. *Veterinaria México*, 2001, 32, 117- 129.
4. BINDON, B.M.; PIPER, L.R. Endocrine basis of genetic differences in ovine prolificacy. In: CSIRO, Division of Animal Production, Pastoral Research Laboratory, Armidale, NSW 2350, Australia., editor/s. 10<sup>th</sup> International Congress of Animal Reproduction and Artificial Insemination, Volume IV. Plenary and symposia papers.; June 10-14, 1984; University Illinois at Urbana Champaign, Illinois, USA. Urbana, USA: University of Illinois; 1984.
5. BOUILLON J, LAJOUS A, FOURCAUD P. Mise en évidence d'un effet "chèvres induites", comparable à l' "effet bouc" chez les caprin. 7<sup>èmes</sup> Journées de la Recherche Ovine et Caprine; 1982 décembre 1-2; Paris, France. Paris, France: Institut National de la Recherche Agronomique, 1982:325-333.
6. BURTON, G. Wand; INGOLD, K. U.  $\beta$ -Carotene: an unusual type of lipid antioxidant. *Science*, 1984, vol. 224, 4649, 569-573.

7. CARRILLO, E., C. A. MEZA-HERRERA, A. OLAN-SANCHEZ, P. A. ROBLES TRILLO, C. LEYVA, J. R. LUNA-OROZCO, R. RODRIGUEZMARTINEZ and F. G. VELIZ-DERAS. The "female effect" positively affects the appetitive and consummatory sexual behavior and testosterone concentrations of Alpine male goats under subtropical conditions. *Czech Journal of Animal Science*, 2014, 59, 337-343.
8. CEPEDA, P. R., RAMÍREZ, J. M., RAMÍREZ, O. R., ÁVILA, J. M., MACARENO, R., & CONTRERAS, J. L. Actividad reproductiva de un rebaño caprino comercial de sistema de empadre en primavera (sin tratamiento hormonal) en Baja California Sur. *Memorias IX Reunión Nacional de Caprinocultura. Univ. Aut. Baja California Sur.* 1992, 27, 148-154.
9. CHEMINEAU P. Effect on estrus and ovulation of exposing Creole goats to the male at three times of the year. *Journal of Reproduction and Fertility* 1983;67:65-72.
10. CHEMINEAU P, LEVY F, THIMONIER J. Effects of anosmia on LH secretion, ovulation rate and oestrus behavior induced by males in the anovular Creole goat. *Animal Reproduction Science* 1986;10:125-142.
11. CHEMINEAU P, NORMANT E, RAVAUULT JP, THIMONIER J. Induction and persistence of pituitary and ovarian activity in the out-of-season lactating dairy goats after a treatment combining a skeleton photoperiod, melatonin and the male effect. *Journal of Reproduction and Fertility* 1986;78:497-504.
12. CHEMINEAU P. Possibilities for using bucks to stimulate ovarian and oestrus cycles in anovulatory goats - a review. *Livestock Production Science* 1987;17:135-147.

13. CHEMINEAU, P y DELGADILLO, J. A. Neuroendocrinología de la reproducción en el caprino. *Revista Científica*, 1993, 3, 113-121.
14. CHEMINEAU P. POINDRON P, MALPAUX B, DELGADILLO JA. 2000. Male reproductive condition is the limiting factor of efficiency in the male effect during seasonal anestrus in female goats. *Biol. Reprod.* 2000, vol. 62, 5, 1409-1414.
15. CHEMINEAU, Philippe, et al. Neuroendocrine and genetic control of seasonal reproduction in sheep and goats. *Reproduction in Domestic Animals*, 2010, 45, 42-49.
16. CHEMINEAU, P., GUILLAUME, D., MIGAUD, M., THIÉRY, J. C., PELLICER-RUBIO, M. T., & MALPAUX, B. Seasonality of reproduction in mammals: intimate regulatory mechanisms and practical implications. *Reproduction in Domestic Animals*, 2008, vol. 43, 40-47.
17. DE SANTIAGO-MIRAMONTES, M. A., RIVAS-MUÑOZ, R., MUÑOZ-GUTIÉRREZ, M., MALPAUX, B., SCARAMUZZI, R. J., & DELGADILLO, J. A. The ovulation rate in anoestrous female goats managed under grazing conditions and exposed to the male effect is increased by nutritional supplementation. *Animal Reproduction Science*, 2008, vol. 105, 3-4, 409-416.
18. DE SANTIAGO-MIRAMONTES MA, MALPAUX B, DELGADILLO JA. Body condition is associated with a shorter breeding season and reduced ovulation rate in subtropical goats. *Animal Reproduction Science*, 2009(114):175-182.
19. DELGADILLO JA, FLORES JA, VÉLIZ FG, DUARTE G, VIELMA J, POINDRON P, MALPAUX. Control de la reproducción de los caprinos del subtrópico mexicano utilizando tratamientos fotoperiódicos y efecto macho. *Veterinaria México*, 2003,34,1,69.

20. DELGADILLO JA, GELEZ H, UNGERFELD R, HAWKEN PAR, MARTIN GB. The 'male effect' in sheep and goats—Revisiting the dogmas. *Behavioural Brain Research*, 2009, v.200, p.304–314.
21. DELGADILLO, J. A. Environmental and social cues can be used in combination to develop sustainable breeding techniques for goat reproduction in the subtropics. *Animal*, 2011, vol. 5, 1, 74-81.
22. DELGADILLO JA, FLORES JA, HERNANDEZ H, POINDRON P, KELLER M, FITZ-RODRIGUEZ G, DUARTE G, VIELMA J, FERNANDEZ IG, CHEMINEAU P. Sexually active males prevent the display of seasonal anestrus in female goats. *Hormones and Behavior*. 2015; 69:8-15.
23. DOWNEY, B. R. Regulation of the estrous cycle in domestic animals—A review. *The Canadian Veterinary Journal*, 1980, vol. 21, 11,301.
24. DUARTE, G., FLORES, J.A., MALPAUX, B. AND DELGADILLO, J.A. Reproductive seasonality in female goats adapted to a subtropical environment persists independently of food availability. *Domestic Animal Endocrinology*, 2008, vol. 35, 4, 362-370.
25. DUNN, T. G.; MOSS, G. E. Effects of nutrient deficiencies and excesses on reproductive efficiency of livestock. *Journal of Animal Science*, 1992, 70, 5, 1580-1593.
26. DUPONT, JOËLLE; SCARAMUZZI, R. J.; REVERCHON, Maxime. The effect of nutrition and metabolic status on the development of follicles, oocytes and embryos in ruminants. *Animal*, 2014, vol. 8, 7, 1031-1044.
27. ESCAREÑO SÁNCHEZ, L. M., WURZINGER, M., PASTOR LÓPEZ, F., SALINAS, H., SÖLKNER, J., & IÑIGUEZ, L. La cabra y los sistemas de producción caprina de los pequeños productores de la

Comarca Lagunera, en el norte de México. Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente, 2011, 17(SPE), 235-246.

28. FABRE-NYS, CLAUDE; GELEZ, HÉLÈNE. Sexual behavior in ewes and other domestic ruminants. *Hormones and Behavior*, 2007, vol. 52, no 1, p. 18-25.
29. FALCÓN RAMOS, J. A., SALINAS, G. H., AVILA, A., AND FLORES, R. R. T. Los sistemas de producción caprina en Zacatecas. II. La presencia de abortos. Centro de investigaciones forestales y agropecuarias de Zacatecas INIFAP-SARH. Apdo. Postal No 18, Calera de V.R., Zacatecas, 1990.
30. FITZ-RODRÍGUEZ, G., DE SANTIAGO-MIRAMONTES, M. A., SCARAMUZZI, R. J., MALPAUX, B., and DELGADILLO, J. A. Nutritional supplementation improves ovulation and pregnancy rates in female goats managed under natural grazing conditions and exposed to the male effect. *Animal Reproduction Science*, 2009, vol. 116, 1-2, 85-94.
31. FORCADA, F.; ABECIA, J. A.; SIERRA, I. Seasonal changes in oestrus activity and ovulation rate in Rasa Aragonesa ewes maintained at two different body condition levels. *Small Ruminant Research*, 1992, vol. 8, 4, 313-324.
32. FORTUNE, J. E. Ovarian follicular growth and development in mammals. *Biology of reproduction*, 1994, vol. 50, 2, 225-232.
33. GALLEGO-CALVO L, GATICA MC, GUZMÁN JL, ZARAZAGA LA. Reproductive performance response to the male effect in goats is improved when doe live weight/body condition score is increasing. *Small Ruminant Research* 2015;156:51-57.
34. GÁMEZ-VÁZQUEZ, Héctor, et al. Relacion entre suplementacion alimenticia, condicion corporal y respuesta al efecto macho en cabras criollas en anestro. *Veterinaria Zacatecas*, 2004, 2, 147-152.

35. GANZÁBAL, A., DE MATTOS, D., MONTOSI, F., BANCHERO, G., SAN JULIÁN, R., PÉREZ, J.A., NOBOA, M., DE LOS CAMPOS, G., y CALISTRO, S. Inserción de tecnologías de cruzamientos ovinos en sistemas intensivos de producción: resultados preliminares. En: Investigación Aplicada a la Cadena Cárnica Agroindustrial Cárnica: Avances Obtenidos: Carne Ovina de Calidad, 2002.
36. GNATEK, G. G., SMITH, L. D., DUBY, R. T., and GODKIN, J. D. Maternal recognition of pregnancy in the goat: effects of conceptus removal on Interestrus intervals and characterization of conceptus protein production during early pregnancy. *Biology of reproduction*, 1989, vol. 41, 4, 655-663.
37. GODFREY, KEITH M.; BARKER, DAVID JP. Fetal nutrition and adult disease. *The American journal of clinical nutrition*, 2000, vol. 71, 5, 1344S-1352S.
38. GÓMEZ-VÁZQUEZ, H., URRITIA-MORALES, J., DÍAZ-GÓMEZ, M.O., ROSALES-NIETO, C.A. y RAMÍREZ-ANDRADE, B.M. Relacion entre suplementacion alimenticia, condicion corporal y respuesta al efecto macho en cabras criollas en anestro. *Veterinaria Zacatecas*, 2004, 2, 147-152.
39. GONELLA, ÁNGELA; GRAJALES, HENRY; HERNÁNDEZ, AURELIANO. Ambiente receptivo uterino: control materno, control embrionario, muerte embrionaria. *Revista MVZ Córdoba*, 2010, vol. 15, 1, 1976-1984.
40. GOODMAN, R. L. Neuroendocrine control of the ovine estrous cycle. *The physiology of reproduction*, 1994, p. 659-710. Gougeon, A. (1996). Regulation of ovarian follicular development in primates: facts and hypotheses. *Endocrine reviews*, 17(2), 121-155.
41. GONYOU, H. W. Behavioral methods to answer questions about sheep. *Journal of animal science*, 1991, vol. 69, 10, 4155-4160.

42. GREENWALD, G. S. Follicular development and its control. *The physiology of reproduction*, 1994, 1, 629-724.
43. GUERRA-GARCÍA, M.; MEZA-HERRERA, C. A. SANCHEZ-TORRES-ESQUEDA MT, GALLEGOS-SANCHEZ J, TORRES-HERNANDEZ G, PRO-MARTINEZ A. IGF-1 and ovarian activity of goats in divergent body condition and supplemented with non-degradable ruminal protein. *Agrociencia*, 2009, vol. 43, 3, 241-247..
44. GUNN, R. G.; DONEY, J. M. The interaction of nutrition and body condition at mating on ovulation rate and early embryo mortality in Scottish Blackface ewes. *The Journal of Agricultural Science*, 1975, vol. 85, no 3, p. 465-470.
45. GUTIERREZ, A. C. Influencia de la nutrición en la reproducción. En *II Curso Internacional: Fisiología de la Reproducción en Rumiantes*. Colegio de Postgraduados. Montecillo. Texcoco, Edo. de México, 2001, 155-166.
46. HAFEZ, E.S.E. *Reproducción e Inseminación Artificial en Animales*. Quinta edición en español. Editorial Interamericana-McGraw-Hill. México DF, 1989, 38- 69.
47. HAULENBEEK, ANDREA M. Partner preference and sexual performance in male goats, *capra hircus*. 2009. Tesis Doctoral. Rutgers University-Graduate School-New Brunswick.
48. HOUPPT, A. The Ram. Sexual behaviour of free-ranging sheep, en *Domestic Animal Behaviour for Veterinarians and Animal Scientistits*, Wiley-Blackwell, 2010.
49. JAINUDEEN M R., WAHID, H. Y HAFEZ E .S. H. Ovejas y cabras. En: Hafez, E. S. E y Hafez B. Editor *Reproducción e Inseminación Artificial en Animales*. Séptima edición en español. Editorial Interamericana-McGraw-Hill. México DF, 2002, 177 – 183.

50. JIMENO, V., CASTRO, T., y REBOLLAR, P. G. Interacción nutrición-reproducción en ovino de leche. XVII Curso de Especialización FEDNA. Avances en Nutrición y Alimentación, 2001, 133-160.
51. KARSCH, F. J. The hypothalamus and anterior pituitary gland. *Reproduction in Mammals: 3 Hormonal Control of Reproduction*, 1980, 1-20.
52. KHALDI, GLEY. Variations saisonnières de l'activité ovarienne du comportement d'oestrus et de la durée de l'anoestrus post-partum des femelles ovines de race barbarine: influences du niveau alimentaire et de la présence du mâle. 1984. Tesis Doctoral. Université des Sciences et Techniques du Languedoc.
53. KLEEMANN, D.O., WALKER, S.K., WALKLEY, J.R.W., PONZONY, R.W., SMITH, D.H., GRIMSON, R.J., SEAMARK, R.F. Effect of pre-mating nutrition on reproductive performance of Booroola Merino X South Australian Merino ewes. *Animal Reproduction*, 1991, vol. 26, 3-4, 269-279.
54. LANDAU, S.; MORAND-FEHR P.; BAS P.; SCHMIDELY PB. and GIGER-REVERDIN S. Nutritional efficiency for conception, pregnancy and lactation in goats with an emphasis on glucose and nitrogen metabolism. International conference on goats. CIHEAM, 1996.
55. LASSOUED, N., REKIK, M., MAHOUACHI, M., BEN HAMOUDA, M. The effect of nutrition prior to and during mating on ovulation rate, reproductive wastage, and lambing rate in three sheep breeds. *Small Ruminant Research*, 2004, vol. 52, 1-2, 117-125.
56. LINDSAY, D.R., KNIGHT, T.W., SMITH, J.F., OLDHAM, C.M. Studies in ovine fertility in agricultural regions of Western Australia: ovulation rate, fertility and lambing performance. *Australian Journal of Agricultural Research*, 1975, vol. 26, 1, 189-198.

57. LUNA-OROZCO, J. R., GUILLEN-MUÑOZ, J. M., DE SANTIAGO, M. D. L. A., GARCÍA, J. E., RODRÍGUEZ-MARTÍNEZ, R., MEZA-HERRERA, C. A y VÉLIZ, F. G. Influence of sexually inactive bucks subjected to long photoperiod or testosterone on the induction of estrus in anovulatory goats. *Tropical Animal Health and Production*. 2012, 44,1,71-75.
58. MANI, A. U.; MCKELVEY, W. A. C.; WATSON, E. D. The effects of low level of feeding on response to synchronization of estrus, ovulation rate and embryo loss in goats. *Theriogenology*, 1992, vol. 38, no 6, p. 1013-1022.
59. MARTIN, B. G.; BLACHE, D. Biotecnología y Reproducción de pequeños rumiantes, una perspectiva. Memoria del XXV Aniversario del programa en Ganadería. La Biotecnología en la Ganadería del Siglo XXI. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de México. pp, 2004, p. 68-81.
60. MARTIN, G. B., RODGER, J y BLACHE, D. Nutritional and environmental effects on reproduction in small ruminants. *Reproduction Fertility and Development*. 2004, 16,4, 491-501.
61. MELLADO, M.; VERA, A.; LOERA, H. Reproductive performance of crossbred goats in good or poor body condition exposed to bucks before breeding. *Small Ruminant Research*, 1994, vol. 14, 1, 45-48.
62. MELLADO, M.; GONZALEZ, H.; GARCÍA, J. E. Body traits, parity and number of fetuses as risk factors for abortion in range goats. *Agrociencia*, 2001, vol. 35, 124-128.
63. MELLADO, M., VALDEZ, R., LARA, L. M., and GARCIA, J. E. Risk factors involved in conception, abortion, and kidding rates of goats under extensive conditions. *Small Ruminant Research*, 2004, vol. 55, 1-3, 191-198.

64. MELLADO, M., OLIVARES, L., LOPEZ, R., & MELLADO, J. Influence of lactation, liveweight and lipid reserves at mating on reproductive performance of grazing goats. *Journal of Animal and Veterinary advances*, 2005, vol. 4, 4, 420-423.
65. MELLADO, M., MELLADO, J., GARCÍA, J.E., LÓPEZ, R. Lifetime reproductive performance of goats as a function of growth traits and reproductive performance early in life. *Journal of Applied Animal Research*, 2005, 27, 113-116.
66. MELLADO, MIGUEL; PASTOR, FRANCISCO J. Aborto no infeccioso en caprinos. *Ciência Animal Brasileira*, 2006, vol. 7, 2, 167-175.
67. MELLADO, MIGUEL. Técnicas para el manejo reproductivo de las cabras en agostadero. *Tropical and subtropical Agroecosystems*, 2008, vol. 9, 1, 47-63.
68. MEZA-HERRERA, C. A., et al. Effects of body condition and protein supplementation on LH secretion and luteal function in sheep. *Reproduction in Domestic Animals*, 2007, vol. 42, 5, 461-465.
69. MEZA-HERRERA, C. A., et al. Protein supplementation, body condition and ovarian activity in goats-Pre-ovulatory serum profile of insulin. *South African Journal of Animal Science*, 2004, vol. 34.
70. MEZA-HERRERA, C.A., ROSS T., HAWKINS D., HALLFORD D. Interactions between metabolic status, pre-breeding protein supplementation, uterine pH, and embrionic mortality in ewes: Preliminary observations. *Tropical Animal Health and Production*, 2006, vol. 38, 5, 407-413.
71. MEZA-HERRERA, C. A., CUEVAS-JÁCQUEZ, R. A., CHÁVEZ-PERCHES, J. G., SALINAS-GONZÁLEZ, H., y URRUTIA-MORALES, J. Efecto de la suplementacion de proteina de sobrepaso sobre la actividad ovarica en cabras en condicion

corporal divergente. *Revista Chapingo Serie Zonas Aridas*, 2007, 6, 127-134.

72. MEZA-HERRERA, C. A., T. ROSS, D. HALLFORD, D. HAWKINS, and A. GONZALEZ-BULNES. Effects of body condition and protein supplementation on LH secretion and luteal function in sheep. *Reproduction in Domestic Animals*, 2007, vol. 42, 5, 461-465.
73. MEZA-HERRERA, C.A., HALLFORD D.M., ORTÍZ J.A., CUEVAS R.A., SÁNCHEZ J.M., SALINAS H, MELLADO M., GONZALEZ-BULNES A. Body condition and protein supplementation positively affect periovulatory ovarian activity by non LH-mediated pathways in goats. *Animal Reproduction Science*, 2008, vol. 106, 3-4, 412-420.
74. MEZA-HERRERA, C. A.; TENA-SEMPERE, M. Interface between nutrition and reproduction: the very basis of production. *Animal reproduction in livestock, encyclopedia of life support systems (EOLSS)*, developed under the auspices of the UNESCO, Oxford, UK, 2012.
75. M. KHALID, M. MUÑOZ-GUTIERREZ, and A. SOMCHIT. A review of the effects of supplementary nutrition in the ewe on the concentrations of reproductive and metabolic hormones and the mechanisms that regulate folliculogenesis and ovulation rate. *Reproduction Nutrition Development* 2006, vol. 46, 4, 339-354.
76. MONROY, L. I. V., JAQUEZ, J. A. M., GERARDO, F., DERAS, V., & GONZÁLEZ, H. S. La condición corporal en las cabras anestrícas influye en la respuesta estral al efecto macho. *Agrofaz*, 2013, vol. 13, 3.
77. MONTOSI, F., DE BARBIERI, I., NOLLA, M., LUZARDO, S., MEDEROS, A., and SAN JULIÁN, R. El manejo de la condición corporal en la oveja de cría: una herramienta disponible para la mejora de la eficiencia reproductiva en sistemas

ganaderos. Organización de: inia treinta y tres inia tacuarembó programa nacional de ovinos y caprinos, 2005, 49.

78. MUÑOZ-GUTIÉRREZ, M., BLACHE D., MARTIN G. B. AND SCARAMUZZI R. J. Folliculogenesis and ovarian expression of mRNA encoding aromatase in anoestrous sheep after 5 days of glucose or glucosamine infusion or supplementary lupin feeding. REPRODUCTION-CAMBRIDGE-, 2002, vol. 124, 5, 721-731.
79. OCDE/FAO. 2017. "Lácteos y sus productos". En: OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2017-2026, OECD Publishing, París.
80. PERKINS, ANNE; ROSELLI, CHARLES E. The ram as a model for behavioral neuroendocrinology. Hormones and behavior, 2007, vol. 52, 1, 70-77.
81. RAMÍREZ, LORENZO ÁLVAREZ; QUINTERO, LUIS A. ZARCO. Los fenómenos de bioestimulación sexual en ovejas y cabras. Veterinaria México, 2001, vol. 32, 2, 117-129.
82. RATTRAY, P. V., JAGUSCH, K. T., SMITH, J. F., WINN, G. W., & MACLEAN, K. S. Effects of genotype, liveweight, pasture type and feeding level on ovulation responses in sheep. En Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production. 1981.
83. RESTALL BJ; RESTALL H; NORTON BW. Effect of nutrition on sensitivity of female goats to the male effect. Proceedings of the Australian Society of Animal Production 1994. P. 20-39.
84. RIVERA-LOZANO MT, DÍAZ-GÓMEZ MO, URRUTIA-MORALES J, VERA-ÁVILA H, GÁMEZ-VÁZQUEZ H, VILLAGÓMEZ-AMEZCUA ME, ARÉCHIGA-FLORES CF and ESCOBAR-MEDINA FJ. Seasonal variation in ovulatory activity of nubian, alpine and nubian X criollo does under tropical photoperiod (22° N). Tropical and subtropical agroecosystems, 2011, vol. 14, 3, 973-980.

85. SÁNCHEZ ROSAS, O., MARTÍNEZ ROJERO, R. D., CUICAS HUERTA, R., HERNÁNDEZ CASTRO, E., & PALEMON ALBERTO, F. Transferencia de un embrión en cabras (*Capra aegagrus hircus*) servidas anticipadamente. 2016.
86. ROSELLI, CHARLES E.; STORMSHAK, F. The ovine sexually dimorphic nucleus, aromatase, and sexual partner preferences in sheep. *The Journal Of Steroid Biochemistry And Molecular Biology*, 2010, vol. 118, 4-5, 252-256.
87. SCARAMUZZI, R. J.; MARTIN, G. B. The importance of interactions among nutrition, seasonality and socio-sexual factors in the development of hormone-free methods for controlling fertility. *Reproduction in Domestic Animals*, 2008, vol. 43, 129-136.
88. SCARAMUZZI, R. J., BAIRD, D. T., CAMPBELL, B. K., DRIANCOURT, M. A., DUPONT, J., FORTUNE, J. E., and WEBB, R. Regulation of folliculogenesis and the determination of ovulation rate in ruminants. *Reproduction, Fertility and Development*, 2011, vol. 23, 3, 444-467.
89. SHELTON M. The influence of the presence of a male goat on the initiation of estrus cycling and ovulation in Angora does. *Journal of Animal Science* 1960;19:368-375.
90. SIAP (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera). Resumen Nacional. Población Ganadera, Avícola Y Apícola. SAGARPA. 2020. Disponible en línea: [www.siap.gob.mx/ganaderia](http://www.siap.gob.mx/ganaderia).
91. SIAP (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera). Resumen Nacional. Población Ganadera, Avícola Y Apícola. SAGARPA. 2021. Disponible en línea: [www.siap.gob.mx/ganaderia](http://www.siap.gob.mx/ganaderia).
92. SCHILLO, KEITH K. Effects of dietary energy on control of luteinizing hormone secretion in cattle and sheep. *Journal of Animal Science*, 1992, vol. 70, 4, 1271-1282.

93. SKINNER JD, HOFMEYR HS. Effect of the male goat and of progesterone and PMSG treatment on the incidence of oestrous in the anoestrous Boer goat doe. *Proceedings of the Africam Society of Animal Production* 1969;8:155-156.
94. URRUTIA MJ, GAMEZ VH, RAMIREZ ABM. Effect of grazing restriction on male effect response in goats showing low body condition in the anoestrus season. *Tecnica Pecuaria en Mexico* 2003; 41, 251-260
95. URRUTIA-MORALES J, MEZA-HERRERA CA, TELLO-VARELA L, DÍAZ-GÓMEZ MO, BELTRÁN-LÓPEZ S. Effect of nutritional supplementation upon pregnancy rates of goats under semiarid rangelands and exposed to the male effect. *Tropical Animal Health and Production* 2012; 44: 1473-1477.
96. VELEZ LI, MALDONADO JJA, LOPEZ GJC, ISIDRO RLM, VELIZ FG, SALINAS GH. Respuesta estral y latencia al primer estro en cabras criollas con diferente condición corporal puestas en contacto con machos tratados con días largos artificiales. In: *Memorias de la XLVIII Reunion Nacional de Investigacion Pecuaria*. 2012; Queretaro, Mexico.
97. VELIZ F. G., POINDRON P., MALPAUX B., DELGADILLO J.A. Positive correlation between the body weight of anestrus goats and their response to the male effect with sexually active bucks. *Reproduction, Nutrition and Development* 2006; 46:657-661.
98. VIÑOLES, C., FORSBERG, M., MARTIN, G. B., CAJARVILLE, C., REPETTO, J., and MEIKLE, A. Short-term nutritional supplementation of ewes in low body condition affects follicle development due to an increase in glucose and metabolic hormones. *Reproduction*, 2005, vol. 129, 3, 299-309.

99. VIÑOLES, CAROLINA; MEIKLE, A.; MARTIN, G. B. Short-term nutritional treatments grazing legumes or feeding concentrates increase prolificacy in Corriedale ewes. *Animal reproduction science*, 2009, vol. 113, 1-4, 82-92.
100. VIÑOLES, C., GLOVER, K. M. M., PAGANONI, B. L., MILTON, J. T. B., & MARTIN, G. B. Embryo losses in sheep during short-term nutritional supplementation. *Reproduction, Fertility and Development*, 2012, vol. 24, 8, 1040-1047.
101. VONNAHME, K. A., ARNDT, W. J., JOHNSON, M. L., BOROWICZ, P. P., & REYNOLDS, L. P. Effect of morphology on placentome size, vascularity, and vasoreactivity in late pregnant sheep. *Biology of reproduction*, 2008, vol. 79, 5, 976-982.
102. WALKDEN-BROWN SW, RESTALL BJ, HENNIAWATI. The male effect in the Australian Cashmere goat. 1. Ovarian and behavioral response of seasonally anovulatory does following the introduction of bucks. *Animal Reproduction Science* 1993; 32:41-53.
103. WALKDEN-BROWN S. W., G. B MARTIN and B. J. RESTALL. Role of male– female interaction in regulating reproduction in sheep and goats. *Journal of Reproduction and Fertility* 1999, 52, 243–257.
104. WILLIAMS, S. A., BLACHE D., MARTIN G. B., FOOT R., BLACKBERRY M. A., AND SCARAMUZZI R. J. Effect of nutritional supplementation on quantities of glucose transporters 1 and 4 in sheep granulosa and theca cells. *Reproduction*, 2001, vol. 122, 6, 947-956.
105. WRIGHT, P. J.; GEYTENBEEK, P. E.; CLARKE, I. J. The influence of nutrient status of post-partum ewes on ovarian cyclicity and on the oestrous and ovulatory responses to ram introduction. *Animal Reproduction Science*, 1990, vol. 23, 4, 293-303.

106. ZABULI, J., TANAKA, T., LU, W., and KAMOMAE, H.  
Intermittent nutritional stimulus by short-term treatment of high-energy diet promotes ovarian performance together with increases in blood levels of glucose and insulin in cycling goats. *Animal Reproduction Science*, 2010, vol. 122, 3-4, 288-293.