



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES**

**Aplicación continua de GnRH para estimular la libido en machos caprinos fuera de estación reproductiva**

**TESIS**

Que como parte de los requerimientos para obtener el grado de Maestro en Salud y Producción Animal Sustentable

**Presenta**

I.A.Z Jesús Flores Hernández

**Dirigido por**

Dr. Héctor Raymundo Vera Ávila

Querétaro, Qro. 20 Mayo 2024



Dirección General de Bibliotecas y Servicios Digitales  
de Información



Aplicación continúa de GnRH para estimular la libido  
en machos caprinos fuera de estación reproductiva

**por**

FLORES HERNANDEZ JESUS

se distribuye bajo una [Licencia Creative Commons  
Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional](#).

**Clave RI:** CNMAC-264009



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES  
MAESTRÍA EN SALUD Y PRODUCCIÓN ANIMAL SUSTENTABLE

**Aplicación continúa de GnRH para estimular la libido en machos caprinos fuera de estación reproductiva**

**Tesis**

Que como parte de los requerimientos para obtener el grado de Maestro en Salud y Producción Animal Sustentable

**Presenta**

I.A.Z Jesús Flores Hernández

**Dirigido por**

Dr. Héctor Raymundo Vera Ávila

**SINODALES**

Dr. Héctor Raymundo Vera Ávila  
Presidente

\_\_\_\_\_  
Firma

Dr. Héctor Andrade Montemayor  
Secretario

\_\_\_\_\_  
Firma

Dr. Héctor Jiménez Severiano  
Vocal

\_\_\_\_\_  
Firma

Dr. Juan Carlos Silva Jarquín  
Suplente

\_\_\_\_\_  
Firma

Dr. Lorenzo Reyna Santamaría  
Suplente

\_\_\_\_\_  
Firma

Campus Juriquilla, Querétaro, Qro.  
Mayo 2024  
México

## RESUMEN

En el presente trabajo se evaluó el efecto que tuvo la aplicación continua de un análogo de GnRH (gonadorelina) sobre el comportamiento sexual, la actividad espermatogénica y endocrina testicular en machos caprinos fuera de estación reproductiva. Se utilizaron 8 machos adultos de la raza Nubia de 24 meses de edad, de los cuales cuatro fueron asignados aleatoriamente a un grupo tratado con GnRH de manera continua (Grupo GnRH, a los cuales se les introdujo de manera subcutánea una bomba osmótica (Alzet®) calibrada para liberar 500 ng/h de un análogo de GnRH, el tiempo de tratamiento fue de tres semanas con recambio semanal de bomba osmótica) y cuatro fueron asignados a un grupo control sin tratamiento (Grupo TES). Ni el Tratamiento ni la interacción Tratamiento x Semana influyeron en el índice de masa corporal (IMC), sin embargo, se observó un ligero incremento en esta variable a través del periodo experimental (Tiempo  $P < 0.05$ ;  $+0.037$  puntos de IMC entre inicio y final del experimento). Por su parte, la circunferencia escrotal (CE) no fue influenciada por ninguno de los factores evaluados; promedio general =  $25.4 \pm 0.6$  cm. La concentración plasmática de testosterona (TEST) no fue influida por el efecto de tratamiento, pero sí por el tiempo ( $P < 0.01$ ) y por la interacción Tratamiento x Tiempo ( $P < 0.05$ ); los valores de TEST fueron similares entre grupos experimentales previo al inicio de tratamientos, pero posteriormente la aplicación de GnRH provocó un incremento significativo en la concentración de la hormona, aunque solo durante la primera semana. En cuanto a la intensidad de libido, expresada como la duración del interés sexual de los machos por hembras en anestro, se observaron efectos similares a los encontrados en las concentraciones plasmáticas de testosterona, aunque desfasados por algunas semanas; no hubo efecto de Tratamiento, pero en Tiempo y Tratamiento x Tiempo se observaron diferencias significativas ( $P < 0.01$ ). Para las variables de calidad seminal: volumen, concentración espermática y motilidad progresiva individual no hubo efecto de Tratamiento, Tiempo e interacción Tratamiento x Tiempo ( $0.6 \pm 0.1$  ml,  $2.0 \pm 0.4 \times 10^9$  espermatozoides y  $71.2 \pm 3.9$  %). Para el porcentaje de anomalías espermáticas por eyaculado

hubo solo efecto de Tratamiento (12.7 vs 4.7 % en TESTIGO vs GnRH,  $P < 0.05$ ), aunque esto desde el inicio del periodo experimental por lo que probablemente se trató de una diferencia intrínseca a las unidades experimentales. La aplicación continua de GnRH provocó un aumento en el tiempo de interés sexual por hembras en anestro, pero solo de corta duración.

**Palabras clave:** (GnRH, comportamiento sexual, caprinos).

## ABSTRACT

In the present work, the effect of the continuous application of a GnRH analog (gonadorelin) on sexual behavior, spermatogenic and endocrine testicular activity in male goats outside the reproductive season was evaluated. Eight 24-month-old adult males of the Nubian breed were used, of which four were randomly assigned to a group treated with GnRH continuously (Group GnRH, to which an osmotic pump was introduced subcutaneously (Alzet®) calibrated to release 500 ng / h of a GnRH analog, the treatment time was three weeks with weekly replacement of the osmotic pump) and four were assigned to a control group without treatment (TES Group). Neither the Treatment nor the Treatment x Week interaction influenced the body mass index (BMI), however, a slight increase in this variable was observed throughout the experimental period (Time  $P < 0.05$ ;  $+0.037$  points of BMI between start and end of experiment). For its part, scrotal circumference (SC) was not influenced by any of the factors evaluated; general average =  $25.4 \pm 0.6$  cm. Plasma testosterone concentration (TEST) was not influenced by the treatment effect, but by time ( $P < 0.01$ ) and by the Treatment x Time interaction ( $P < 0.05$ ); TEST values were similar between experimental groups prior to the start of treatments, but later the application of GnRH caused a significant increase in the concentration of the hormone, although only during the first week. Regarding the intensity of libido, expressed as the duration of sexual interest of males for females in anestrus, effects similar to those found in plasma concentrations of testosterone were observed, although lagged for some weeks; there was no treatment effect, but in Time and Treatment x Time significant differences were observed ( $P < 0.01$ ). For the semen quality variables: volume, sperm concentration and individual progressive motility, there was no effect of Treatment, Time and Treatment x Time interaction ( $0.6 \pm 0.1$  ml,  $2.0 \pm 0.4 \times 10^9$  spermatozoa and  $71.2 \pm 3.9\%$ ). For the percentage of sperm abnormalities per ejaculate, there was only a Treatment effect ( $12.7$  vs  $4.7\%$  in Control vs GnRH,  $P < 0.05$ ), although this from the beginning of the experimental period, so it was probably an intrinsic difference to the experimental units. The continuous

application of GnRH caused an increase in the time of sexual interest by females in anestrus, but only of short duration.

**Key words:** (GnRH, sexual behavior, goat).

## DEDICATORIA

### *A mis padres*

*Josefina Flores Hernández †  
Tomasa Esquivel Hernández  
Alberto Barrera Alvarado*

*Por el sacrificio que hicieron para que saliera adelante en todas las etapas de mi vida tanto personal y académica, por ser las personas que siempre me brindaron su apoyo, confianza y amor, y por estar conmigo en las buenas y malas acompañándome para no cometer errores y siempre llevándome por un buen camino. Los quiero mucho.*

### *A mi familia*

*Dionicia Barrera Esquivel  
Eduardo Barrera Esquivel  
Esther Barrera Esquivel  
Lucio Barrera Esquivel †  
José Alberto Barrera Esquivel  
Gabriel Manuel Acosta Barrera  
Angelica María Barrera Esquivel  
Arisbeth Guadalupe Barrera Esquivel*

*Por ser las personas que nunca me han dado la espalda y me han apoyado cuando más lo necesito con sus consejos y cariño fraternal que siempre me mantiene feliz a pesar de las circunstancias adversas. Muchas gracias, los quiero.*

*A esas personas especiales que siempre creyeron en mí a las que he conocido a lo largo de mi vida, con gustos, pasiones y sentimientos en común, las que me enseñaron formas peculiares de ver la vida, gracias por todos los momentos maravillosos, especiales e imborrables vividos a su lado...*

*Haz lo que puedas, con lo que tengas, estés donde estés  
Theodore Roosevelt*



## AGRADECIMIENTOS

**A la Universidad Autónoma de Querétaro** por ser mi casa de estudios donde desarrolle mi estancia en posgrado durante dos años.

**A la Facultad de Ciencias Naturales** por los diferentes apoyos que recibí de parte de su núcleo administrativo en relación a la presentación de mis resultados de trabajo experimental en congresos pecuarios.

**Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)** por el apoyo económico con la beca de manutención durante 18 meses, la cual sirvió durante mi estancia en el posgrado.

**A los profesores de la Maestría Salud y Producción Animal Sustentable (MSPAS)** por contribuir con el aporte de sus conocimientos y experiencias a mi formación como maestro en los diferentes módulos cursados a lo largo de cuatro semestres.

**Al Fondo de Proyectos especiales de Rectoría (FOPER)** por su apoyo financiero en la realización del presente trabajo de investigación que formo parte de los requisitos para mi titulación.

**Al Dr. Héctor Raymundo Vera Ávila y Dr. Héctor Mario Andrade Montemayor**, por ser mi director, asesor y amigos, por el apoyo incondicional y brindarme facilidades en el desarrollo de mi trabajo experimental, por el aporte de sus conocimientos y la motivación que recibí de su parte.

**Al Dr. Héctor Jiménez Severiano, Dr. Lorenzo Reyna Santamaria, MSPAS Juan Carlos Silva Jarquín**, por formar parte de mi comité, y por las observaciones y correcciones hacia mi trabajo de tesis a lo largo de mis cuatro reuniones tutorales.

**A la Dra. Araceli Aguilera Barreiro** por ser mi tutora, amiga y apoyarme desde antes de mi llegada y durante los cuatro semestres en mi estancia en la FCN.

**A mis compañeros y amigos de la generación MSPAS 2016 - 2018** en especial a Alexander Agredo, Rodrigo Sánchez, Andrea Ruíz y Nerina Veyna, por su apoyo en mi trabajo experimental y por su amistad incondicional a lo largo de dos años, les deseo una vida exitosa, larga y feliz.

**A Isaac Escalante, Ileana Ioyo, Daniel del Cueto Y Eli Morales**, por su conocimiento y apoyo en campo y laboratorio para poder desarrollar mi trabajo experimental.

**A mi esposa Cinthia Alcaraz ♥** por motivarme y apoyarme en cada dificultad que se me presento desde mi postulación al posgrado, por su paciencia y cariño estos años tanto en mi vida personal y familiar como en la académica.

# ÍNDICE

<b>RESUMEN</b>	<b>I</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>III</b>
<b>DEDICATORIA</b>	<b>V</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	<b>VI</b>
<b>ÍNDICE</b>	<b>VII</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b>	<b>IX</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>X</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>II. ANTECEDENTES</b>	<b>2</b>
2.1 LA CAPRINOCULTURA EN MÉXICO	2
2.2 SISTEMAS DE PRODUCCIÓN CAPRINA	2
2.2.1 Sistema extensivo	3
2.2.2 Sistema extensivo	4
2.3 ESTACIONALIDAD REPRODUCTIVA	4
2.4 LÍMITES DE ESTACIONALIDAD REPRODUCTIVA EN MÉXICO	5
2.5 FISIOLÓGIA REPRODUCTIVA DEL MACHO CABRÍO	6
2.5.1 Regulación endócrina	7
2.5.2 Función testicular	8
2.5.3 Espermatogénesis	9
2.6 CONDICIONES NUTRICIONALES Y CALIDAD ESPERMÁTICA	10
2.7. DESARROLLO Y COMPORTAMIENTO SEXUAL DEL MACHO CABRÍO	11
2.8 ESTRATEGIAS PARA CONTRARRESTAR LA ESTACIONALIDAD REPRODUCTIVA EN EL MACHO CAPRINO	13
2.8.1 Secuencias fotoperiódicas	14
2.8.2 Administración de testosterona	14
2.9 EFECTO ENDOCRINO DE HORMONA LIBERADORA DE GONADOTROPINAS GnRH	16
3.5 TRABAJOS EXPERIMENTALES CON USO DE GnRH	16
<b>III. OBJETIVOS</b>	<b>19</b>
3.1 OBJETIVO GENERAL	19
3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO	19
<b>IV. HIPÓTESIS</b>	<b>20</b>
<b>V. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>21</b>
5.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA	21
5.2 DISEÑO EXPERIMENTAL	21
5.2.1 Aplicación de la bomba osmótica	22
5.2.1.1 Inserción de la bomba osmótica	22
5.2.1.1.1 Sedación	22
5.2.1.1.2 Aplicación de anestesia local	22
5.2.1.1.3 Inserción de la bomba osmótica	22
5.2.1.1.4 Suturas y aplicación de antibiótico	22
5.2.1.2 Recambio de la bomba osmótica	23
5.2.1.3 Medición del residuo de GnRH en la bomba osmótica	23
5.3 EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES	23

5.3.1 Evaluación de la libido .....	23
5.3.2 Toma de muestras para medir niveles de testosterona.....	23
5.3.3 Evaluación de circunferencia escrotal e índice de masa corporal .....	24
5.3.3 Evaluación de la calidad seminal .....	24
5.3.3.1 Metodología y frecuencia de la colecta.....	24
5.3.3.2 Metodología de la evaluación seminal.....	25
5.3.3.3 Metodología para la evaluación de anomalías espermáticas.....	27
5.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	27
<b>VI RESULTADOS.....</b>	<b>28</b>
6.1 ÍNDICE DE MASA CORPORAL .....	28
6.2 CIRCUNFERENCIA ESCROTAL.....	28
6.3 CONCENTRACIÓN PLASMÁTICA DE TESTOSTERONA .....	29
6.4 INTENSIDAD DE LIBIDO (INTERÉS SEXUAL).....	30
6.5 VARIABLES DE CALIDAD SEMINAL .....	30
6.5.1 Volumen .....	31
6.5.2 Motilidad progresiva.....	32
6.5.3 Concentración espermática.....	32
6.5.4 Total de espermatozoides viables.....	33
6.5.5 Anormalidades .....	34
<b>VII. DISCUSIÓN .....</b>	<b>35</b>
7.1 CIRCUNFERENCIA ESCROTAL (CE) E ÍNDICE DE MASA CORPORAL (IMC) .....	35
7.2 CONCENTRACIÓN PLASMÁTICA DE TESTOSTERONA .....	37
7.3 INTENSIDAD DE LA LIBIDO .....	39
7.4 VARIABLES DE CALIDAD SEMINAL .....	40
<b>VIII. CONCLUSIÓN .....</b>	<b>42</b>
<b>IX. IMPLICACIONES.....</b>	<b>43</b>
<b>X. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>44</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b><i>Cuadro No.</i></b>		<b><i>Página</i></b>
<b>1</b>	Resultados de análisis estadístico para índice de masa corporal.	28
<b>2</b>	Resultados de análisis estadístico para concentración de testosterona plasmática.	29
<b>3</b>	Resultados de análisis estadístico para la duración de interés sexual.	30
<b>4</b>	Resultados de análisis estadístico para volumen de eyaculado.	31
<b>5</b>	Resultados de análisis estadístico para la motilidad progresiva.	31
<b>6</b>	Resultados de análisis estadístico para la concentración espermática.	32
<b>7</b>	Resultados de análisis estadístico para número de espermatozoides viables.	33
<b>8</b>	Resultados de análisis estadístico para las anomalías espermáticas.	33

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura No.</b>		<b>Página</b>
<b>1</b>	Índice de masa corporal	28
<b>2</b>	Concentración de testosterona plasmática	29
<b>3</b>	Duración del interés sexual	30
<b>4</b>	Promedio de volumen por colecta de eyaculados	31
<b>5</b>	Motilidad progresiva	32
<b>6</b>	Concentración espermática	32
<b>7</b>	Total de espermatozoides viables por eyaculado	33
<b>8</b>	Anormalidades espermáticas	34

## I. INTRODUCCIÓN

La estacionalidad reproductiva está ligada endocrinamente a la frecuencia de secreción pulsátil de GnRH y LH, que a su vez determina el grado de actividad endocrina testicular y producción de testosterona por células de Leydig (Tillbrock y Clarck, 1993). Para la producción y maduración espermática eficientes se requieren altas concentraciones intra-testiculares y epididimales de testosterona, hormona que secretada por el testículo hacia la circulación sistémica a su vez estimula la libido a nivel del sistema nervioso central superior. Existen métodos para activar la libido de machos caprinos durante su etapa de depresión estacional y así poder usarlos para hacer uso del llamado “efecto macho” y con este método bioestimular hembras, es un tratamiento prolongado y requiere una mayor inversión en instalaciones para aplicar iluminación artificial, como es el caso de las secuencias fotoperiódicas inductoras (Delgadillo *et al.*, 2003). O, aunque han demostrado ser eficientes y no causar efectos negativos, pueden ser imprácticos al tener que manipular a los machos repetidas veces para hacer aplicación de hormonas como la testosterona exógena. La administración continua de GnRH durante tres semanas a dosis bajas (250 ng/h), logró activar temporalmente la libido en machos caprinos fuera de estación reproductiva y producir un efecto positivo sobre el desarrollo testicular, sin que hubiera evidencias de desensibilización de gonadotropos (Loyo *et al.*, 2016). Lo anterior sugiere que la administración continua de GnRH puede ser una alternativa de tratamiento hormonal de corto plazo para activar machos caprinos fuera de estación reproductiva, y orienta a explorar los efectos de dosis más altas (mayores a 250 ng/h). En el presente proyecto se aborda el desarrollo de un método de corto plazo para la activación de machos fuera de estación reproductiva, con el fin de mejorar su eficiencia como sementales y/o bioestimuladores de la actividad estral/ovulatoria de hembras en anestro y así incrementar la eficiencia reproductiva del rebaño.

## **II. ANTECEDENTES**

### **2.1 La caprinocultura en México**

Los caprinos se introdujeron a México por los españoles, estudios genotípicos y fenotípicos indican una influencia Navarra y Andaluza de las cabras originarias que llegaron al país (Guerrero, 2010). La cabra es una especie muy resistente a la sequía y escasas de forraje, debido a esta rusticidad que las caracteriza, fácilmente se adaptaron a las condiciones ambientales de nuestro país, lo que permitió que se desarrollaran muy rápidamente en regiones del país, que por sus características geográficas no es posible la explotación de otras especies productivas por esto la cabra se ha desarrollado como una fuente de ahorro e ingreso de muchas familias en zonas con bajo índice de desarrollo humano (Jiménez, 2003).

En México son la especie domestica que en menor medida contribuye al producto interno bruto, esto se debe a que los rebaños se encuentran en general en los estratos socioeconómicos más bajos de la población, sin embargo a pesar de estas condiciones la producción se abre paso y se ha tratado de mantener constante (Cuellar, *et al.*, 1998). En la república Mexicana se calcula que existen alrededor de 10 millones de cabras en un aproximado de 495,000 unidades de producción, de las cuales el 65% se encuentra distribuido a lo largo de las zonas áridas y semiáridas, y un 35% en las zonas templadas de México (Arechiga *et al.*, 2008).

### **2.2 Sistemas de producción caprina**

En México los sistemas de producción caprina de carne y leche han sido tradicionalmente una manera de utilizar los recursos naturales de baja productividad, como son los agostaderos de las regiones áridas y semiáridas, donde un total de trescientas mil familias tienen en la caprinocultura una de sus principales actividades para poder subsistir (Guerrero, 2010).

A pesar de que existen unidades caprinas en las cuales se aplica tecnología avanzada, el común denominador de este sector pecuario es la escasa o nula

tecnificación aplicada en los procesos productivos. La caprinocultura, aunque principalmente se relaciona a las regiones áridas y semiárida del país (caracterizadas por la limitada producción de sus agostaderos), se extiende en todo el territorio nacional (Jiménez, 2003), y genera en la actualidad aproximadamente 40,825 toneladas de carne y más de 173 millones de litros de leche (FAOSTAD, 2022).

### **2.2.1 Sistema extensivo**

En nuestro país tradicionalmente los pequeños rumiantes han estado en manos de los productores más marginales, de bajos recursos económicos y alejados de los beneficios de la asistencia técnica y tecnología (Cuellar, *et al.*, 1998). En los sistemas extensivos de caprinos del norte de México existen alrededor de 5 millones de cabras, se estima que el porcentaje de cabritos producidos anualmente por estas cabras de este sector es de 77% de pariciones x 1.5 cabritos por parto x 85% de sobrevivencia de cabritos hasta alcanzar su peso para su comercialización (Delgadillo, 2003 ). Un problema en este modo de producción, es en muchos casos el grave deterioro de los recursos vegetales que ha ocurrido en ellos debido a su deficiente manejo, se deben implementar estrategias para mejorar la preservación o mejoramiento del recurso forrajero así como también, la implementación de mejoras reproductivas y sanitarias (Mayen, 1999).

La mayoría de las unidades productivas se conforman de pequeños rebaños manejados directamente por un pastor o una familia, la cual realiza todas las actividades de manejo. En términos generales, estas unidades son escasas en infraestructura y sus niveles de productividad son muy bajos, por tanto el productor no genera los ingresos que podrían ser obtenidos si se contara con asesoría e instalaciones básicas. Estos sistemas son los que predominan, aunque debido a la escasa inversión están continuamente en desequilibrio o retroceso pero, a pesar de estas adversidades que sufren estos sistemas, más del 70% de los productos derivados de la ganadería caprina es producido en estos sistemas (FIRA, 1999).



### **2.2.2 Sistema intensivo**

Este sistema de producción caprina aporta de un 25% a 30% de la producción total de leche en el país (FIRA, 1999). El manejo en intensivo de caprinos requiere ganado de alta calidad genética, que se mantenga confinado en los corrales de la granja donde se alimenta con raciones balanceadas de alimentos nutritivos, apropiados para cada una de sus etapas de producción. Esta explotación requiere más conocimientos que simple pastoreo y una mayor inversión en animales, alimentos y cuidados de la salud. A cambio tiene que producir ganancias mucho más elevadas que la cría mediante sistema extensivo o mixto (Galina, 2002).

Debido a las necesidades mencionadas se han implementado programas de mejoramiento genético en base a las necesidades particulares de este sistema de explotación, de esta forma se ha logrado introducir animales que aporten mejoras genéticas, productivas y reproductivas al hato en desarrollo apoyadas en tecnologías eproductivas que apoyen el desarrollo en este tipo de producción.

### **2.3 Estacionalidad reproductiva**

Los ciclos reproductivos en los animales obedecen a situaciones que, al ser interpretadas, determinan la conveniencia o no de su presentación. La actividad sexual en la mayoría de estos últimos, inicia solo si las condiciones presentes aseguran la alta probabilidad de supervivencia de la madre como la de posibles crías, con el propósito de determinar si esta condición se cumple, el animal utiliza una serie de mecanismos complejos que tienen como fin informar sobre el estado actual del medio ambiente donde se desarrolla (Álvarez y Zarco, 2002). Usando estos mecanismos, se favorecerá el éxito reproductivo al permitir que las hembras estén en adecuada condición nutricional para enfrentar el alto costo energético del final de la gestación y la lactancia, obteniendo así crías aptas para sobrevivir y desarrollarse en condiciones climáticas favorables. (Rosa y Bryant, 2003; Vera, 2013).

Está bien establecido que la reproducción estacional en pequeños rumiantes está regulado principalmente por la duración del día o fotoperiodo,

presencia del otro sexo o estrés, sin embargo, otras señales del ambiente (temperatura, nutrición) se cree que modulan su efecto. Mientras que en las regiones templadas, el fotoperiodo es el factor decisivo, otros factores ambientales como los antes mencionados, pueden influir en el inicio y la duración del periodo reproductivo (Rosa y Bryant, 2003). En conjunto, todas las señales mencionadas son captadas por el cerebro en forma de señales hormonales o nerviosas y de esta forma son estimuladas la hipófisis y las gónadas. En el ganado caprino, el inicio y fin del periodo de anestro estacional (ovulación/ presencia de libido) está determinado por la disminución e incremento en la frecuencia de secreción pulsátil de GnRH y por consiguiente de LH y FSH (Chemineua *et al*, 2008), esto derivado fundamentalmente de un aumento y disminución en la sensibilidad del hipotálamo a la retroalimentación negativa ejercida por los estrógenos (Lehman *et al*, 1997).

#### **2.4 Límites de estacionalidad reproductiva en México**

Existen razas de caprinos en las cuales la estacionalidad reproductiva está basada rígidamente por el fotoperiodo, observándose una gran variabilidad en cuanto a la duración y las fechas de inicio y finalización de la actividad reproductiva tanto para hembras como para machos (Silvestre *et al.*, 2012). En los machos cabríos del subtrópico Mexicano (26° LN) el período de baja actividad sexual va de enero a mayo, mientras que en las hembras se extiende de marzo a julio (primavera/ verano) (Carrillo *et al.*, 2010), con una etapa de actividad sexual durante el otoño e invierno (Vera *et al.*, 2013).

Estos datos pueden ser variables dependiendo de la raza, latitud y el estado nutricional en el que se encuentren los animales. Una de las limitantes que se tiene en la mayoría de los sistemas de producción en México, es que de manera general el comportamiento sexual y actividad endocrina del macho depende de la secreción de testosterona, que disminuye durante la primavera y el verano (latitud, altitud en México), esto repercute el tamaño testicular, el comportamiento sexual, el volumen del eyaculado y el número total de espermatozoides/ml que en esta época disminuyen, por lo cual mientras más nos alejamos de la estación

reproductiva la calidad seminal va en disminución y de este modo se reduce la eficiencia reproductiva del semental (Carrillo *et al*, 2010).

La hembra a grandes rasgos cuenta con una temporada de cría, caracterizada por la sucesión a intervalos regulares de la conducta y la ovulación del estro, la estación de anestro está caracterizada por el cese de la actividad sexual. La transición del anestro a la temporada de cría es gradual, con la aparición de ciclos cortos, porque el primer cuerpo lúteo (LC) a menudo retrocede prematuramente 5-6 días después de su formación (Rosa y Bryant, 2003), inconveniente que también se suma y está directamente relacionado al estrés nutricional en esta etapa y época del año (Agredo *et al*, 2018).

Estas características que se presentan en la reproducción de los rebaños caprinos, sesgan en mayor o menor medida la fluctuación de productos como cabrito o leche y sus derivados, ya que la oferta de estos productos se ve también presenta de forma estacional, los precios de los productos caprinos disminuyen durante el periodo natural de producción al incrementarse la oferta, lo que reduce los ingresos de los productores, en cambio, los precios de estos productos se incrementan durante el periodo de baja producción debido a la disminución de la oferta (Chemineau *et al.*, 2007). Los consumidores solo obtiene productos frescos durante los meses de producción, pero el resto del año deben consumir productos que han sido procesados para su preservación lo que modifica la calidad de los mismos representando esto un importante problema zootécnico en alrededor de un millón y medio de mexicanos que se dedican a esta actividad en 494 mil unidades de producción (SAGARPA, 2012).

## **2.5 Fisiología reproductiva del macho cabrío**

Los eventos reproductivos en el macho caprino ocurren a través de mecanismos de retroalimentación entre hormonas, el sistema nervioso, y las gónadas. En este sentido, diversos factores internos (endocrinológicos, genéticos, etc.) y medioambientales (fotoperiodo, temperatura, nutrición, interacciones socio-sexuales, experiencia etc.) son interpretados por el sistema nervioso central,

repercutiendo sobre la respuesta endocrina y por lo tanto sobre la reproducción (Hawken y Martin, 2006).

El control hormonal de la actividad reproductora en el macho se debe a la GnRH que es secretada de manera pulsátil por el hipotálamo, ésta hormona estimula a las células monohormonales o bihormonales de la hipófisis que generan secreciones pulsátiles de LH y de manera más continua en una forma no episódica a la FSH (Restal, 1992).

La actividad espermatogénica y de comportamiento sexual depende de la secreción de la LH y FSH. Estas hormonas inducen la diferenciación y la multiplicación de las células germinales, así como la síntesis y la secreción de la testosterona por las células de Leydig del testículo. La testosterona es esencial para el desarrollo de los órganos reproductores, participa en el mantenimiento de la espermatogénesis, también induce el comportamiento sexual y ejerce una retroalimentación sobre la secreción de las gonadotropinas. Los cambios bruscos de la concentración plasmática de LH provocan una estimulación eficiente de las células de Leydig del testículo, las cuales se estimulan para liberar la testosterona en la sangre. Cada pulso de LH es seguido de un pulso de testosterona, cuya amplitud varía según la situación fisiológica del animal., cuando la frecuencia no es muy elevada vuelve a su nivel basal. (Chemineau y Delgadillo, 1993). Para el caso de la hormona foliculostimulante (FSH) se ve influenciada por la hormona inhibina y la testosterona de manera directa en los gonadotropos de la hipófisis (Soto, 2008).

### **2.5.1 Regulación endócrina**

En las razas caprinas estacionales de climas templados, la duración del día (fotoperíodo) y sus variaciones determinan los cambios estacionales de la actividad neuroendocrina. La percepción de la duración del día se hace por la retina que transmite, por vía nerviosa, la información a la glándula pineal (o epífisis). Esta última sintetiza y secreta la melatonina en la circulación general, únicamente durante la oscuridad. La duración diaria de la secreción está directamente ligada a la duración de la noche (horas de oscuridad). Por la

duración de la secreción, los animales interpretan lo largo del día y responden a las variaciones fotoperiódicas y a su vez se desencadenan secreciones hormonales y efectos de retroalimentación entre estas (O'Shaughnessy, 2015).

Entre las hormonas que su síntesis se ve influida por la duración foto periódica de manera directa y por estacionalidad está la testosterona e inhibina, que contribuyen a la regulación de retroalimentación del eje hipotálamo-pituitaria en los machos. Debido a ésta retroalimentación, las hormonas producidas en el testículo ejercen efectos inhibidores sobre la secreción de la FSH y LH. La inhibina, producida por las células de Sertoli, actúa sobre la hipófisis para frenar o suprimir la producción de FSH, a su vez la testosterona reduce los niveles séricos de la hormona foliculoestimulante, y provoca un efecto inhibiendo la producción de LH en la hipófisis. La testosterona posee un efecto débil de retroalimentación negativa sobre la adenohipófisis, lo que se traduce en una disminución de la secreción de LH. Por otra parte, la testosterona inhibe de forma directa la secreción de GnRH en el hipotálamo, provocando una disminución de gonadotropina LH en la adenohipófisis, lo que reducirá la producción de testosterona en las células de Leydig, pero también, a la inversa, una concentración baja de testosterona permite al hipotálamo aumentar la secreción de GnRH, y esta estimular la liberación de FSH y LH y, con ello, aumentar la testosterona (Smith & Walker, 2015).

### **2.5.2 Función testicular**

Para una interacción normal del espermatozoide con el microambiente del tracto genital femenino y con las envolturas del ovocito, los espermatozoides deben tener buena motilidad progresiva y han de ser morfológicamente normales. Cualquier anomalía que afecte a algún atributo del espermatozoide puede dificultar su migración en el tracto genital de la hembra, impidiendo la unión con el ovocito. Por lo cual alguna anomalía fisiológica en los testículos puede comprometer directamente la capacidad fecundante de los espermatozoides (Rodríguez, 2006).

Los testículos presentan estructura compleja, que regula algunas funciones, entre ellas la síntesis y secreción de la hormona testosterona y la producción de espermatozoides. El parénquima testicular consta de tejidos como los túbulos seminíferos y las células intersticiales, los primeros formados por las células de Sertoli en conjunto con las células germinales, mientras que el intersticio se encuentra formado por las células de Leydig, macrófagos, fibroblastos, vasos sanguíneos y linfáticos. Como se ha mencionado anteriormente el funcionamiento testicular en el macho cabrío adulto, está ligado, controlado y coordinado por la secreción de GnRH en el hipotálamo, las células de la hipófisis que segregan LH y la FSH y por la testosterona que se produce localmente (Gnessi *et al.*, 1997).

El epidídimo está estrechamente unido con el testículo, la cola de este es el principal sitio de almacenamiento de los espermatozoides dentro del testículo, el cual contiene aproximadamente el 70% de la cantidad total de gametos presentes en los conductos excretores, mientras que el conducto deferente contiene sólo un 2%. Es en esta parte anatómica donde los espermatozoides maduran y adquieren a su vez la capacidad necesaria para fertilizar el ovulo, este lugar es el almacén de entre 12 a 16 millones de espermatozoides (Marengo, 2008). La mayor parte de los espermatozoides almacenados y no eyaculados se eliminan gradualmente por excreción en la orina. Aquellos que no se eliminan en la orina experimentan un envejecimiento gradual, primero pierden su capacidad fecundante, luego su motilidad, y por último, degeneran y mueren (Curtis y Amann, 2001).

### **2.5.3 Espermatogénesis**

Dentro del proceso espermatogénico se ven involucrados andrógenos testiculares y las hormonas hipofisiarias LH y FSH, estas tienen sitios de acción separados en los testículos y trabajan en conjunto para controlar la espermatogénesis (Courrot & Ortavant, 1981). La FSH actúa sobre las células de Sertoli para activar la expresión génica y vías de señalización para el proceso de producción del esperma, la LH actúa sobre las células de Leydig para promover la

producción de testosterona esencial para mantener la espermatogénesis (Valli *et al.*, 2015). El proceso completo y se compone de tres etapas:

1. Espermatocitogénesis: es la división mitótica de las células espermatogonias y también la diferenciación de estas a pasar a espermatocitos primarios.

2. Meiosis: ocurre la división de los espermatocitos primarios para dar origen a espermatocitos secundarios (ocurre la primera división meiótica).

3.- Espermatogénesis: en esta etapa ocurren los cambios morfológicos de las espermatidas para transformarse finalmente en espermatozoides, estos son transportados hacia la luz del túbulo seminífero (espermiación) donde transitarán hacia el epidídimo donde adquirirán su capacidad para poder fecundar al ovulo (Dadone y Demoulin, 1993).

La duración total de la espermatogénesis es 60 a 69 días, abarcando cada una de las tres etapas un tiempo de 21 a 22 días cada una. La tasa de producción de espermatozoides es directamente proporcional a la masa testicular, y esto depende del momento del año, teniendo los mayores efectos el fotoperíodo y la nutrición (Martin y WalkdenBrown 1994).

## **2.6 Condiciones nutricionales y calidad espermática**

Un factor que se ha mencionado importante en la modulación de la actividad sexual en los pequeños rumiantes es la alimentación (Delgadillo *et al.*, 2008). Los factores nutricionales necesarios para la reproducción exitosa son la energía, proteínas, vitaminas y minerales, los niveles de energía de la dieta, así como la calidad de los forrajes influyen considerablemente en las características del eyaculado y actúan como moduladores de su calidad (Delgadillo *et al.* 2004), el desarrollo testicular tiene una correlación con el índice de masa corporal, por lo que en situaciones de subalimentación, el testículo experimenta una pérdida volumétrica muy superior a la evidenciada en el peso total del animal (Relación 3:1) (Thawaites y Hannan, 1999). Cuando los caprinos adultos son alimentados con raciones bajas en energía por periodos prolongados, la libido y la producción

de testosterona son afectados mucho antes que las características del semen; los efectos de la desnutrición pueden corregirse cuando los animales ya están maduros, pero es más fácil en animales jóvenes por el daño permanente causado al epitelio germinal de los testículos (Hafez, 1993). Existen pocos trabajos en la especie caprina con relación al control y modulación de la estacionalidad reproductiva por efecto negativo de la nutrición y de qué manera puede influenciar en los diferentes aspectos que abarca la presencia de actividad sexual o ciclos sexuales (Zarazaga *et al.*, 2009).

## **2.7. Desarrollo y comportamiento sexual del macho cabrío**

A las pocas semanas después del nacimiento de un cabrito comienzan los juegos, y con estos practican patrones de conducta sexual en su rebaño, tales como olfateos, intento de montas etc., estas conductas carecen de motivación sexual, pero que más tarde, al llegar a su madurez sexual le serán de utilidad en el cortejo y monta a las hembras (Leboeuf, *et al.*, 2000), si un cabrito es aislado de su rebaño (especialmente de las hembras) manifestará un comportamiento menos intenso al ser expuesto a estas (Perkins, *et al.*, 1991). Stellfug y Lewis (2007) en un estudio realizado en carneros que fueron criados en rebaño de solo machos, comprobaron que si estos a una edad temprana (7-8 meses) se reunían en grupos con hembras, obtenían calificaciones más altas en pruebas que se realizaron de "capacidad de servicio", contrario a esto si los machos se sometían a edades mayores entre un año y año y medio, no mejoraban su calidad de monta.

En cuanto al comportamiento sexual del macho cabrío en etapa reproductiva, se mantienen concentraciones altas de testosterona, esta hormona hace que se manifieste, mantenga y eleve la libido, la testosterona es degradada a estradiol por acción de la aromatasa (enzima es importante para el control de los comportamientos reproductivos de machos). Otra de las hormonas importantes en el comportamiento sexual, es la melatonina, que es clave entre las secuencias fotoperiódicas y la reproducción, ya que la producción de esta hormona aumenta durante las noches largas, favoreciendo la secreción de GnRH y por ende, la producción de hormonas hipofisarias que actuaran en la gónada masculina



favoreciendo la libido del animal (por acción de testosterona) (Perkins & Roselli, 2007).

Externamente el macho cabrío presenta una serie de conductas propias que mantiene de manera constante en la época de estación reproductiva. Estas conductas son influenciadas en una parte por la presencia de las hembras, aspectos nutricionales y posible estrés., tomando en cuenta que estos aspectos podrían afectar durante la época reproductiva o en el tiempo que precedió a esta (Valencia *et al.*, 1990).

En el rebaño los aspectos sociales en los que se encuentra el macho influyen en su comportamiento sexual, y de esta manera en su motivación y eficiencia, machos que se mantiene bajo condiciones extensivas en los que pueden ser sumisos debido a la presencia de machos dominantes montarán menos a las hembras., según reporta Hulet (1996), los machos dominantes pueden copular entre doce y quince veces por día durante la temporada reproductiva, mientras que los sumisos solamente logran promediar de dos a cinco montas o copulas diarias.

En cuando a la copula, algunos autores mencionan que ciertas hembras pueden tener preferencias por aquellos machos que tengan y muestren mayor intensidad y complejidad en su conducta de cortejo, la primera fase del comportamiento sexual implica que el macho identifique el estado fisiológico en que se encuentra la hembra, el macho cabrío buscará a las hembras que estén próximas a estar en celo o a las que lo estén, para esto realizará el flehmen detectando las feromonas en el aire (órgano vomeronasal) y ubicando de este modo a las hembras, realizará un olfateo en la zona perianal donde pudiera haber micción por parte de la hembra, la mayoría de los machos da a las hembras en cortejo pequeños golpes y empujones con las patas y cabeza, realizan lengüeteos, vocalizan con sonidos bajos y se mantienen con conducta ofensiva (Delgadillo, 2011).

Cuando el macho encuentra una hembra receptiva esta se quedará quieta y esperará que la monten, en esta, el macho realizara movimientos pélvicos sin intromisión hasta que el glande de se encuentre en contacto con la mucosa

vaginal, cuando esto sucede el macho reacciona con una contracción pélvica fuerte, acompañado de un movimiento de propulsión con ayuda de sus patas traseras, en este momento es donde ocurre la eyaculación (los procesos de erección y eyaculación, están controlados por circuitos de neuronas inervan los órganos pélvicos que se encuentran en los núcleos dorsomedial y dorsolateral de las regiones lumbar y sacra de la médula espinal., circuitos donde los mecanismos cerebrales pueden ejercer un control tanto excitatorio como inhibitorio), el macho procederá a bajar de la hembra e iniciara un periodo de falta de interés sexual (periodo refractario) transcurrido este periodo, el macho reiniciara su comportamiento de cortejo nuevamente (Cottrell *et al.*, 1978., Kirk *et al.*, 1987).

Un macho con poca capacidad de monta o libido baja no debe ser juzgado de primera como un mal o posible semental, la razón de esto puede estar en problemas de locomoción (patas débiles), condiciones patológicas, anormalidades en los genitales, o falta de experiencia sexual. En cuanto a las hembras, parecen tener una tendencia hacia favorecer la reproducción de ciertos individuos, sobre todo bajo condiciones extensivas. Sin embargo, hoy en día los sistemas intensivos de crianza donde se utilizan montas controladas e inseminación artificial, desaparecen este mecanismo, y es el productor quien selecciona a los reproductores, el número de cópulas y hasta el número de espermatozoides en cuanto a la inseminación artificial (Fthenakis, *et al.*, 2001).

## **2.8 Estrategias para contrarrestar la estacionalidad reproductiva en el macho caprino**

El conocimiento de las estrategias reproductivas de los caprinos y el de su ciclo anual de reproducción en machos y hembras, es necesario para manipular su actividad reproductiva y tener la oportunidad de producir leche, queso y cabrito todo el año. Existen diversas razones para manipular la actividad sexual en el macho caprino, entre ellas la importancia de la sincronización de estro ya que esto puede servir para controlar el tiempo de reproducción y la ocurrencia de los partos para un mejor manejo del rebaño y facilitar en gran medida la utilización de los programas de inseminación artificial, fecundación *in vitro* y la ovulación múltiple así como también la transferencia de embriones. De igual modo, el control de la

reproducción permite inducir la actividad sexual en animales con reproducción estacional lo cual disminuirá el intervalo de tiempo requerido para producir nuevas generaciones de individuos dentro del hato (Chemineua *et al.*, 1993). Logrando establecer una estrategia para inducir la actividad sexual de manera eficiente se podría permitir un flujo de productos más estables a través del año, independientemente del fin zootécnico de las unidades de producción, con lo que se busca abastecer la demanda que se presenta.

### **2.8.1 Secuencias fotoperiódicas**

Entre los métodos que existen para estimular el comportamiento sexual en el macho caprino, se encuentra el tratamiento fotoperiódico, descrito por Delgadillo *et al.* (2012) en el cuál machos caprinos fueron sometidos a días largos artificialmente (16 horas luz/día) a partir del 16 de noviembre por dos meses, seguido por dos implantes subcutáneos de melatonina y se expusieron al fotoperiodo natural, a partir de mediados de enero. El resultado obtenido fue un estímulo de secreción de LH y testosterona, comportamiento sexual y producción espermática en los meses de reposo sexual (a partir de mediados de marzo). Los machos cabríos que son estimulados a un intenso comportamiento sexual a través de un tratamiento fotoperiodico de días largos y estimulan más del 90% de las cabras a la mitad del anestro estacional lo cual representa un incremento considerable en la reproducción y producción del rebaño (Rivas *et al.*, 2010).

### **2.8.2 Administración de testosterona**

La testosterona es uno de los esteroides fundamentales asociados al proceso de reproducción. Asegura la diferenciación sexual y el desarrollo de los caracteres sexuales secundarios del macho semental y regula la secreción de gonadotropinas hipofisarias, se encarga de la virilización externa durante la embriogénesis, la mayor parte de la maduración sexual y la vida sexual adulta en el macho, incluyendo la iniciación y mantenimiento de la espermatogénesis. El 98% de la testosterona circula unida a globulina transportadora siendo el 2% libre la fracción biológicamente activa y disponible (Soto *et al.*, 2001).

La testosterona es necesaria para el comportamiento sexual, la función testicular y el desarrollo muscular de un macho en la pubertad y la adultez. Las concentraciones testiculares de testosterona son considerablemente superiores a las concentraciones sistémicas, y son necesarias para la correcta función de esta gónada, las proteínas producidas por los sustentocitos que se unen a la testosterona son responsables de la mantención de esta concentración testicular. Cuando las concentraciones de testosterona son altas, este sistema disminuye la producción de esta debido a la inhibición que se produce por el hipotálamo-hipófisis, por el contrario, cuando las concentraciones son bajas no hay inhibición y el sistema incrementa la producción de testosterona (Delgadillo *et al.* 2004).

Los machos tratados con testosterona exógena se inducen eficientemente a las cabras en anestro, en un estudio que se realizó, se reportó que mediante el tratamiento con testosterona exógena a machos castrados se provocó la actividad sexual en el 74% de las hembras del rebaño en los primeros 13 días después de la introducción de los machos que ya presentaban comportamiento sexual, mientras que el grupo control expuesto a machos castrados no tratados fue solamente del 17% (Crocker *et al.*, 1982).

La aplicación de testosterona a machos sexualmente inactivos es un método simple y eficaz para inducir sementales a la actividad sexual, lo que a su vez estimula a las hembras del rebaño para que se vuelvan sexualmente activa con un celo fértil (Véliz *et al.*, 2009). Los sementales tratados son igualmente efectivos para sincronizar el estro en cabras anovulatorias mediante el efecto macho, estos producen niveles altos de fertilidad en el rebaño a pesar del hecho de que la libido en sementales tratados con testosterona es menor que la alcanzada por los machos que entran en actividad reproductiva naturalmente (Rivas *et al.*, 2010).

## **2.9 Efecto endocrino de Hormona Liberadora de Gonadotropinas GnRH**

La hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH), es un péptido que se encarga de la liberación y regulación de los gonadotropos en la hipófisis, se encuentra difusa en un sistema neuronal, en el área preóptica y anterior del área hipotalámica. Un número aproximado de 1000 neuronas, conocidas como GnRH proyectan sus terminales hasta la eminencia media, donde este péptido se libera en los vasos del sistema porta-hipotalámico-hipofisiario. La secreción de GnRH es de forma pulsátil, la frecuencia de la pulsatilidad es la principal característica de esta secreción y que codifica cada parte del ciclo sexual tanto de la hembra como del macho (Ciechanowska *et al.*, 2010).

La pulsación normalmente sucede cada 30-120 minutos para estimular la biosíntesis y secreción de LH y FSH desde los gonadotropos de la pituitaria. Cada pulso de GnRH estimula un pulso de LH; sin embargo, falta por comprenderse su función sobre los pulsos de FSH. Los patrones asincrónicos de liberación de LH y FSH se dan como resultado de los cambios en la frecuencia de los pulsos de GnRH, producido por los efectos moduladores de los esteroides gonadales y los efectos de las hormonas peptídicas sobre la respuesta de la FSH y LH a la GnRH, así también por las diferencias en la vida media de estas dos hormonas. Por otra parte, mientras que la LH se almacena y depende en gran medida para la secreción de GnRH, la FSH tiende a ser constitutivamente secretada y más dependiente de la biosíntesis para la secreción (Millar, 2005).

## **3.5 Trabajos experimentales con uso de GnRH**

En algunas especies que fueron parte de estudios como caninos y felinos se ha demostrado que la administración a largo plazo de agonistas de GnRH produce una desensibilización de la hipófisis a los efectos estimulantes que la GnRH produce sobre sus receptores locales. Después de una estimulación inicial, los implantes de GnRH de liberación lenta y controlada conducen a la regulación negativa de los receptores GnRH hipofisarios lo que resulta en una secreción de gonadotropina significativamente reducida y como consecuencia en una pérdida funcional de actividad ovárica y testicular (Goericke *et al.*, 2011).

Tilbrook, *et al.* (1993) realizaron un experimento con la administración de un agonista de GnRH en carneros prepuberales de 16 semanas de edad, en este trabajo se inhibió el desarrollo de la conducta sexual, se obtuvieron concentraciones reducidas de testosterona plasmática, se retardo el desarrollo testicular y del epidídimo, estos últimos continuaron siendo reducidos ocho semanas de concluido el experimento, sin embargo los efectos provocados por el tratamiento pudieron ser reversibles completamente después de este tiempo.

Gautier, *et al.* (2018) realizaron un experimento con un análogo de GnRH (deslorelina) por 11 semanas en liberación continua a caballos de la raza Shetland a los cuales pretendían inducir a esterilidad temporal., de acuerdo a sus resultados concluyeron que este análogo solo deprime sexualmente al animal en las primeras semanas por efecto de desensibilización gonadotropica en la hipófisis, sin embargo no se tuvieron resultados negativos en las variables espermáticas, por lo cual se concluye que el testículo mantenía su función endocrina y espermatogénica.

Jiménez, *et al.* (2007) compararon la respuesta de secreción de LH y testosterona entre carneros y toros, durante y después de un tratamiento a largo plazo con análogos de GnRH, resultando en un aumentó en las concentraciones basales de LH y testosterona tanto en carneros como en toros, con un mayor incremento relativo en los toros.

Loyo *et al.* (2016) realizaron un trabajo experimental en machos caprinos fuera de estación reproductiva con administración de un análogo de GnRH (gonadorelina) a dosis de 250 ng, en el cual no se observaron diferencias significativas en las variables evaluadas de interés sexual, calidad seminal, y concentraciones de testosterona plasmática y sólo se amentó la libido en la segunda semana posterior al tratamiento, pero después mostró comportamiento similar al grupo control, por lo cual pudo haber efecto negativo en la desensibilización de gonadotropos.

Aspden *et al.* (1997) trataron toros con el análogo de GnrH (deslorelina) usado también en caninos y hurones, durante el experimento la testosterona

plasmática de estos toros se elevó, así como las concentraciones de LH, por lo cual demostró ser eficiente bajo las condiciones de este experimento.

Fray *et al.* (1995) desarrollaron un trabajo experimental donde realizaron aplicaciones subcutáneas de GnRH en ovejas lactantes acíclicas, la aplicación de GnRH estimulo la liberación de LH produciendo una ola preovulatoria de LH y por consiguiente una ovulación.

### **III. OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo general**

Evaluar los efectos de aplicación continua de GnRH en una dosis considerada como alta sobre la activación sexual de machos fuera de estación reproductiva.

#### **3.2 Objetivo específico**

- Analizar el efecto de la aplicación continua de GnRH sobre la actividad endocrina testicular de machos caprinos durante la etapa de depresión estacional.
- Analizar el efecto de la aplicación continua de GnRH sobre la actividad espermatogénica testicular de machos caprinos durante la etapa de depresión estacional.
- Analizar el efecto de la aplicación continua de GnRH sobre la libido de machos caprinos durante la etapa de depresión estacional.



#### **IV. HIPÓTESIS**

El tratamiento con GnRH a dosis alta estimulará eficientemente la actividad endócrina testicular y de esta manera la libido y la actividad espermatogénica en machos fuera de estación reproductiva.

## V. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1 Ubicación geográfica

El estudio se realizó en el periodo del 14 de marzo al 18 de mayo, en la unidad Amazcala de la universidad Autónoma de Querétaro situada a 20° 1´ de latitud norte, 100´ 36´ de la longitud oeste y 1900 m.s.m. La temperatura y precipitación media anual en la región son de 15°C y de 570 mm, respectivamente (INEGI, 2012).

### 5.2 Diseño experimental

Se utilizaron 8 machos de la raza Nubia de  $24 \pm 0.5$  meses de edad con una circunferencia escrotal de  $24.5 \text{ cm} \pm .56$ , IMC  $7.0 \pm .37$ , con un peso de  $35 \pm .235$  kg y clínicamente sanos. Durante el estudio se realizó un monitoreo semanal del IMC de los machos, a manera de seguimiento de su estado nutricional; la dieta proporcionada antes y durante el periodo experimental se formuló para cubrir el 100 % de sus necesidades nutricionales.

Los animales fueron asignados aleatoriamente a 2 grupos de cuatro animales cada uno; el grupo de tratamiento (Grupo GnRH) y grupo testigo o control (Grupo TES). Los tratamientos experimentales consistieron en: **Grupo TES** sin implante de bomba osmótica **Grupo GNRH dosis alta**, al cual se hizo inserción de una bomba osmótica (ALZET® 2ml), subcutánea calibrada para liberar 500 ng/h de un análogo de GnRH (gonadorelina). Los dos tratamientos se mantuvieron por un total de 3 semanas, haciendo cada semana el recambio de la bomba osmótica y midiendo también la GnRH que no había sido liberada y quedaba como residual en la bomba osmótica; como comprobación de la correcta liberación de la hormona.

## **5.2.1 Aplicación de la bomba osmótica**

### **5.2.1.1 Inserción de la bomba osmótica**

La bomba osmótica fue aplicada subcutáneamente, para esto se tuvo que hacer una cirugía menor a cada animal del Grupo GnRH bajo el siguiente protocolo:

#### **5.2.1.1.1 Sedación**

Para mantener al animal quieto durante la inserción de la bomba y someterlo a un menor estrés se aplicaron 0.2ml de clorhidrato de xilacina diluida en 0.3 ml de solución salina fisiológica, la vía de administración intramuscular en la tabla del cuello, esta dosis permitió que los animales se pudieran trabajar estando de pie aproximadamente 15 minutos después de la aplicación.

#### **5.2.1.1.2 Aplicación de anestesia local**

Para insensibilizar el área donde se realizó la incisión, se aplicaron de forma subcutánea aproximadamente 5ml de xilocaína.

#### **5.2.1.1.3 Inserción de la bomba osmótica**

Antes de comenzar se rasuro un área de 7x7cm, se desinfecto con yodo y se procedió a hacer una incisión de 2cm con un bisturí, se disecciono el área con unas pinzas de hemostasia y con unas pinzas de ratón para abrir espacio en donde se colocaría la bomba, después de hacer el espacio suficiente se colocó la bomba en el interior con el orificio de liberación hacia arriba.

#### **5.2.1.1.4 Suturas y aplicación de antibiótico**

Se suturó la incisión con puntos separados (2 o 3) y se aplicó Aluspray® (para ayudar a la cicatrización) y Emicina LA (Oxitetraciclina) 1ml por cada 10kg de peso (3.5 a 4ml x animal) como antibiótico. Los animales se monitoreaban diario para revisar que no hubiera problemas en la herida, como puntos sueltos o algún desgarre de la piel, ya que esto puede ocasionar que los animales se lastimaran.

### **5.2.1.2 Recambio de la bomba osmótica**

Debido a la capacidad de la bomba osmótica, cada semana se realizó el cambio de esta. Se siguió el mismo protocolo usado para la puesta de la bomba (1, 2 y 4, difirió en el punto 3 ya que se utilizó la misma incisión).

### **5.2.1.3 Medición del residuo de GnRH en la bomba osmótica**

En cada cambio semanal se medía el residuo de GnRH que quedaba dentro de las bombas, para esto quitaba la tapa de las bombas y se utilizó una jeringa de 3ml con la aguja punta roma para introducirla hasta el fondo del compartimento interior, se succionada el residuo y se medía el residuo en la jeringa.

## **5.3 Evaluación de las variables**

### **5.3.1 Evaluación de la libido**

Dos semanas antes de iniciar el tratamiento (1 de marzo), una vez por semana durante las tres semanas de tratamiento (28,12,19 abril) y cada dos semanas durante dos quincenas después de finalizar los tratamientos (3, 18 de mayo), se realizó una evaluación de la conducta sexual en los machos. Para esto, cada uno se expuso a un grupo de 10 hembras en anestro durante 20 minutos registrando la frecuencia de actividad, evaluada en minutos, en que los machos mantuvieron el interés sexual por hembras (montas, intento de montas, pataleo, lengüeteo, flehmen; Loyo *et al.* 2016). Para tener la certeza de registrar y evaluar correctamente la conducta sexual, se video grabo con cámara en dos ángulos diferentes, para capturar este comportamiento y así poder revisarlo más detalladamente en escritorio haciendo el registro correspondiente por cada macho.

### **5.3.2 Toma de muestras para medir niveles de testosterona**

Para caracterizar la actividad espermatogénica testicular y el efecto endocrino de los tratamientos, una semana antes de iniciarlos (14 de marzo), se tomó una muestra sanguínea para determinar la cantidad de testosterona en el

plasma sanguíneo y tenerla como referencia. Durante las 3 semanas de tratamiento (21 de marzo al 5 de abril), se tomaron semanalmente 8 muestras por animal, estas muestras sanguíneas se colectaron mediante punción de la vena yugular y fueron colectadas en tubos Vacutainer® con EDTA 7.2mg, el proceso fue tomar la serie de muestras a intervalos de 40 min. (Tiempo 0, 40, 80, 120, 160 y 200); esto con el fin de compensar por las variaciones normales de concentración de esta hormona en sangre y obtener el promedio de concentración durante el periodo de muestreo. Después de finalizado el tratamiento se tomaron muestras del mismo modo en la semana 6 y 8 para poder evaluar los posibles efectos postratamiento de GnRH.

Las muestras de sangre fueron centrifugada por 10min a 1 500 RPM para obtener el plasma sanguíneo el cual se transfirió mediante pipetas desechables a viales previamente identificados. Finalmente las muestras de plasma fueron almacenadas en un congelador comercial a una temperatura de -20 °C hasta su posterior análisis en el laboratorio para determinar las concentraciones de testosterona por radioinmunoanálisis (TESTO-CT2, Kit-RIA, Cisbio; CV intraensayo 5.0 %); el promedio de testosterona en cada día de muestreo fue usado como variable de respuesta.

### **5.3.3 Evaluación de circunferencia escrotal e índice de masa corporal**

Estas variables se evaluaron cada siete días durante diez semanas (20 febrero- 10 de marzo), para el IMC los animales se medían con una cinta métrica en dos medidas en cm (del piso a la cruz, de la cruz al maslo de la cola) y se hacia el cálculo para determinar el valor individual. Para la CE, cada semana se realizaba la medición con una cinta métrica de la circunferencia de los testículos.

### **5.3.3 Evaluación de la calidad seminal**

#### **5.3.3.1 Metodología y frecuencia de la colecta**

Se realizó en las semanas 2, 4, 6, 8 y 10, una colecta por animal por medio de electro eyaculador, a estas muestras de semen se les realizó la evaluación de

algunos parámetros de calidad seminal (motilidad progresiva, volumen y concentración espermática). La colección de eyaculados y evaluación de calidad seminal se continuó a intervalos de 2 semanas y finalizó a la semana 10.

A los 8 animales se les recortó 1cm de pelo del prepucio, esto para evitar posible contaminación. Se realizó un lavado prepucial con solución salina fisiológica para eliminar restos de tierra o excremento que pudieran haber estado en el interior del prepucio, así como restos de orina que pudieran contaminar y/o afectar la calidad de las muestras.

El equipo utilizado para la colecta del semen constó de un embudo plástico, un tubo graduado de cristal de 8ml, y un tubo plástico que funcionaba de baño maría con agua a 37°C, esto para evitar un shock térmico en los espermatozoides. Todo el material utilizado fue debidamente lavado con solución salina fisiológica.

Se lubricaron los electrodos del electroeyaculador con gel lubricante para evitar molestia en el animal y se comenzó a dar pulsos ligeros y después aumentando hasta llegar a un nivel alto para evitar molestias mayores en el animal, en el momento en que este comenzaba a eyacular se detenían las descargas eléctricas y se colectaba en el embudo plástico el eyaculado.

En forma inmediata después de la colecta, cada eyaculado se llevó a baño maría para poder mantenerlo en temperatura idónea (37° C) antes de ser sometido a la evaluación en laboratorio, misma que se realizó de la manera más rápida posible para evitar el deterioro de la calidad del eyaculado.

Los exámenes proporcionaron información respecto a la a calidad del eyaculado en cuanto al número total de células espermáticas viables disponibles y la motilidad espermática.

### **5.3.3.2 Metodología de la evaluación seminal**

Durante la evaluación se evitaron condiciones tales como exposición directa a los rayos solares, enfriamiento brusco o calentamiento excesivo (no menos de 35° C ni más de 38° C), contacto con sustancias espermicidas o contaminantes, que pudieran afectar las características de la muestra de semen e invalidar los resultados de la evaluación.

La evaluación a la que se sometieron las muestras de semen de los dos grupos fueron:

a) VOLUMEN

Se determinó directamente en el tubo de colección el cual estuvo graduado en décimas de mililitro para este efecto.

b) MOTILIDAD PROGRESIVA

Para realizar la evaluación de este parámetro se mantuvo la temperatura de todo el material que entro en contacto con el semen a 37 °C, así mismo para diluirlo se utilizó solución salina fisiológica para no afectar sus características de motilidad progresiva.

Con una micropipeta se colocaron 30  $\mu$ l de solución salina en un portaobjetos, y con la misma punta de la micropipeta se daba un toque sobre superficie de la muestra del semen y se ponía en el portaobjetos con la solución salina. Después de tener el portaobjetos en el microscopio se enfocaba a 100X y 400X para realizar la evaluación de esta variable en puntos porcentuales en base a los espermatozoides con movimiento progresivo vistos en cinco campos distintos.

c) CONCENTRACIÓN ESPERMÁTICA

Para esta variable en un tubo para centrifuga de 7ml se colocaron .9 mililitros de una solución de rosa de bengala con formol (95% rosa 5% formol) con una pipeta de cristal graduada, después con una micropipeta se añadieron 90  $\mu$ l más de la misma solución y 10  $\mu$ l de semen para tener una muestra 1:100, después de esto se añadieron 2ml de solución salina fisiológica para tener nuestra concentración de 1:300 que es la recomendada para la cámara de Neubauer que se utilizó.

En la cámara de Neubauer se evaluaron 2 muestras del mismo semen siguiendo el procedimiento estándar.

### **5.3.3.3 Metodología para la evaluación de anomalías espermáticas**

Para la evaluación de esta variable se tomaba con la punta de una pipeta de cristal una gota de eosina nigrosina y se ponía en un portaobjetos, después con la punta de una micropipeta se tocaba la muestra de semen y se colocaba encima del colorante, finalmente con otro portaobjetos se realizó un frotis de cada muestra de los 8 animales.

El frotis se evaluó en el microscopio a aumento de 1000X usando aceite de inmersión. El conteo se realizó en base a 200 células espermáticas tratando de recorrer la mayor parte de campos que abarcara el frotis (5 campos), se usó un conteo para vivos-muertos y otro contando las anomalías que observaban en cada muestra.

## **5.4 Análisis estadístico**

El análisis estadístico de los resultados fue por ANDEVA para un modelo mixto de observaciones repetidas en donde el Tratamiento fue el factor de parcela y el Tiempo y la interacción Tratamiento/Tiempo factores de sub-parcela; PV se usó como covariable para CE y la MP se transformó a arcoseno de la raíz cuadrada de la proporción para su análisis con el fin de normalizarla.



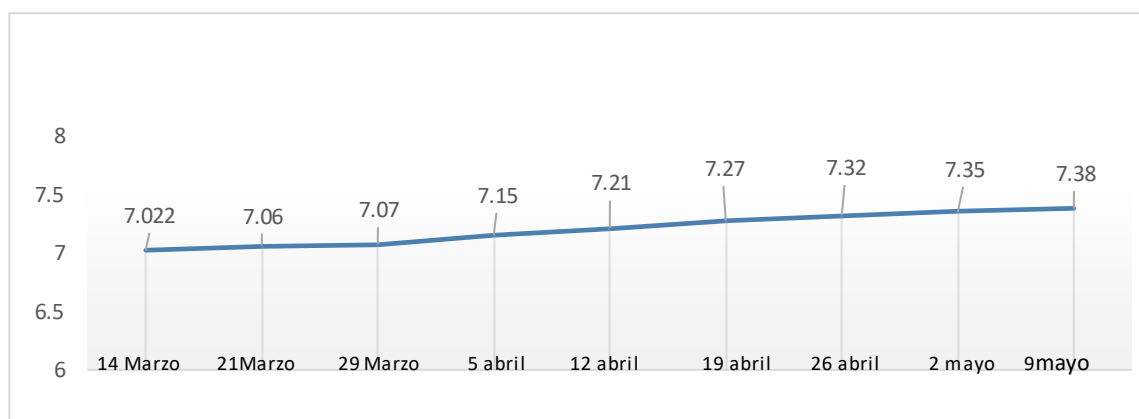
## VI RESULTADOS

### 6.1 Índice de masa corporal

Ni el Tratamiento ni la interacción Tratamiento x Semana influyeron el IMC, sin embargo, sí se observó un ligero incremento en esta variable a través del periodo experimental (Tiempo  $P < 0.05$ ;  $+0.037$  puntos de IMC entre inicio y final del experimento).

**Cuadro 1.** Resultados de análisis estadísticos para índice de masa corporal

Efecto	Prov > F
Tratamientos	0.35
Semanas	$< 0.0001^*$
TRT*SEMANA	0.70



**Fig. 1.** Índice de masa corporal (IMC) a través del tiempo de experimento (medias de cuadrados mínimos  $\pm 0.25$ ).

### 6.2 Circunferencia escrotal

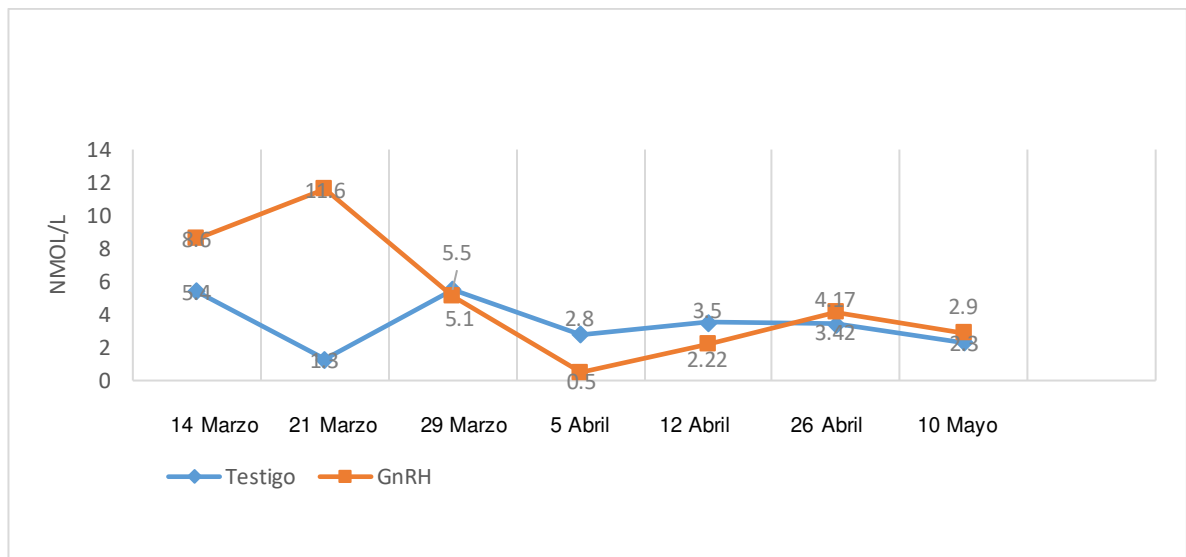
Por su parte, la circunferencia escrotal (CE) no fue influenciada por ninguno de los factores evaluados; promedio general  $25.4 \pm 0.6$  cm efecto de tratamientos  $P = 0.84$ , efecto entre semanas  $P = 0.71$ , efecto en la interacción TRT\* Semana  $P = 0.75$ .

### 6.3 Concentración plasmática de testosterona

La concentración plasmática de testosterona (TEST) no fue influida por el efecto de tratamiento, pero si por el de Semana ( $P < 0.01$ ) y por la interacción Tratamiento x Semana ( $P < 0.05$ ); los valores de TEST fueron similares entre grupos experimentales previo al inicio de tratamientos, pero posteriormente la aplicación de GnRH provocó un incremento significativo en la concentración de la hormona, aunque solo durante la primera semana (Fig. 2).

**Cuadro 2.** Resultados de análisis estadístico para concentración de testosterona plasmática.

Efecto	Prov. > F
Tratamientos	0.13
Semanas	0.0070*
TRT*SEMANA	0.0117*



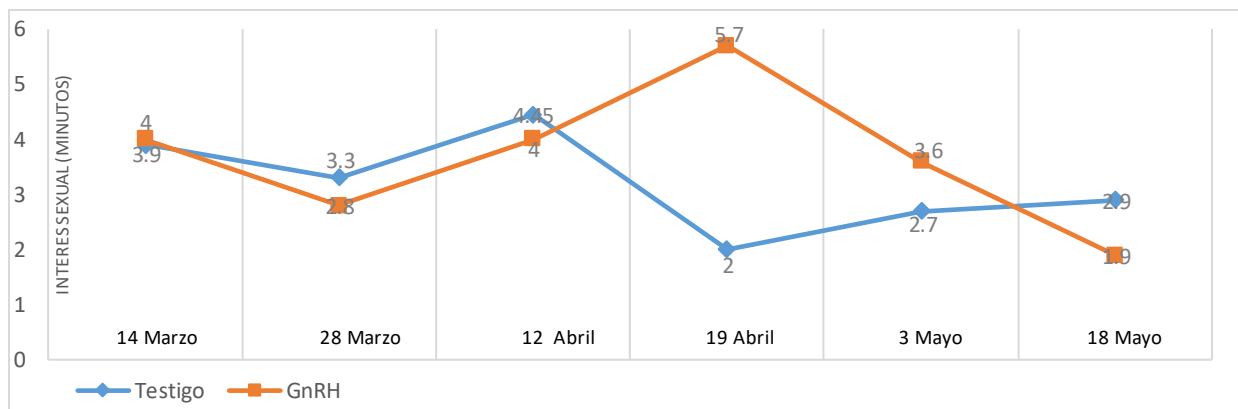
**Fig. 2.** Concentración de testosterona plasmática (medias de cuadrados mínimos  $\pm 1.5$ ).

## 6.4 Intensidad de libido (interés sexual)

En cuanto a la intensidad de libido, expresada como la duración del interés sexual de los machos por hembras en anestro (Loyo *et al.*, 2016), se observaron efectos similares a los encontrados en las concentraciones plasmáticas de testosterona, aunque desfasados por algunas semanas; no hubo efecto de Tratamiento, pero sí de Semana y de Tratamiento x Semana ( $P < 0.01$ ).

**Cuadro 3.** Resultados de análisis estadísticos para la duración del interés sexual.

Efecto	Provb > F
Tratamientos	0.90
Semanas	0.039*
TRT*SEMANA	0.0045*



**Fig. 3.** Duración del Interés Sexual (medias de cuadrados mínimos  $\pm 0.4$ ).

## 6.5 Variables de calidad seminal

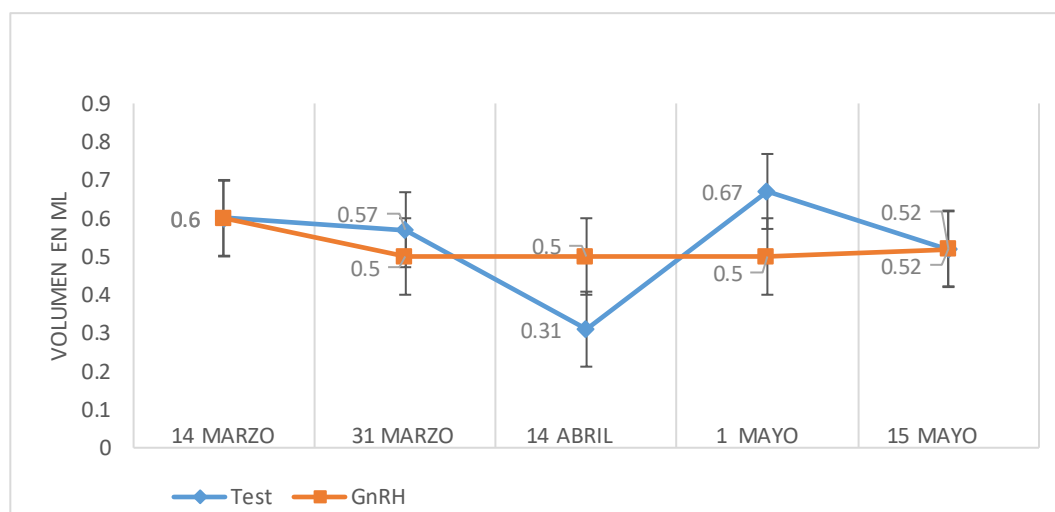
Para las variables de calidad seminal: volumen (Fig. 4), concentración espermática (Fig.6) motilidad progresiva (Fig.5) y total de espermatozoides viables por eyaculado (Fig.7) no hubo efecto de Tratamiento, Tiempo e interacción Tratamiento x Tiempo durante el periodo experimental ( $0.6 \pm 0.1$  ml,  $2.0 \pm 0.4 \times 10^9$

espermatozoides,  $71.2 \pm 3.9$  % y 18 millones  $\pm 5$  respectivamente). Para el porcentaje de anomalías espermáticas por eyaculado (Fig.8) hubo solo efecto de Tratamiento (12.7 vs 4.7 % en TESTIGO vs GnRH,  $P = <0.05$ ), aunque esto desde el inicio del periodo experimental por lo que probablemente se trató de una diferencia intrínseca a las unidades experimentales.

### 6.5.1 Volumen

**Cuadro 4.** Resultados de análisis estadísticos para el volumen de eyaculado.

Efecto V	Prov. > F
Tratamientos	1.0000
Semanas	0.1320
TRT*SEMANA	0.2420

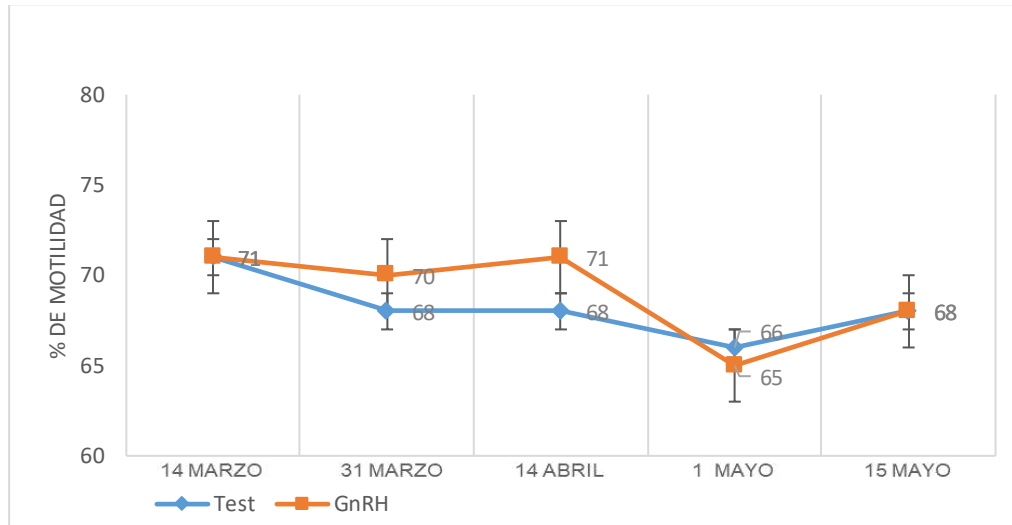


**Fig. 4.** Promedio de volumen por colecta de eyaculados (media de cuadrados mínimos  $0.6 \pm 0.1$  ml).

### 6.5.2 Motilidad progresiva

**Cuadro 5.** Resultados de análisis estadístico para la motilidad progresiva.

Efecto MP	Prov. > F
Tratamientos	1.0000
Semanas	0.4119
TRT*SEMANA	0.9746

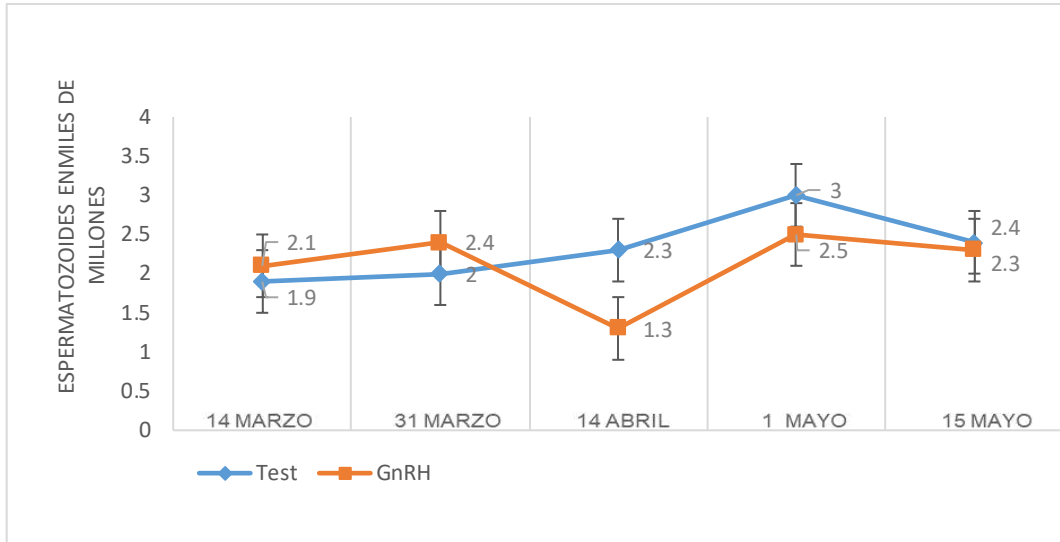


**Fig. 5.** Motilidad progresiva (media de cuadrados mínimos  $71.2 \pm 3.9$  %).

### 6.5.3 Concentración espermática

**Cuadro 6.** Resultados de análisis estadístico para la concentración espermática.

Efecto CE	Prov. > F
Tratamientos	0.6188
Semanas	0.1109
TRT*SEMANA	0.2102

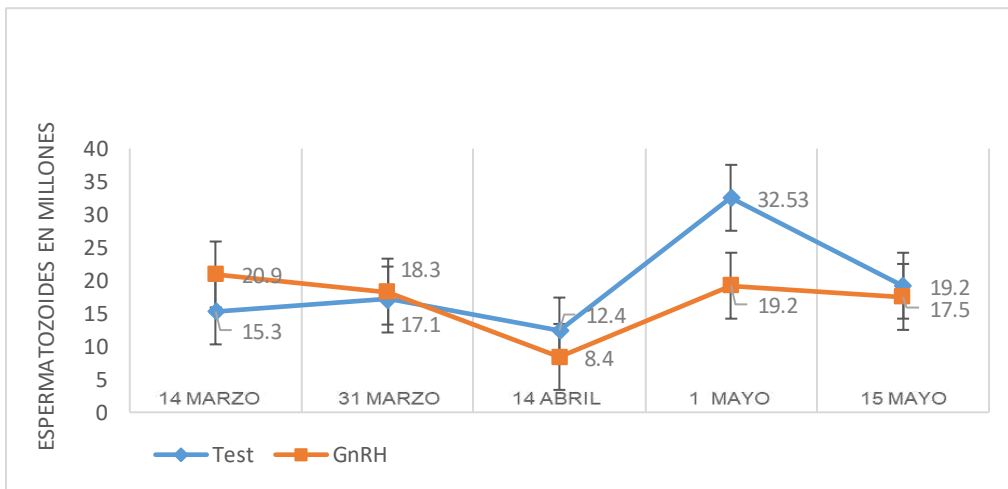


**Fig. 6.** Concentración espermática (media de cuadrados mínimos  $2.0 \pm 0.4 \times 10^9$ ).

#### 6.5.4 Total de espermatozoides viables

**Cuadro 7.** Resultados estadísticos para el número de espermatozoides viables.

Efecto EV	Prov. > F
Tratamientos	0.4659
Semanas	0.0270
TRT*SEMANA	0.2712

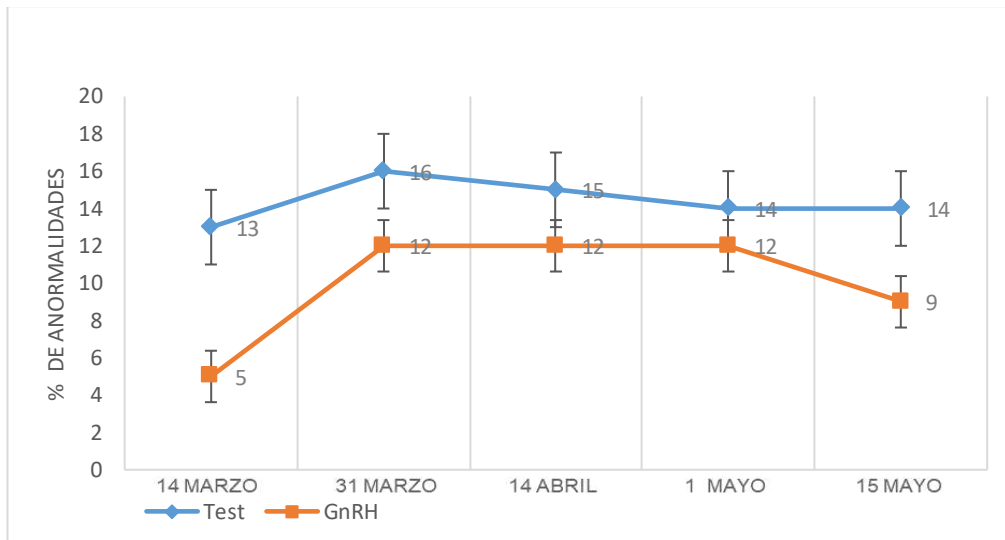


**Fig. 7.** Total de espermatozoides viables por eyaculado (media de cuadrados mínimos  $18 \pm 5$ ).

### 6.5.5 Anormalidades

**Cuadro 8.** Resultados de análisis estadístico para las anormalidades espermáticas.

Efecto	Provb > F
Tratamientos	0.90
Semanas	0.039*
TRT*SEMANA	0.0045*



**Fig. 8.** Anormalidades espermáticas (media de cuadrados mínimos  $8.7 \pm 2$ ).

## VII. DISCUSIÓN

El presente experimento tuvo como objetivo evaluar un posible método a corto plazo que ayudara a contrarrestar la estacionalidad reproductiva en machos caprinos. Esto con el uso de una bomba osmótica liberando un análogo de GnRH (deslorelina) en forma continua, con el cual se pretendió actuar a nivel de hipófisis y estimular la producción de LH y FSH que a su vez favorecería la producción de testosterona, la actividad espermatogénica y la manifestación de la libido. Lo anterior, esperando no afectar de manera negativa a los gonadotropos hipofisarios y provocar desensibilización que traería como efecto contraproducente una pérdida de la función testicular al utilizar una dosis considerada como alta (Gómez, 1999). La dosis utilizada se considera alta en base al trabajo que antecede donde se utilizó una dosis de 250ng/hr (Loyo, et al. 2016), la cual a su vez partió de la investigación realizada por Fray et al., (1995), en la cual se utilizaron infusiones subcutáneas de GnRH con las cuales se logró inducir la ovulación a ovejas acíclicas a la dosis de liberación de esta hormona a 250ng/hr.

### 7.1 Circunferencia Escrotal (CE) e índice de masa corporal (IMC)

La ausencia de cambios en el valor de la CE indica, por una parte, que como se ha reportado para esta raza y latitud, los animales utilizados para el periodo experimental (14 marzo al 9 de junio) se encontraban en la etapa de depresión sexual cuando no hay crecimiento testicular (Escalante *et al.*, 2016) y por otra, que aparentemente la administración de GnRH no tuvo influencia sobre el tejido espermatogénico. Esta variable no fue influenciada por ninguno de los factores evaluados; promedio general  $25.4 \pm 0.6$  cm efecto de tratamientos  $P= 0.84$ , efecto entre semanas  $P= 0.71$ , efecto en la interacción TRT\* Semana  $P= 0.75$ . El comportamiento a través del tiempo en los dos grupos fue similar, ningún grupo marco incremento sobre otro. Durante la etapa de depresión sexual, o anestro estacional en el que se realizó el trabajo experimental, la secreción de GnRH, LH, FSH y testosterona se ven disminuidas (meses de marzo a junio) y por lo tanto repercuten directamente en el tamaño del testículo, su función y la producción



espermática (Ariciaga *et al.*, 2008; Delgadillo *et al.*, 2001). Después de pasada esta etapa (finales de mayo principios de junio para la región donde se realizó el trabajo experimental) comienza a presentarse en el animal un incremento del tamaño testicular, pudiéndose notar en su circunferencia, posterior a este crecimiento se comienza a favorecer la actividad endocrina y testicular (Escalante *et al.*, 2016).

Lincoln (1989) en un estudio realizado con carneros silvestres, reporto que los niveles de testosterona tienden a entrar en aumento posterior a llegar a la máxima circunferencia escrotal evaluada, y de esta manera entrar en óptimas condiciones a su etapa reproductiva anual. Contrario a esto como ya se mencionó nuestras unidades experimentales no sufrieron un cambio significativo ya que para la región y época del año aún no se encontraban cerca de esta etapa reproductiva. Los resultados se mantuvieron casi de manera lineal en ambos grupos en las mediciones semanales realizadas. Dejando a un lado la etapa estacional, podemos mencionar que al igual que otras variables, para el caso de CE tampoco hubo efecto positivo en el uso de nuestro análogo de GnRH.

Los resultados de IMC indican que los animales de ambos grupos experimentales se mantuvieron en buenas condiciones nutricionales (ganando condición corporal) a lo largo del experimento (14 marzo al 9 de junio), tendencia que también se relaciona con la edad de los animales (24 meses) y el crecimiento que aún tenían hacia la edad adulta. Para esta variable (IMC) no se obtuvieron resultados significativos que pudieran atribuirse al uso de GnRH, los dos grupos se comportaron de manera similar y gráficamente casi lineal (Fig. 1). Cabe mencionar que no se esperaban efectos del tratamiento con GnRH sobre esta variable, sino que la misma se midió para tener evidencia del estado nutricional de los animales experimentales durante el periodo experimental esperando que no se afectara.

Esta variable se comportó de manera similar con la variable de CE ya que la diferencia a lo largo de toda la etapa experimental y en las evaluaciones posteriores fue casi nula en los dos grupos, lo que puede relacionarse con que al no haber aumento de IMC tampoco lo hubo de tamaño testicular, evaluado como

circunferencia escrotal (CE). Silvestre *et al.*, (2012) quien en base a un experimento realizado, encuentra una relación de tamaño testicular a la condición nutricional que presentan los animales, a mayor condición nutricional los animales presentaron una mayor circunferencia escrotal que los animales con bajo aporte de este. Sumado a esto se debe de tomar en cuenta nuevamente la etapa de desarrollo de los animales; en nuestro caso animales post puberales de 2 años que prácticamente habían terminado su proceso de desarrollo testicular y por lo tanto no se esperaban diferencias por el incremento de edad asociado al tiempo que duró el experimento (Carrillo *et al.*, 2010).

## **7.2 Concentración plasmática de testosterona**

Esta respuesta fue diferente a la observada por Loyo *et al.* (2016), quienes con aplicación continua de dosis bajas de GnRH no provocaron incrementos en las concentraciones de testosterona. La corta duración del efecto sobre la testosterona plasmática podría ser evidencia de desensibilización de gonadotropos debida a la administración continua de GnRH a una dosis considerada como alta, similar a lo observado en otras especies (Trigg *et al.*, 2006). Esta variable tuvo resultados con diferencias significativas a través del tiempo ( $P < 0.01$ ) y por la interacción Tratamiento x Tiempo ( $P < 0.05$ ); presentándose un valor alto en la concentración de testosterona en la primera semana de tratamiento (21 de marzo, Fig. 1). Era de esperarse que la aplicación de GnRH a la dosis utilizada provocara aumento en la producción de testosterona, sin embargo después de este, se tuvo una caída de la hormona, esto debido posiblemente a que los gonadotropos hipofisarios fueron desensibilizados a la dosis de GnRH utilizada considerada como alta (500 ng/hr), efecto que también se esperaba que pudiera ocurrir. Contrario a los resultados obtenidos, Loyo *et al.* (2016), en el uso de de GnRH a 250 ng/hr en machos caprinos fuera de estación reproductiva, no encontró diferencias en comparación con su grupo control durante su periodo experimental, por lo cual concluye que su aplicación no causo alteraciones importantes en el funcionamiento del eje hipotalámico-hipofisario. Gautier, *et al.* (2018) utilizando GnRH (delorelina 18.8 mg) en liberación lenta y

continúa en caballos machos, no logro una producción de testosterona en respuesta a su agonista utilizado, el concluye que se provocó una estimulación baja de los receptores a GnRH que hay en la hipófisis y no se pudo producir suficiente LH y FSH que desencadenara producción de alta de testosterona que activara la retroalimentación negativa con la que él buscaba castrar hormonalmente a sus machos. En este experimento tampoco se perdieron funciones testiculares después de la administración de GnRH.

A partir de la cuarta semana y hasta la octava, los niveles de testosterona medidos en los animales del grupo GnRH comenzaron a elevarse (12 abril -10 de mayo), mostrando en las últimas evaluaciones una producción similar en ambos grupos (promedio 3.7 nMol/L). Esto evidencia que a pesar de que la caída en producción de testosterona se le atribuye a la desensibilización de gonadotropos hipofisarios a GnRH, este efecto puede ser reversible ya que la especie caprina no parece ser tan sensible a este efecto y no lo manifiesta de manera crítica, pudiendo mostrar una recuperación al efecto de GnRH de manera gradual.

En los machos caprinos, la concentración plasmática de testosterona durante su etapa de depresión sexual o reproductiva se encuentra en un rango de 1 a 5ng/ml, pudiendo llegar hasta 20 o 25 ng/ml en la época de actividad sexual de esta especie (Lincoln, 1989). Loyo *et al.* (2016) obtuvo resultados de 0.5 ng/ml hasta 30.0 ng/ml en su resultado más alto. Nuestra evaluación de concentración plasmática se realizó en nMol/L (nanomoles por litro) lo cual transformado a ng/ml nos da como resultado en nuestra mayor concentración plasmática 11 nMol/L = 3.17ng/ml. Esta baja concentración pudiera estar relacionado con nuestros resultados obtenidos en otras variables evaluadas, como las características seminales y la libido que no se vieron favorecidas por el tratamiento de GnRH de la manera que se esperaba. Esto tendría sentido debido a la poca concentración de testosterona que se presentó en comparación a la concentración que se tiene de ng en la etapa de alta actividad sexual, si bien la raza del experimento de Lincoln no fue la raza Nubia, sirve como referencia para darnos una idea de la producción en ng que manifiesta la especie caprina en etapa reproductiva.

### 7.3 Intensidad de la libido

La aplicación continua de GnRH provocó un aumento en el tiempo de interés sexual por hembras en anestro, pero solo de corta duración (Fig. 3). Un efecto similar, pero de menor magnitud y más cercano al inicio del tratamiento, fue observado por Loyo et al. (2016) con GnRH continua a dosis más bajas. Durante el uso del tratamiento con el análogo de GnRH se logró activar sexualmente por un periodo corto de tiempo a los machos fuera de estación reproductiva. En la época de reposo sexual (marzo-mayo en el presente experimento) el macho cabrío se encuentra con una concentración baja de LH, FSH y testosterona, provocada por la reducción en la frecuencia de pulsos de GnRH (Delgadillo *et al*, 2001), debido a esto el comportamiento de deseo sexual en los machos se ve reducido, y en algunos casos se puede hacer casi nulo (depresión sexual profunda).

El grupo experimental tratado con 500ng/hr de GnRH en liberación continua durante tres semanas tuvo un comportamiento similar a nuestro grupo control las primeras semanas coincidentes con la aplicación del tratamiento, y presentó un incremento en la cuarta semana de evaluación (19 de abril). Para esta fecha ya habían terminado el tratamiento con GnRH, la suspensión de la aplicación fue una semana antes (12 abril). Para las evaluaciones posteriores (3 y 18 mayo), los animales de ambos grupos mostraron un comportamiento similar, lo cual por una parte indica que no hubo un efecto negativo directo en lo que al comportamiento sexual se refiere (ligado a desensibilización gonadotrópica) y por otra nos indica que los animales presentan el efecto de la estacionalidad en su comportamiento sexual normal para esta época del año. Estos resultados y comportamiento son similares a los encontrados por Loyo *et al*. (2016), quienes con una dosis de 250 ng/hr del mismo análogo (deslorelina) tuvieron una respuesta en aumento de actividad sexual dos semanas posteriores al término de su tratamiento. En el seguimiento post tratamiento que estos autores realizaron, se observó un comportamiento similar entre grupos experimentales lo cual indica que la administración continua de GnRH no provoca desensibilización total en caprinos. Jiménez *et al*. (2007), en un trabajo experimental realizado en carneros y toros

donde comparan características de secreción de FSH, LH y testosterona entre estas especies, concluyó en base a sus resultados que la administración continua de análogos de GnRH no afectó a los gonadotropos hipofisarios en los machos de estas dos especies. Contrario a lo que ocurre con hurones y perros los cuales con implantes subcutáneos comerciales de deslorelina (Suprelorin® Virbac), tienen efecto seguro de desensibilización de la hipófisis a los efectos de GnRH. Lo cual trae como consecuencia la disminución de las hormonas gonadotropinas (FSH y LH) y que esto a su vez repercute sobre la actividad espermatogénica testicular y producción de testosterona, que da como resultado la “castración farmacológica-hormonal” por lo cual son utilizados como un método eficaz en regiones de Europa (Goericke, 2010).

#### **7.4 Variables de calidad seminal**

Diversos factores pueden influir en la calidad seminal del macho caprino, entre algunos esta la edad, la época del año, condiciones nutricionales y el método de colecta de las muestras de semen (Cortes, 2014). En los machos caprinos adultos y sanos, la calidad seminal va relacionada con la etapa reproductiva estacional en la que se encuentran, ya que en la etapa de actividad reproductiva se presenta una mejor calidad seminal relacionada con el aumento y mantenimiento de la secreción de hormonas que favorecen el proceso espermatogénico (LH, FSH, TES) (Aller *et al.*, 2012). Para las variables evaluadas en este estudio las cuales fueron: volumen, concentración espermática, motilidad progresiva y anomalías espermáticas, solo se encontró diferencia estadística significativa en esta última ( $P = <0.05$ ). Esto se atribuye a un factor ajeno al tratamiento debido a que el grupo experimental desde un inicio del experimento presentó menor concentración de anomalías espermáticas, por lo cual no se considera que GnRH tuvo un efecto en la disminución de estas anomalías. Se esperaba una alteración favorable con el tratamiento GnRH que repercutiría en la producción de testosterona sistémica e intratesticular y en las variables de calidad seminal, sin embargo, como se ha citado anteriormente en nuestro caso el tratamiento con GnRH no afectó la función testicular.

Para que se pueda mantener la actividad espermatogénica es esencial que se mantenga una secreción de LH y FSH que favorezcan y a su vez trabajen de manera conjunta para la producción de testosterona intratesticular que a su vez activará y mantendrá el proceso de espermatogénesis. Este proceso completo tiene una duración de aproximadamente 60 días en los machos cabríos (Valli *et al.*, 2015) por lo cual en el presente experimento se le dio seguimiento a las variables seminales hasta la sexta semana después de concluido el tratamiento con GnRH. Carrillo *et al.* (2010) reporta que conforme los machos van adentrándose en su etapa reproductiva la calidad de espermatozoides se ve mejorada y que incluso el número de espermatozoides viables por eyaculado llega a duplicarse. Considerando nuestros resultados, podemos especular que para la región en donde se realizó el trabajo y durante el periodo experimental, los animales se encontraban en etapa de depresión estacional con un efecto negativo sobre las variables seminales evidentes en el grupo testigo y que no mejoraron por el tratamiento con GnRH. Autores reportan que la calidad seminal en general mejora en los meses de julio y agosto, con un cambio gradual a partir de mayo y valores máximos en el mes de noviembre, específicamente en machos de la raza Alpina y Saanen (Carrillo *et al.*, 2010).

## **VIII. CONCLUSIÓN**

La aplicación continua de GnRH a una dosis considerada como alta tiene un efecto de corto plazo en la activación sexual de machos durante la etapa de depresión sexual, asociado a un aumento en las concentraciones plasmáticas de testosterona. La corta duración de este efecto podría estar asociada a la desensibilización de gonadotropos con dosis altas de GnRH.

## **IX. IMPLICACIONES**

La administración continua de GnRH puede ser una alternativa de efecto rápido para activar machos caprinos en reposo sexual, sin embargo, aún es necesario explorar y establecer las dosis adecuadas para que el efecto sea duradero.



## X. BIBLIOGRAFÍA

- Agredo-Palechor J. A., S. M., Vera-Ávila. H. R., Andrade-Montemayor H.M., Jiménez Severiano H., Urrutia-Morales J., Silva- Jarquín J. C. (2018). Efecto del estrés nutricional sobre la función lútea post-servicio en cabras inducidas a ovular durante el anestro estacional. Tesis de maestría., Universidad Autónoma de Querétaro.
- Aller, J. F., Aguilar, D., Vera T., Almeida, G. P. & Alberio R. H. 2012. Seasonal variation in sexual behavior, plasma testosterone and semen characteristics of Argentine Pampinta and Corriedale rams. Departamento de Producción Animal, EEA Balcarce, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Balcarce, Argentina, Spanish Journal of Agricultural Research 2012 10(2), 345-352 ISSN: 1695-971-X eISSN: 2171-9292
- Álvarez, R. L & Zarco, Q. L. 2001. Los fenómenos de bioestimulación sexual en ovejas y cabras. Veterinaria México, vol. 32, núm. 2, abril-junio, 2001, pp. 117-129
- Arechiga, C. F., Aguilera, J. I., Rincón, R. M., de Lara, S. M., 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.
- Ariciaga, G. C., Vera, A. H. R., Jimenez, S. H., Mejia, G.C.A., Gonzalez, P. E., Villagomez, A. E., 2008. Expression of reproductive seasonality in Creole bucks under different nutritional conditions. 9th International conference on goats. Querétaro, Qro., México.
- Aspden, W.J., Van Reenen, N., Whyte, T. R., Maclellan, L. J., Scott, P.T., Trigg T.E., Walsh, J., D'Occhio M.J., 1997. Increased testosterone secretion in bulls treated with a luteinizing hormone releasing hormone (lhrh) agonist requires endogenous lh but not lhrh. Domestic animal endocrinology elsevier. 14(6):421-428.

- Beckett, J. L., Sakurai, H, Famula, T. R., Adams, T. E. 1997. Negative Feedback potency of estradiol is increased in orchidectomized sheep during chronic nutrient restriction. *Biol Reprod.* (57):408-414.
- Carrillo, E., Meza, H. C. A., Véliz, F. G. 2010. Reproductive seasonality of young French-alpine goat bucks adapted to subtropical conditions in Mexico. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.* 1(2):169-178.
- Chemineau, P., y Delgadillo, J.A. 1993. Neuroendocrinología de la reproducción en el caprino. *Rev. Científica, FCV-LUZ.* 3, 113-121.
- Chemineau, P., Guillaume, D., Migaud M, Thiery JC, Pellicer-Rubio M., Malpoux, B. 2008. Seasonality of reproduction in mammals: intimate regulatory mechanisms and practical implications. *Reprod. Dom. Anim.*;43:40-47.
- Ciechanowska, M., M. Lapot, K., Mateusiak y Przekop, F. 2010. "Neuroendocrine regulation of GnRH release and expression of GnRH and GnRH receptor genes in the hypothalamus-pituitary unit in different physiological states." *Reprod Biol* 10(2): 85-124.
- Cortés, G.S., 2014. Efecto de la conservación sobre la fisiología espermática de semen caprino, tesis para doctorado en Ciencias Biológicas, Madrid, España.
- Cottrell, D., Iggo, A., Kitchell, R. L. 1978. Electrophysiology of the afferent innervation of the penis of the domestic ram. *J Physiol* ;283:347-367.
- Courot, M., Ortavant, R. 1981. Endocrine control of spermatogenesis in the ram. *J. Reprod. Fertil. Suppl.* 30:47.
- Cuellar, J. A., Tortora, J., Trejo, A., Román, P. 1998. La Producción Caprina Mexicana, Particularidades y Complejidades. Ariatna Editor, S. A., México, D.F.13 – 14.
- Curtis, S.K., Amann, R.P., 2001. Testicular development and establishment of spermatogenesis in Holstein bulls. *J. Anim. Sci.* 53(6), 1645-1657.

- Dadoune, J.P., Demoulin, A.1993. Structure and function of the testis. In: reproduction in mammals and man, Edited by Ch Thibault, MC Lavasseur and RHF Hunter. Ellipses, Paris.
- Delgadillo, J.A., Canedo, G.A., Chemineau, P., Guillaume, D., Malpaux, B. 1999. Evidence for an annual reproductive rhythm independent of food availability in male Creole goats in subtropical northern Mexico. *Theriogenology*. 52:727-737.
- Delgadillo, J. A., Carrillo, E., Moran, J., Duarte, G., Chemineau, P., y Malpaux, B. 2001. Induction of sexual activity of male creole goats in subtropical northern Mexico using long days and melatonin. *J Anim Sci* 79: 2245-2252. 92.
- Delgadillo, J. A., Flores, C.J.A., Véliz, D.F.G., Duarte, M. G., Vielma, S. J., Poindron, M. P., Malpaux, B. 2003. Control de la reproducción de los caprinos del subtrópico mexicano utilizando tratamientos fotoperiódicos y efecto macho. *Vet. Méx.* 34 (1):69-79.
- Delgadillo, J.A., Viema, J., Flores; J.A., Veliz, F.G., Duarte, G., Hernández, H., 2008. La calidad del estímulo emitido por el macho determina la respuesta de las cabras sometidas a efecto macho. *Trop. Sbtrop. Agroec.* 9: 39-45.
- Delgadillo, J. A. 2011. Environmental and social cues be used in combination to develop sustainable breeding techniques for goat reproduction in the subtropics. *Animal*, 5: 74-81.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2024). Obtenido de división estadística (FAOSTAT). Disponible en: <http://faostat.fao.org>. [Consultado el 22/abril/24].
- FIRA. 1999: “Oportunidades de Desarrollo en la Industria de la Leche y Carne de Cabra en México”, Boletín Informativo Número 13, Volumen 32 Noviembre FIRA, México.
- Fray, M.D., Lamming, G.E., Haresign, W. 1995. Induction of ovulation in the acyclic postpartum ewe following continuous, low-dose subcutaneous

infusion of GnRH, 1995, AFRC Research Group on Hormones, Farm Animal Reproduction University of Nottingham, Sutton Bonington, Leicestershire, LE12 5RD, United Kingdom, Theriogenology.

Fthenakis G.C., Karagiannidis A., Alexopoulos C., Brozos C., Saratsis P., Kyriakis S. Clinical and epidemiological findings during ram examination in 47 flocks in southern Greece. *Prev Vet Med* 2001;52,43-52.

Galina, M. 2002. "Los productores de queso de cabra en México. Fortalezas y Debilidades", Simposio Internacional sobre Caprinocultura. IGA y URG Querétaro. Querétaro.

Gautier, C., Schmidt, K., Aurich, J., Aurich, C. 2018. Effects of implants containing the GnRH agonist deslorelin on testosterone release and semen characteristics in Shetlands Stallions. *Anim.Vet.Res.* 125: 230-241.

Gnessi, L., Fabbri, A., Spera, G. 1997. Gonadal peptides as medicators of development and funcional control of the testis: an integrated system with hormones and local environment. *Endocrine reviews.* 18 (4): 541- 609.

Goericke-Pescha S., Georgievb, P., Antonovb, A., Albouyc M., Wehrenda A., 2011. Clinical efficacy of a GnRH-agonist implant containing 4.7 mg deslorelin, Suprelorin®, regarding suppression of reproductive function in tomcats, *Theriogenology* 75 (2011) 803–810.

Gómez-Alzugaray M., 1999. Antihormonas: su aplicación en algunos aspectos médicos de la salud reproductiva, *Revista Peruana de Endocrinología y Metabolismo* 1999; 4 (2): 83-90

Guerrero, C. M. 2010. La caprinocultura en México, una estrategia de desarrollo. *Revista Universitaria Digital de Ciencias Sociales, (RUDICS).* Vol. 15 No. 28 p.p (1).

Hafez, E. 1996. Reproduction in farm animals Reproductive Health Center IVF/ Andrology International Kiawah Islad. Sexta edición South Carolina, USA. Lea & Febiger Filadelfia. 405-423.

- Hawken, P. A. R and Martin, G. B. 2006. Sociosexual Stimuli and gonadotropin releasing hormone/luteinizing hormone secretion in sheep and goats. *DomAnimEndocrinology* 43, 85-94.
- Hulet, C. V. 1996. Behavioral social and psychological factors affecting mating time and breeding efficiency in sheep. *J Anim Sci.* 25(1):5-20.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) (2012). Ganado caprino y ovino. México.
- Jimenez, H. M. 2003. Producción y Comercialización de Productos Caprinos en la Región Norte, Del Estado De Coahuila. Tesis de licenciatura, universidad autónoma agraria Antonio narro.
- Jiménez, S. H., D'Occhio, M. J., Lunstra, D. D., Mussard, M.L., Davis, T.L., Enright, W. J., Kinder, J. E. 2007. Comparative response of rams and bulls to long-term treatment with gonadotropin-releasing hormone analogs, *Animal Reproduction Science.*98-204–224.
- Kirk, E., J., Kitchell, R.L., Carr, D., H. 1987. Neurophysiologic maps of cutaneous innervation of the external genitalia of the ram. *Anim.Vet.Res.*48(7):116:2-6.
- Leboeuf, B.; Restall, B. and Salamon, S. 2000. Production and storage of goat semen for artificial insemination. *Anim Reprod Sci*, 62: 113-141.
- Lehman, M. N., Goodman, R.L., Karsch, F.J., Jackson, G,L., Berriman, S.J., Jansen, H, T., 1997. The GnRH system of seasonal breeders: Anatomy and Plasticity. *Brain Res Bull*;44(4):445-457.
- Lincoln, G. A., 1989, Seasonal aspects of testicular function. The testis, second edition, Raven Press, Ltd. USA.
- Loyo-Davila I. M., Vera-Ávila. H. R., Andrade-Montemayor H.M., Jiménez Severiano H., De la Isla- Herrera G., Silva- Jarquín J. C. (2016). Evaluación de tratamientos hormonales para la activación del

comportamiento sexual en sementales caprinos fuera de la estación reproductiva. Tesis de maestría., Universidad Autónoma de Querétaro.

Luna-Orozco, J. R., Guillen-Muñoz J.M., De Santiago-Miramontes MA, García, J, E., Rodríguez, M. R., Meza-Herrera C, A., Mellado, M., Véliz, F.G. 2012. Influence of sexually inactive bucks subjected to long photoperiod or testosterone on the induction of estrus in anovulatory goats. *Trop Anim Health Prod.* 44:71–75.

Marengo, S. R., 2008. Maturing the sperm: Unique mechanism for modifying integral protein in the sperm plasma membrane. *Anim. Reprod. Sci.* 105:52-63.

Martin, G.B., Walkden-Brown, S.W. 1994. Non-photoperiodic inputs into seasonal breeding in male ruminants. In: *Perspectives in Comparative Endocrinology* (Eds.: Davey, K.G., Peter, R.E. and Tobe, S.S.) pp. 574-585 [National Research Council of Canada, Ottawa].

Mayén, M. J. 1989. *La Explotación Caprina*, Editorial Trillas, México, D. F. pp.7-14.

Millar, R. P. 2005. "GnRH and GnRH receptors." *Anim Reprod Sci* 88(1-2): 5- 28.

O'Shaughnessy, P. 2015. Testicular development. *Knobil and Neill's physiology of reproduction*, 4th edition. Elsevier Science & Technology Books.

Perkins, A., Oldman, D. M., 1994. The behavior component of the ram effect: the influence of ram sexual behavior on the induction of estrus in anovulatory ewes. *J. Anim. Sci.*72:52-55.

Restal, B. J. 1992. Seasonal variation in reproductive activity in australian goats. *Animal Reprod.* 27:305-318.

Rosa, H. J. D., Bryant, M. J., 2003. Seasonality of Reproduction in Sheep. *Small Rumin. Res.* 48 155–171.

- Rivas, M. R., Rodríguez M. E. R., Leyva, C., Mellado, M., y Véliz, F.G. 2010. Effect of body condition score of does and use of bucks subjected to added artificial light on estrus response of Alpine goats. *Trop. Animal Hlth. Prod.* 42, 1285–1289.
- SAGARPA. 2012. Sistema de Información Agrícola y Pesquera SIAP. Disponible en: [www.sagarpa.gob.mx](http://www.sagarpa.gob.mx) [Consultado el 11/jul/16].
- Silvestre, P., Naim, P., Cueto, M., Gibbons, A. (2012). Estacionalidad reproductiva en machos caprinos Criollo-Neuquinos de la Patagonia Argentina. *Archivos de Zootecnia*, 61(233), 119-128.
- Smith, L.B. & Walker W.H. 2015. Hormonal signaling in the testis. *Knobil and Neill's physiology of reproduction*, 4th edition. Elsevier Science & Technology Books.
- Soto, G. R., 2008. Control neuroendocrino del eje reproductivo. En: *Reproducción de ovejas y cabras*. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.
- Stellflug, J. N., Lewis, G. S. Effect of early and late exposure to estrual ewes on ram sexual performance classifications. *2007 Anim. Reprod. Sci.* ;97(3-4):295-302.
- Thawaites, C. J., Hannan, G. D. 1999. The effects of frequency of ejaculation and undernutrition on the size and tone of the ram's testes. *Anim Reprod Sci*, 29-35.
- Tilbrook, A. J., Galloway, D. B., Williams, A. H., Clarke, I. J. 1993. Treatment of young rams with an agonist of GnRH delays reproductive development. *Horm Behav. Appl Anim Behav Sci* ;27:5-28.
- Tilbrook, A. J., Cameron, A. W. N., Lindsay, D. R., 1987. The influence of ram mating preferences and social interaction between rams on the proportion of ewes mated at field joining. *Appl Anim Behav Sci*;18(2):173-184.
- 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. 321-333.

Valli H., Phillips B.T., Orwing K.E., Gassei K., Nagano M.C. 2015. Spermatogonial stem cells and spermatogenesis. *Knobil and Neill's physiology of reproduction*, 4th edition. Elsevier Science & Technology Books.

Véliz F. G., Meza C. A., De Santiago-Miramontes M. A., Arellano R. G., Leyva C, Rivas M. R., Mellado M. 2009. Effect of parity and progesterone priming on induction of reproductive function in Saanen goats by buck exposure. *Livest Sci.* 125:261–265.

Vera, Á.H.R., Urrutia, M. J., Espinosa, M. M. A., Estrada, C. E., Jiménez, S. H., 2013. Nutrición, estacionalidad reproductiva y mantenimiento de la gestación en caprinos. Libro técnico núm. 21. INIFAP- CENID Fisiología y Mejoramiento Animal. Ajuchitlán, Querétaro, México.

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