

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
UNIDAD LAGUNA  
DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL  
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS MÉDICO VETERINARIAS



**Seguimiento folicular en cabras sincronizadas con un análogo de PGF2α  
más la administración de gonadotropinas**

Por:

Jaciel Santiago Bautista

**TESIS**

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA**

Torreón, Coahuila, México  
Diciembre 2025

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
UNIDAD LAGUNA  
DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL  
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS MÉDICO VETERINARIAS

Seguimiento folicular en cabras sincronizadas con un análogo de PGF2α más la administración de gonadotropinas

Por:

Jaciela Santiago Bautista

TESIS

Que se somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial para obtener el título de:

**MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA**

Aprobada por:

Dr. Juan Manuel Guillén Muñoz  
Presidente

Dra. Zúrisaday Santos Jiménez  
Vocal

Dr. Ramiro González Avalos  
Vocal

Dr. Hugo Zuriel Guerrero Gallego  
Vocal suplente

MC. José Luis Francisco Sandoval E.

Coordinador de la División Regional de Ciencia Animal



Torreón, Coahuila, México

Diciembre 2025

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
UNIDAD LAGUNA  
DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL  
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS MÉDICO VETERINARIAS**

Seguimiento folicular en cabras sincronizadas con un análogo de PGF2α  
más la administración de gonadotropinas

Por:

Jaciela Santiago Bautista

**TESIS**

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA**

Aprobada por el Comité de Asesoría:

Dr. Juan Manuel Guillén Muñoz  
Asesor Principal

Dra. Zuriel Santos Jiménez  
Coasesor

Dr. Ramiro González Avalos



MC. José Luis Francisco Sandoval Elías  
Coordinador de la División Regional de Ciencia Animal

Torreón, Coahuila, México  
Diciembre 2025

## AGRADECIMIENTOS

*A Dios, por darme salud, sabiduría y por permitirme terminar esta etapa en mi vida.*

*A mis padres Joaquín Santiago Jiménez y Lucila Bautista Herrera, por su apoyo y sacrificio. Por creer en mí, su influencia ha sido fundamental en mi crecimiento personal y profesional.*

*A mis hermanos Jonathan Santiago Bautista y Abelardo Santiago Bautista que me apoyaron e hicieron sacrificios para que pudiera concluir esta etapa de mi vida.*

*A mi segunda familia, al M.V.Z. Antonio Ocampo Andrade y su esposa Leticia Soto, que me acogieron y me hicieron formar parte de su familia, desde que llegue a Torreón y por haberme apoyado y guiado en este proceso.*

*A mis asesores de tesis, Dr. Juan Manuel Guillen Muñoz y la Dra. Zurisaday Santos Jiménez, por su apoyo en este proyecto, sugerencias y experiencia compartida.*

## DEDICATORIAS

*La presente tesis se la dedico con mucho cariño a mis padres Joaquín Santiago y Lucila Bautista, por creer en mí y darme la oportunidad de poder estudiar una carrera universitaria, por su apoyo incondicional y por todos los sacrificios que tuvieron que hacer para que pudiera lograr esta meta y tener éxito en la vida. Por ayudarme a superar los obstáculos aun estando a muy lejos de ellos y por todos los valores inculcados a mi persona.*

*A mis hermanos que también fueron parte fundamental en este proceso, por su apoyo y sacrificios que hicieron para que concluyera mis estudios.*

*Al M.V.Z. Antonio Ocampo y su esposa apoyado y guiado durante el transcurso de la carrera, motivarme y por su cariño ofrecido.*

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS .....	v
ÍNDICE DE CUADROS .....	vi
RESUMEN .....	vii
ABSTRACT .....	ix
I.- INTRODUCCIÓN .....	1
II.- HIPÓTESIS .....	3
III.- OBJETIVO .....	3
IV.- REVISIÓN DE LITERATURA .....	4
4.1. Estado actual de la caprinocultura en el mundo .....	4
4.2. Producción caprina en México .....	5
4.3. Anatomía del sistema reproductor de la cabra .....	7
4.3.1. Ovario .....	7
4.3.2. Trompas uterinas .....	8
4.3.3. Útero .....	8
4.3.4. Cérvix .....	9
4.3.5. Vagina .....	9
4.3.6. Vulva .....	9
4.4. Endocrinología reproductiva de la cabra .....	10
4.4.1. Eje hipotálamo-Hipófisis .....	10
4.4.2. Hormonas Gonadotropinas .....	10
4.4.3. Hormonas esteroideas .....	11
4.5. Ciclo reproductivo de las cabras .....	12
4.5.1. Pubertad .....	12
4.5.2. Actividad sexual anual .....	12
4.6. Ciclo estral .....	13
4.6.1. Proestro .....	14
4.6.2. Estro .....	14
4.6.3. Metaestro .....	15
4.6.4. Diestro .....	15
4.7. Crecimiento y desarrollo folicular .....	16
4.7.1. Atresia folicular .....	18
4.7.2. Atresia antral .....	19

4.7.3. Atresia basal .....	19
4.8. Tratamientos hormonales en cabras .....	20
4.9. Uso en Protocolos de Sincronización de la Actividad estral .....	20
4.9.1. Dispositivos Intravaginales (CIDR) .....	20
4.9.2. Prostaglandinas .....	21
4.9.3. Gonadotropina Coriónica Equina .....	23
4.9.4. Efecto macho .....	23
4.9.5. La manipulación del fotoperiodo .....	25
V.- MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
5.1. General .....	26
5.2.- Diseño experimental .....	26
5.3.- Variables evaluadas .....	27
5.4.- Análisis estadísticos .....	27
VI.- RESULTADOS .....	28
VII.- DISCUSIÓN .....	30
VIII.- CONCLUSIÓN.....	32
IX.- LITERATURA CITADA .....	33

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Aparato reproductor de la cabra (Tomado de Hafez, 1986). ....	7
<b>Figura 2</b> Numero de folículos en cabras tratadas con diferentes gonadotropinas, durante la estación reproductiva. a ≠ b: Letras distintas indican diferencias significativas entre grupos (p<0.05). ....	28
<b>Figura 3</b> Diámetro folicular (mm) en cabras tratadas con diferentes gonadotropinas. ....	29

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1</b> Efecto de los diversos protocolos basados en progesterona y la duración de los tratamientos sobre el rendimiento reproductivo de las ovejas durante la temporada reproductiva y no reproductiva (Adaptado de Hameed et al, 2021).....	21
<b>Cuadro 2</b> Efecto de la administración de diferentes dosis e intervalos de inyección de análogos de prostaglandinas F2 $\alpha$ sobre la respuesta estral y la tasa de fertilidad en ovejas durante temporada reproductiva (Adaptado de Hameed et al, 2021).....	22
<b>Cuadro 3</b> Impacto del efecto macho en la sincronización del estro en ovejas durante la época reproductiva y no reproductiva (Adaptado de Hameed et al, 2021).....	24

## RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la administración de gonadotropinas (eCG y hCG) sobre la dinámica folicular en cabras sincronizadas mediante prostaglandina  $F_2\alpha$ , a fin de determinar su influencia en el número y tamaño de los folículos y en el intervalo estro-ovulación. Se utilizaron 25 cabras multíparas clínicamente sanas de razas mixtas (Alpina, Saanen x Criollo), de 15 a 40 meses de edad, con un peso promedio de  $43.5 \pm 0.2$  kg y una puntuación de condición corporal de 2.3. Las cabras utilizadas en el experimento fueron sometidas a un protocolo de sincronización del estro mediante la aplicación intramuscular de dos dosis de 5 mg de un análogo de prostaglandina  $F_2\alpha$  con un intervalo de siete días entre cada aplicación. En el momento de la segunda administración, los animales se distribuyeron aleatoriamente en tres grupos experimentales. El Grupo PG-eCG ( $n = 8$ ) recibió una dosis de 100 UI de eCG; el Grupo PG-hCG ( $n = 8$ ) recibió 100 UI de hCG mientras que el Grupo PG ( $n = 8$ ) no recibió ningún tratamiento adicional con gonadotropinas al momento de la segunda inyección de prostaglandina. Las variables evaluadas fueron el crecimiento y desarrollo del folículo preovulatorio y el intervalo estro-ovulación, definido como el tiempo comprendido entre el inicio del estro y la desaparición del folículo preovulatorio. En cuanto al número de folículos las cabras tratadas con eCG presentaron un incremento significativo ( $p < 0.05$ ) en el número de folículos a las 60 horas posteriores a la segunda aplicación de PGF<sub>2 $\alpha$</sub> , en comparación con los grupos PG-CON y PG-hCG. En este grupo, el número promedio de folículos alcanzó su punto máximo ( $\approx 3.5$  folículos) a las 60 horas, mientras que los grupos PG-CON y PG-hCG

mantuvieron valores entre 1 y 2 folículos durante todo el periodo de observación. Respecto al diámetro folicular, las cabras del grupo PG-CON mostraron folículos de mayor tamaño ( $p<0.05$ ) en comparación con los grupos tratados con gonadotropinas. En este grupo, el diámetro promedio de los folículos se mantuvo entre 7.5 y 8.0 mm desde las 24 hasta las 72 horas después de la segunda inyección. Por el contrario, en las cabras tratadas con eCG se observaron folículos de menor diámetro (6.0–6.5 mm), mientras que el grupo tratado con hCG presentó valores intermedios ( $\approx 7.0$  mm). En conclusión, de acuerdo con nuestros resultados el uso de gonadotropinas después de un tratamiento de sincronización basado en la administración de PGF<sub>2 $\alpha$</sub> , resultó en un desarrollo folicular sincrónico en las cabras que recibieron 100 UI de eCG, siendo esta una opción que pudiera ser de utilidad en los protocolos asociados a IATF.

**Palabras clave:** *Gonadotropinas, Desarrollo folicular, Cabras, Sincronización de estro*

## ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the effect of gonadotropin administration (eCG and hCG) on follicular dynamics in goats synchronized with prostaglandin  $F_2\alpha$ , in order to determine their influence on the number and size of follicles and the estrus–ovulation interval. Twenty-five clinically healthy multiparous mixed-breed goats (Alpine, Saanen × Criollo), aged 15 to 40 months, with an average body weight of  $43.5 \pm 0.2$  kg and a body condition score of 2.3, were used. The goats were subjected to an estrus synchronization protocol consisting of two intramuscular injections of 5 mg of a prostaglandin  $F_2\alpha$  analogue, administered seven days apart. At the time of the second injection, the animals were randomly assigned to three experimental groups. The PG–eCG group ( $n = 8$ ) received 100 IU of eCG; the PG–hCG group ( $n = 8$ ) received 100 IU of hCG; and the PG control group ( $n = 8$ ) did not receive any additional gonadotropin treatment at the time of the second prostaglandin injection. The evaluated variables were the growth and development of the preovulatory follicle and the estrus–ovulation interval, defined as the time between the onset of estrus and the disappearance of the preovulatory follicle. Regarding the number of follicles, goats treated with eCG showed a significant increase ( $p < 0.05$ ) in follicle number 60 hours after the second PGF $_2\alpha$  injection compared to the PG-CON and PG–hCG groups. In this group, the mean follicle count peaked at approximately 3.5 follicles at 60 hours, whereas the PG-CON and PG–hCG groups maintained values between 1 and 2 follicles throughout the observation period. Concerning follicular diameter, goats in the PG-CON group exhibited larger follicles ( $p < 0.05$ ) compared to those treated with gonadotropins. In this group, the mean follicular diameter remained between 7.5 and 8.0 mm from 24 to 72 hours after

the second injection. Conversely, goats treated with eCG showed smaller follicles (6.0–6.5 mm), while the hCG-treated group presented intermediate values ( $\approx$ 7.0 mm). In conclusion, according to our results, the use of gonadotropins following a synchronization protocol based on PGF<sub>2</sub> $\alpha$  administration resulted in synchronous follicular development in goats treated with 100 IU of eCG, making this an alternative option for inclusion in fixed-time artificial insemination (FTAI) protocols.

**Key words:** *Gonadotropins, Follicular development, Goats, Estrus synchronization*

## I.- INTRODUCCIÓN

La sincronización del estro y de la ovulación en pequeñas especies rumiantes, como las cabras, es una práctica clave en los programas de reproducción asistida debido a su capacidad para agrupar y predecir el momento de la ovulación, lo que mejora la eficiencia de la inseminación artificial o del apareamiento programado (Driancourt, 2001). En este contexto, los protocolos basados en prostaglandina F<sub>2</sub>α (PGF<sub>2</sub>α) y dispositivos de progestágenos han sido ampliamente utilizados para inducir la luteólisis y sincronizar el retorno al estro en cabras (Omontese et al., 2013).

Para mejorar aún más la sincronización y aumentar la ovulación, se ha recurrido a la administración de gonadotropinas exógenas como la gonadotropina coriónica equina (eCG) y la gonadotropina coriónica humana (hCG). La eCG, por su actividad combinada a hormona foliculoestimulante (FSH) y hormona luteinizante (LH), favorece el reclutamiento y crecimiento folicular, resultando en un mayor número de folículos ováricos y ovulaciones (Andrade et al., 2021).

Por su parte, la hCG actúa principalmente a través de la vía LH, lo que la hace útil para inducir la ovulación del folículo dominante, aunque diversos estudios han observado que su uso puede estar asociado a patrones de crecimiento folicular menos favorables y a fertilidad reducida si no se aplica correctamente (Santos-Jimenez et al., 2021; Cox et al., 2024).

En protocolos que emplean prostaglandinas, la adición de gonadotropinas al momento de la segunda inyección puede modificar tanto el número como el tamaño del folículo preovulatorio, así como el intervalo entre el estro y la ovulación (Cueto

et al., 2020). Por tanto, evaluar el efecto de diferentes tratamientos hormonales en la dinámica folicular resulta esencial para optimizar protocolos reproductivos en cabras. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la administración de gonadotropinas (eCG y hCG) sobre la dinámica folicular en cabras sincronizadas mediante prostaglandina  $F_2\alpha$ , a fin de determinar su influencia en el número y tamaño de los folículos y en el intervalo estro-ovulación.

## **II.- HIPÓTESIS**

La administración de gonadotropinas (eCG o hCG) al momento de la segunda aplicación de prostaglandina  $F_2\alpha$  modifica la dinámica folicular en cabras, afectando significativamente el número y el diámetro de los folículos preovulatorios en comparación con animales que solo reciben prostaglandinas.

## **III.- OBJETIVO**

Evaluar el efecto de la administración de gonadotropinas (eCG y hCG) sobre la dinámica folicular en cabras sincronizadas mediante prostaglandina  $F_2\alpha$ , a fin de determinar su influencia en el número y tamaño de los folículos y en el intervalo estro-ovulación.

## IV.- REVISIÓN DE LITERATURA

### 4.1. Estado actual de la caprinocultura en el mundo

La producción de cabras a nivel mundial reportadas en el año 2019 por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, en la cual se estima que la producción de cabras a nivel mundial es de 1.094 millones de animales (FAOSTAT, 2019), de esta población 215 millones son de actividad lechera y 502 millones en producción de carne. La mayoría de la población se encuentra en los países con altos niveles de pobreza (PRODECCA, 2021).

Los continentes de Asia y África tienen aproximadamente más del 85% del censo caprino mundial, teniendo una evolución alta en producción caprina que el resto de los continentes (FAOSTAT, 2019). La producción de ganado caprino se encuentra distribuida en el continente asiático con más del 55%, seguido por el continente africano que cuenta con alrededor del 29% de población mundial, por su parte el continente americano cuenta con un 10% distribuidos en Norte y Centroamérica, y parte de Sudamérica, Europa por otro lado cuente con más del 4%. En cuanto a los países con mayores producciones de caprinos en el mundo, se encuentra en la primera posición el país de China con más del 20 % de población total, el país de India con alrededor del 17%, seguido de Pakistán que cuenta con el 6%, Sudán un poco por debajo con el 5 %, y en cuanto a nuestro país de México su población caprina asciende a casi el 2%. De la producción de cabras se obtiene diferentes productos: el 6% es destinado para el abastecimiento de carne, aproximadamente

el 2% se produce para leche y el 4% se destina para el uso de sus pieles (Aréchiga *et al*, 2008).

La población de cabras ha aumentado al igual que el desarrollo humano. En el año 2019 se reportó que la producción de leche llegó a más de 20 millones de toneladas y de carne, se estimó en aproximadamente 6 millones de toneladas. En el periodo de 2000 a 2019, hubo un incremento de más del 30% en el número de cabras producidas, por lo tanto, la producción de leche incrementó en un 33%, la carne en un 38% y la comercialización de las pieles creció en un 60% (FAOSTAT, 2019).

#### **4.2. Producción caprina en México**

En México la producción de ganado caprino reportadas se estima en 494,000 unidades de producción lo que lo sitúa en la posición 13° lugar a nivel mundial y en segunda posición está en América, antes de Brasil que tiene una población de 8,824,664 cabras reportadas (SIAP, 2022). En México los estados con mayores producciones son: Puebla que cuenta con más del 15% de toda la producción del país, seguido por el estado de Oaxaca que tiene aproximadamente el 12%, en tercera posición se encuentra San Luis Potosí con un 10 % de la producción y el estado de Guerrero con el 8%.

La producción de cabras anualmente provee de 42,859 toneladas de carne y 163.6 millones de litros de leche. Los Estados que producen más leche son Coahuila que genera alrededor del 37% de la producción nacional, seguido por el estado de Durango con más del 21%. La mayoría de las producciones caprinas en México se desarrolla en la zona norte donde las condiciones se ven afectadas por las sequias

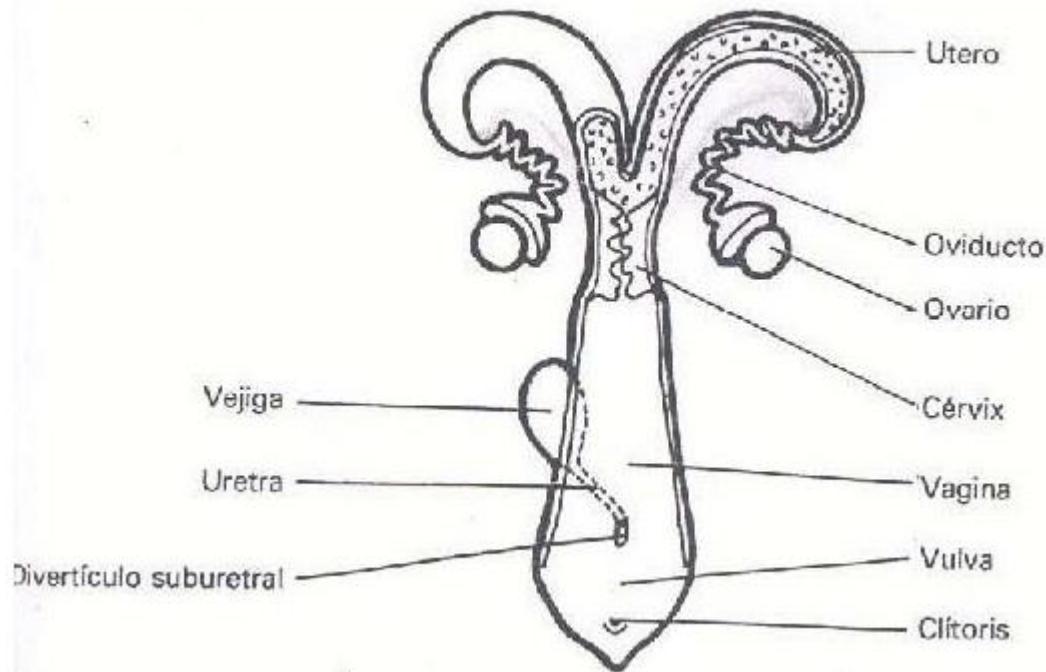
debido a las escasas precipitaciones. Alrededor del 70% se desarrolla en los sistemas extensivos en regiones de zonas áridas y semiáridas y se estima que el 25% se produce en sistemas intensivos donde la mayoría de estos se especializan en la producción de leche. (Aréchiga *et al.*, 2008).

En el área que abarca la Comarca Lagunera, aproximadamente el 90 % de las producciones se encuentran en actividades de productivas de tipo extensivo, donde las cabras son alimentadas con la flora nativa de la zona en la que se encuentran, sin proveer algún suplemento de alimento adicional. Las reservas de alimento proporcionado por la flora nativa que consumen los caprinos disminuye en los meses de noviembre a marzo donde se considera la época de sequía. En este sistema de producción los animales salen al campo por las mañanas y regresan a resguardarse por las tardes en corrales abiertos (Delgadillo *et al.*, 2012).

La estacionalidad reproductiva en la cabra está determinada por la hormona liberadora de gonadotropina la cual disminuye o aumenta su secreción y también por la LH. Esto, debido al hipotálamo que aumenta o disminuye su sensibilidad en la retroalimentación negativa que es influenciada por los estrógenos. Así mismo, el estrés, es otro factor nutricional que ocasiona el incremento de la excitabilidad del hipotálamo a la retroalimentación negativa de los estrógenos, afectando la secreción de GnRH y LH, y por ende también afecta el ciclo ovulatorio (Estrada *et al.*, 2015).

#### 4.3. Anatomía del sistema reproductor de la cabra

El sistema reproductor de la hembra caprina se encuentra conformado por: un par de ovarios, oviductos, útero, cérvix, vagina y vulva.



**Figura 1** Aparato reproductor de la cabra (Tomado de Hafez, 1986).

##### 4.3.1. Ovario

Es uno de los órganos del sistema reproductor de la hembra que son considerados primarios, debido a su participación en la gametogénesis y la secreción de hormonas que se encuentran en cada ciclo estral y para mantener la preñez, están sostenidos por el ligamento útero-ovárico manteniéndolos cerca de los cuernos uterinos. Un ovario está cubierto por el epitelio germinal, seguida por una capa de

tejido conjuntivo la cual también es conocida como túnica albugínea que se encarga de mantener al tejido ovárico (formado por el estroma, folículos en diferentes tamaños, y por cuerpos lúteos funcionales o en regresión) (Sisson y Grossman, 1990).

#### **4.3.2. Trompas uterinas**

También conocidas como trompas de Falopio, estas se ubican sobre el saco formado por el pliegue del extremo libre del ligamento ancho, que recubre al ovario (Sisson y Grossman, 1990). Los oviductos son estructuras en forma de tubo con una longitud que va de 15 a 20 cm., se encuentran cerca con los ovarios. El oviducto forma parte de las trompas de Falopio y tiene la función de aprehender a los ovocitos cuando se produce la ovulación y promueve que se encuentren con las células espermáticas (Galina y Valencia 2012).

#### **4.3.3. Útero**

El útero está ubicado en la cavidad del abdomen. El cuerpo del útero mide unos 2 cm de longitud. Los cuernos del útero miden de 10 a 12 cm de longitud. El útero es el que enlaza los oviductos con la vagina (Bearden y Fuquay, 1982). En la cabra el útero se considera de tipo bipartido, se encuentra sujeto por el ligamento ancho que este a su vez se sujeta de la pelvis y a la pared del abdomen. Las carúnculas son pequeñas y tienen una depresión en la zona libre.

#### **4.3.4. Cérvix**

El cérvix es una estructura que funciona como barrera para separar el medio interno del externo. Mide aproximadamente 4 cm de longitud y por lo regular su luz permanece impenetrada debido a las prominencias y depresiones de la mucosa con las que cuenta, este enlaza el útero con la vagina. Están formados por pliegues cartilaginosos a los que se le conoce como anillos cervicales que están en constante roce unos con otros (Sisson y Grossman, 1990). Entre sus funciones está el transportar las células espermáticas a través del moco que se genera en el cérvix y sirve como depósito de estas mismas células.

#### **4.3.5. Vagina**

Otro órgano más del aparato reproductor y urinario, mide aproximadamente 8 cm de largo. Entre sus límites se encuentra la entrada del cérvix y el meato urinario, este la aparta del vestíbulo y de la vulva. Es donde el macho deposita las células espermáticas al instante de la eyaculación y cuenta con suficiente elasticidad para agrandarse al momento que se produce el parto (Climent y Bascuas, 1989).

#### **4.3.6. Vulva**

Es la parte en la que termina el aparato genital y la apertura externa. Esta cuenta con labios gruesos y las comisuras ventrales apuntan y proyectan ventralmente. La parte interna es el clítoris que es de pequeño tamaño y es el órgano sensitivo. (Sisson y Grossman, 1990).

#### **4.4. Endocrinología reproductiva de la cabra**

##### **4.4.1. Eje hipotálamo-Hipófisis**

En cabras, el encargado de regular la actividad reproductiva es el eje hipotálamo-pituitario-ovárico. En un ciclo estral se alistan folículos durante la embriogénesis, de estos folículos uno o más serán elegidos y se denominarán folículos preovulatorios. Ya escogidos, este se transforma en folículo dominante y una vez que obtiene la capacidad de ovular se considera maduro y los no seleccionados pasan por un proceso que se le conoce como atresia folicular. Los folículos se encargan de secretar hormonas de origen esteroideo que se encargan de regular el comportamiento de la cabra durante el estro. Un folículo en desarrollo libera altos niveles de estradiol, activando un pico de LH, que activará el proceso de la ovulación y posteriormente la luteinización de las células de la granulosa y de la teca, lo que generará un cuerpo lúteo (Hunter *et al.*, 2004).

La progesterona, resulta como producto del cuerpo lúteo, es necesaria para que se lleve a cabo la implantación y el mantener la gestación. Cuando no hay gestación, la hembra entra en un proceso regresión del cuerpo lúteo en solución a la liberación de prostaglandina F<sub>2α</sub> que secreta el útero (Franco y Uribe, 2012).

##### **4.4.2. Hormonas Gonadotropinas**

Las hormonas gonadotropinas las vamos a encontrar en la fase folicular del ciclo estral, en esta fase se encuentra el proestro y el estro, estos se caracterizan por la liberación de hormonas derivadas de gonadotropinas. En estas hormonas se encuentran la FSH y la LH (Fatet *et al.*, 2011). Cuando no se genera una excitación

de estas hormonas, los folículos solo llegan a una fase inmadura (4mm). La FSH llega a su pico cuando se da el surgimiento de la onda folicular. Después de 2 días de darse la onda folicular, disminuye sus niveles, dando inicio a la desviación folicular. El folículo una vez que alcance un tamaño 3 a 5 mm, muestra los receptores de LH en las células de la granulosa y de la teca, es cuando se pasa la dependencia gonadotrópica de FSH a LH por parte del folículo. Un cuerpo lúteo funcional libera alta concentración de progesterona suprimiendo así la frecuencia de los pulsos de liberación de LH, por otro lado, las altas concentraciones de estrógenos liberan GnRH desde el hipotálamo, lo que inicia un pico de LH, suficiente para la maduración final del folículo dominante y lograr la ovulación (Franco y Uribe, 2012).

#### **4.4.3. Hormonas esteroideas**

Las hormonas esteroideas son aquellas que derivan del colesterol las cuales son los estrógenos y la progesterona. Cuando se une la LH a sus receptores en las células de la teca hacen que la progesterona se convierta a andrógenos. Los andrógenos se van a las células de la granulosa donde se convierten en estrona y estrógenos por la actividad de la aromatasa. Los estrógenos tienen una función en los folículos ováricos, estimulan el crecimiento de las células de la granulosa e inducen las transformaciones que se generan en el tracto genital facilitando el transporte espermático, la fecundación y el establecimiento del embrión (Fatet *et al.*, 2011).

Los estrógenos expresan receptores para la progesterona en el ámpula y el istmo del útero. Una vez dada la ovulación, da inicio la siguiente fase denominada fase

lútea, en esta se disminuye la concentración de E2, resultando en la liberación de LH, que esta va a ejercer luteinización de las células de la teca y de la granulosa iniciando el desarrollo del cuerpo lúteo. El tamaño del cuerpo lúteo aumenta, incrementando su vascularización, genera hipertrofia de las células de la granulosa luteinizadas e hiperplasia en los fibroblastos del tejido conectivo (Franco y Uribe, 2012).

#### **4.5. Ciclo reproductivo de las cabras**

##### **4.5.1. Pubertad**

Se refiere a la etapa en que la cabra puede reproducirse. En las cabras la edad en la que se considera la pubertad (detección del primer celo), varía mucho y va a depender de la raza, la estación del año de nacimiento y la alimentación que reciben. En la zona norte de México la detección del primer celo se da alrededor de los seis meses y medio cuando nacen en mayo y 11.6 meses cuando nacen en octubre (Galina y Valencia, 2012). Se toma en cuenta que no se deben servir hasta que alcancen el 60-75% de su peso adulto, debido a que suele verse perjudicado su crecimiento (Luginbuhl, 2004).

##### **4.5.2. Actividad sexual anual**

En la cabra hay muchos factores que pueden afectar la actividad reproductiva: la raza es una de ellas, también se ve influenciada por la presencia de un semental, su nutrición y la cantidad de horas luz. Por lo regular el apareamiento inicia cuando las horas luz disminuye, estas condiciones se dan en el otoño e invierno, lo que

beneficia a los animales nacer en condiciones climatológicas y de ambiente óptimas para favorecer su crecimiento y supervivencia. La limitación reproductiva más importante de la especie, es la estacionalidad, lo cual, constituye un reto para lograr incrementar la frecuencia de los partos (Álvarez *et al.*, 1999).

Las razas originarias de climas templados tienen un fotoperíodo muy marcado en su ciclo reproductivo. En las razas Alpinas y Saanen, su actividad reproductiva comienza en el mes de septiembre y finaliza en el mes de febrero. Las cabras que se encuentran en la comarca lagunera, la actividad de reproducción inicia en el mes de agosto y termina en febrero. El ciclo anual en reproducción de las hembras al igual que el macho, está influenciado por el medio ambiente (Galina y Valencia, 2012).

Existe un periodo de anestro que se da en los meses que comprenden de marzo a mayo. Debido a que este periodo se da en la época de sequía, y hay baja cantidad de forrajes, se hipotetiza que la subnutrición es responsable del cambio en la actividad sexual de las cabras. También, el anestro estacional coincide con la duración del día y la lactancia de los cabritos, debido a que aproximadamente mas del 80 % de los partos se registra en los meses de noviembre a marzo cuando las hembras se mantienen con un semental (Delgadillo *et al.*, 2012).

#### **4.6. Ciclo estral**

Son cambios hormonales, así como anatómicos y de actitud que se dan al inicio y final de un celo. En los caprinos su duración es de 21 días en promedio. Está conformado por 2 fases: Fase folicular que contempla el proestro y estro, la fase luteal donde se da el metaestro y diestro, donde suceden muchos cambios tanto en

las estructuras ováricas, como en las concentraciones de hormonas que libera la hembra para determinar que está ciclando (Fatet *et al.*, 2011).

#### **4.6.1. Proestro**

Etapa que esta antes del estro en la cual la actividad ovárica comienza por la destrucción del cuerpo lúteo que dejó la actividad estral anterior. En esta fase se da el desarrollo de un folículo antes de la ovulación. En este periodo se desarrollan muchos folículos, pero uno será elegido como folículo dominante (FD) y podrá ovular. El FD incrementara su diámetro debido a la influencia de la liberación de la FSH y LH. Los E2 son producidos por células que se encargan de formar la pared del folículo en crecimiento, las células de la teca forman la capa externa y las células de la granulosa forman la parte interna (Guáqueta, 2009).

#### **4.6.2. Estro**

El estro es el momento en el que la cabra deja al macho para que este la pueda montar, este periodo puede durar alrededor de 24 horas. Después, la ovulación se da entre 30-36 horas de iniciar el estro. Dada la ovulación, las células de la granulosa se comienzan a luteinizar creando así el cuerpo lúteo. En los días 16-17 del ciclo estral, las prostaglandinas van a destruir el cuerpo lúteo, disminuyendo sus niveles. Para la maduración y el desarrollo de los folículos se incrementa la secreción de FSH y LH. Los folículos van a secretar estradiol, generando que se dé el estro y por retroacción positiva habrá un pico de LH antes de la ovulación y por último la ovulación (Lesur, 2005).

#### **4.6.3. Metaestro**

El metaestro es la fase en la que se desarrolla el cuerpo lúteo que se da a los 3-4 días después del celo. En esta se da la destrucción del folículo a las 10-14 horas de haber terminado el estro debido a los picos de FSH y LH. Las células de la teca y de la granulosa van a sensibilizar el folículo colapsado a la acción de la LH para que comience la formación del cuerpo amarillo o cuerpo lúteo, que va a generar progesterona (Alila y Down, 1991). La progesterona prepara al útero para la gestación inhibe que se presente un nuevo ciclo. 1 a 3 días después del estro aparece una descarga vaginal mucosanguinolenta que indica que el celo ha terminado y que en 18-20 días se puede mostrar otro. El óvulo que se libero tiene una vida media que va de 10-12 horas, y las células espermáticas puede sobrevivir unas 24-48 horas después de haber sido depositado dentro del sistema reproductor de la hembra (Guáqueta, 2009).

#### **4.6.4. Diestro**

Es la fase de mayor duración del ciclo, se regula por acción de la progesterona y el cuerpo lúteo, dura aproximadamente 10 días. La progesterona se incrementa su concentración igual al desarrollo del cuerpo lúteo, y se mantiene en niveles altos a los días 16-18 del ciclo (Lamming y Mann, 1995). Después empieza una nueva onda de desarrollo folicular, que se ve influenciada por la FSH, que da origen al nuevo folículo dominante no ovulatorio que se atresiara haciendo que se genere una nueva onda folicular. Si en este momento la cabra no está en gestación, la PGF<sub>2 $\alpha$</sub>  que se produce en el útero destruye el cuerpo lúteo. Con la nueva onda folicular el FD crece

rápidamente dando un aumento en el nivel de estrógenos haciendo que comience un nuevo ciclo (Guáqueta, 2009).

#### **4.7. Crecimiento y desarrollo folicular**

En el ciclo estral antes de que se lleve a cabo la atresia folicular, en el ovario se desarrollan una gran cantidad de folículos primordiales que no se dividen, los cuales contienen la reserva de células germinales disponibles para la fecundación durante toda la vida reproductiva del adulto. El paso de folículos primordiales que no se dividen y que no desarrollan a folículos en crecimiento es una parte crucial del desarrollo folicular o foliculogénesis (Baumgarten y Stocco, 2018). Los folículos se desarrollan de forma independiente a las gonadotropinas, los factores locales intervienen trabajando de manera autocrina o paracrina. (Espinoza *et al.*, 2007).

Una clasificación general de los folículos en el ovario adulto consta de las siguientes cuatro categorías:

- 1) Los folículos primordiales constan de una sola capa de células que están en la granulosa rodeando a un ovocito inmaduro. El diámetro total del folículo es <40  $\mu\text{m}$ .
- 2) Los folículos primarios están compuestos de 1-2 capas de células de la granulosa cúbica (10-40 células) que rodean a un ovocito inmaduro y esférico tiene un diámetro de 25-45  $\mu\text{m}$ . Se observan parches dispersos de zona pelúcida alrededor del ovocito.

- 3) Los folículos secundarios presentan de dos a seis capas de células de la granulosa cúbica (40-250) recubriendo el ovocito en maduración, tienen un diámetro entre 35-70  $\mu\text{m}$ . Pequeñas cantidades de zona pelúcida rodean al ovocito en la mitad de los folículos.
- 4) Folículos terciarios tienen más de seis capas de células ( $>250$  células), que contienen un ovocito maduro, su diámetro es de 100-150  $\mu\text{m}$  y tienen una zona pelúcida completamente formada rodeada de células de la granulosa especializadas llamadas cúmulo oóforo. El ovocito de estos folículos contiene microvellosidades erectas que atraviesan la zona pelúcida, uniones adherentes y en hendidura, abundantes mitocondrias redondas (Townson y Combelles).

En la fase folicular se lleva a cabo el final desarrollo del folículo y del celo, produciéndose un pico de LH que estimula la ovulación. En la luteólisis, se aumenta el intervalo de las ondas de LH, elevando su densidad basal de la hormona, a esto se le conoce como pico de LH, desencadenando la ovulación y es clave para romper el folículo preovulatorio y la liberación del ovocito (Álvarez *et al.*, 1999).

En cuanto a la progesterona estando presente o ausente determina el feedback de los estrógenos y el eje hipotálamo-hipofisario definiendo si es negativa o positiva. En la fase lútea, la progesterona está aumentada, por lo tanto, los E2 bajan la concentración de GnRH y LH. Los estrógenos son los que van a determinar que se producirá una nueva onda de LH, incrementando así la receptividad de la hipófisis a la GnRH, finalizando con el pico de LH. El celo termina debido a el pico de LH que

va a determinar la ovulación, bajando la concentración de E2, después se organiza un nuevo CL y por ende el folículo provoca su propia destrucción (Ungerfeld, 2020).

#### **4.7.1. Atresia folicular**

El desarrollo folicular depende del constante crecimiento y de la involución de los folículos antrales que inducen el crecimiento del folículo preovulatorio. La atresia folicular es el fenómeno en el que se pierde o elimina la mayoría de los ovocitos antes de que estos puedan ovular (Flores *et al.*, 2005). Es un fenómeno fisiológico normal que elimina los folículos ováricos innecesarios mediante un proceso no inflamatorio y ocurre en algún momento de la fase del crecimiento folicular, desde la etapa primordial hasta la ovulatoria. Antes del momento de la formación del folículo, y al establecerse dentro del ovario en desarrollo, las células de germinación primordial se transforman en ovogonias, las cuales continúan proliferando, y están sujetas a la muerte apoptótica a gran escala. Alrededor de la mitad de la gestación, las ovogonias se transforman en ovocitos que entran en meiosis, pero luego se detienen en la etapa de dictiato. Este es también el período en que los ovocitos se rodean de células de la granulosa para formar folículos primordiales. Durante la última mitad de la gestación al menos dos tercios de los ovocitos se pierden, dejando una tercera parte de reserva de ovocitos al nacer. Esta pérdida masiva de células germinales (llamada desgaste de ovocitos) resulta de la apoptosis de estas células en todas las etapas del desarrollo. El desgaste de ovocitos también ocurre prenatalmente antes de la formación del folículo (Baumgarten y Stocco, 2018).

Estudios recientes revelan que en la cabra los folículos que almacenan de 17  $\alpha$ -hidroxiprogesterona, baja concentración de E2 y una alta fabricación de

andrógenos, tienen las propiedades morfológicas necesarias para desarrollar degeneración folicular. Otro factor influyente es que la FSH necesita un elemento similar a la insulina para impedir la apoptosis, el crecimiento folicular e integración de esteroides, y esto es posible por el mecanismo en el que se relaciona con la cascada auxiliar de proteína cinasa A (Flores *et al.*, 2005).

#### **4.7.2. Atresia antral**

La atresia antral es una de las fases por la que pasan los folículos antes de atresiarse, esta se caracteriza por la eliminación inicial de las células de la granulosa proximales al antro. Hay núcleos picnóticos en las capas antrales de la membrana granulosa, restos de membranas mitocondriales y plasmáticas asociados a los núcleos picnóticos. Por el contrario, las células de la granulosa basal permanecen intactas. La atresia antral es la forma clásica y más observada de atresia folicular porque ocurre en todas las etapas del desarrollo folicular en la mayoría de las especies (Espinoza *et al.*, 2007).

#### **4.7.3. Atresia basal**

La atresia basal es otro mecanismo por el cual los folículos sufren atresia y en esta se destruye la capa más basal del folículo, mientras que las capas más antrales permanecen intactas y sanas. La lámina basal se encuentra penetrada por macrófagos y capilares invasores, y la teca del folículo presenta un depósito adicional de colágeno. En las capas medias de la membrana granulosa se muestra una progresión de la morfología y la ultraestructura celular, desde las células fragmentadas y picnóticas de la capa basal hasta las células sanas e intactas de las capas antrales (Baumgarten y Stocco, 2018).

#### **4.8. Tratamientos hormonales en cabras**

La cabra debido a su marcada estacionalidad sexual que se manifiesta tanto en el macho como en la hembra, la cual depende de factores genéticos y ambientales, siendo estos últimos los de mayor importancia. Además del clima y el fotoperíodo que se encargan de regular la actividad sexual por lo que el lapso de tiempo de la inactividad sexual depende de la latitud en la que se encuentren los animales. Por tal motivo en las cabras la reproducción se puede controlar, ya que permite controlar el momento de los partos y con ello poder ofertar productos en el momento más favorables. Las formas que implica la aplicación de hormonas exógenas que cambian el ciclo estral; como, la progesterona (P4) o sus similares que imitan la actividad de los progestágenos naturales que se generan en el CL en la fase lútea una vez realizada la ovulación (Cadena *et al.*, 2022).

#### **4.9. Uso en Protocolos de Sincronización de la Actividad estral**

##### **4.9.1. Dispositivos Intravaginales (CIDR)**

Entre los métodos de sincronización estral se encuentra el uso de P4 o sus similares, que fundamentan sus efectos sobre la fase lútea del ciclo, apagando la actividad de la progesterona natural, que se encarga de regular el flujo de LH de la hipófisis. El CIDR es uno de los dispositivos que liberan progesterona lentamente en el organismo, asegurando niveles hormonales adecuados para evitar el estro se insertan por vía vaginal durante 12 a 14 días en tratamientos largos y de 5 a 7 días en tratamientos cortos. Posteriormente después del retiro las cabras entran en celo aproximadamente 48 horas después de la extracción. Cuando se retira el

dispositivo, se administra a los animales gonadotropina coriónica equina (eCG), la cual tendrá funciones similares a la FSH y LH de un ciclo estral natural (Abecia *et al*, 2012).

**Cuadro 1** Efecto de los diversos protocolos basados en progesterona y la duración de los tratamientos sobre el rendimiento reproductivo de las ovejas durante la temporada reproductiva y no reproductiva (Adaptado de Hameed *et al*, 2021)

Tratamiento	Días	Temporada	Tipo de crianza	RE %
FGA 30 mg	7	no reproductiva	Natural	91
FGA 30 mg	10			91
FGA 30 mg	14			94
CIDR 0,3 g	14	cría	TLI	NR
FGA 30 mg	14			
CIDR 0,3 g	12	no reproductiva	Natural	
MAP 60 mg	12			
FGA 40 mg	14	transición	IATF	
MAP 60 mg	14			100
MAP 60 mg	6	anestro	natural	86.7
FGA 30 mg	6			NR
CIDR 0,3 g	6			
MAP 40 mg	14	no reportado	IATF	NR
MAP 50 mg	14			
MAP 60 mg	14			

RE; Respuesta al estro, IATF; Inseminación artificial a tiempo fijo, TLI; Inseminación laparoscópica cronometrada, FGA; Acetato de fluorogestona, MAP; Acetato de medroxiprogesterona, NR; No reportado. Los valores con diferentes superíndices tienen una diferencia de un valor de  $p<0,05$

#### 4.9.2. Prostaglandinas (PGF2 $\alpha$ )

Las prostaglandinas, específicamente la PGF2  $\alpha$ , son otra herramienta importante en la manipulación reproductiva de las cabras. Es uno de los principales protocolos para la sincronización de celos, sus características de que se metaboliza rápidamente en los pulmones sin acumularse en los tejidos la convierte en una alternativa interesante al uso de progestágenos. Esta hormona provoca la regresión del cuerpo lúteo, eliminando su capacidad para producir progesterona. Esto induce

a la hembra a entrar en la fase folicular del ciclo estral y, eventualmente, ovular (Rivas *et al.*, 2021).

Existen diferentes métodos de sincronización con prostaglandinas. La aplicación de una sola dosis de prostaglandina sin saber el instante en que se dará el ciclo estral provoca celos en baja cantidad de cabras medicadas en los siguientes 8 días de haber aplicado el tratamiento que cuando se administran dos dosis separadas por doce días. Esto se debe a que el agente luteolico de la prostaglandina no actúa en todos los estadios del ciclo estral. Sin embargo, al aplicar este protocolo se debe de considerar que la prostaglandina en la cabra solo es efectiva cuando se aplica entre los días 4 y 16 después del estro y su uso de dos dosis separadas por un periodo de 10 a 14 días asegura que las hembras que se encuentren en fase luteal al momento de la segunda aplicación se alcanza un alto grado de sincronización de celos (Pérez *et al.*, 2012).

**Cuadro 2** Efecto de la administración de diferentes dosis e intervalos de inyección de análogos de prostaglandinas F2 $\alpha$  sobre la respuesta estral y la tasa de fertilidad en ovejas durante temporada reproductiva (Adaptado de Hameed *et al.*, 2021)

Tratamiento	Dosis	Intervalo de días	Temporada	Tipo de crianza	RE %
Cloprostenol	120 µg		7 cría	Natural	91
			9		91
			11.5		94
Delprostenoato	160 µg		12 cría	IATF	NR
			13		
			14		
			15		
			16		
			7 cría		
Delprostenoato	160 µg	dosis única	7 cría	IATF	100
D-cloprostenol	75 µg				86.7
DL-cloprostenol	125 µg		7 cría	Natural	NR
Control (Celo natural)					
Dinoprost trimetromina	10 mg	dosis única	cría	NR	
Cloprostenol sodico	150 µg				
D-cloprostenol	150 µg				
Cloprostenol	126 µg		9 cría	100	
	68,25 µg		9		75
	38,25 µg		9		87.5

RE; Respuesta al estro, IATF; Inseminación artificial a tiempo fijo, MAP; Acetato de medroxiprogesterona, NR; No reportado

#### **4.9.3. Gonadotropina Coriónica Equina (eCG)**

Es una hormona de tipo gonadotrópica su uso requiere de un pretratamiento con progesterona o con algún progestágeno para asegurar que los folículos lleguen a su fase de madurez. Es la hormona más utilizada para inducir el celo en caprinos, aunque no es necesaria para inducir una alta tasa de celos, si lo es para acortar el intervalo de este y mejorar la fertilidad de los celos inducidos con progestágenos. Promueve el crecimiento folicular, la producción de estrógenos e incrementan la tasa ovulatoria (Nava *et al.*, 2010). La eCG se emplea con mayor frecuencia por su menor costo y su acción prolongada. La aplicación de la eCG se utiliza como complemento en otros protocolos como cuando se administra Acetato de fluorogestona con eCG; se aplica una esponja impregnada durante 10 a 14 días. La eCG se aplica 48 horas antes de retirar la esponja. También se utiliza en el protocolo Acetato de melengestrol con eCG; el MGA se aplica por vía oral, mezclado en el alimento durante 8 a 14 días, al retirar el tratamiento se administra la eCG. Y por último se ha utilizado con el dispositivo CIDR, este dispositivo vaginal se implanta 14 a 16 días y al retirarlo se aplica la eCG.

#### **4.9.4. Efecto macho**

El efecto macho es uno de los métodos que se ocupa para inducir la actividad ovárica en las cabras a lo largo del lapso de transición entre la época de inactividad sexual y el inicio del ciclo ovárico estacional. Se ha demostrado que el aroma producido por el semental son los encargados de este resultado al incitar a la cabra

sin actividad a ovular (Álvarez *et al*, 1999). Este método se basa en la integración de sementales en un rebaño el cual ha permanecido aislados de estos por un tiempo no menor a 21 días, lo que genera en las cabras la manifestación de actividad sexual y ovulación. La existencia de un semental estimula la actividad hipofisaria de las cabras, por lo tanto, produce un aumento en la producción de LH que va a actuar en el ovario incitando el crecimiento folicular y por consecuente aumento en la secreción estrogénica que va a provocar máxima concentración preovulatoria de LH y la ovulación. Las hembras muestran los signos de celo a las dos semanas siguientes a la introducción del celo. En este método la primera ovulación que se presenta tiene mala calidad, poco fértil y seguida de cuerpo lúteo de corta duración estimándose entre 5 y 7 días, después de este, las cabras vuelven a ovular mostrando signos externos de celo y esta segunda ovulación es de buena calidad alcanzando niveles de hasta el 90% de fertilidad (Mateos, 2001)

**Cuadro 3** Impacto del efecto macho en la sincronización del estro en ovejas durante la época reproductiva y no reproductiva (Adaptado de Hameed *et al*, 2021)

Tratamiento	Duración (días)	Temporada	Tipo de crianza	Efecto macho	RE %
CIDR 0,3 g	9	Temporada de cría	IATF	eCG	100
	9			Macho expuesto	95.2
	14			eCG	100
	14			Macho expuesto	100
ovejas no tratadas		Temporada no reproductiva	Natural	Machos tratado con eCG	63
				Machos sin tratar	38.3
D-cloprosteno	dosis doble 13 dosis única	Temporada de cría		Sin exposición al macho	85
				Macho expuesto	92
MAP 60 mg	6	Temporada no reproductiva	Natural	Macho adulto	47.9
				Macho de un año	35.5
MAP 60 mg		Temporada de cría	Natural	Macho expuesto	88.9
				Sin exposición al macho	97.1

RE; Respuesta al estro, IATF; Inseminación artificial a tiempo fijo, MAP; Acetato de medroxiprogesterona

#### **4.9.5. La manipulación del fotoperiodo**

El ciclo estral de la cabra en anestro puede ser inducido manipulando el fotoperiodo. Este método consiste en alojar a las cabras en lugares cerrados de tal forma que se puedan controlar las 8 horas luz y 16 horas oscuridad. Este tratamiento se basa en poder alternar días largos y días cortos, ya que no se conoce un fotoperiodo constante capaz de lograr una actividad sexual permanente. Los días cortos pueden ser artificiales o inducidos mediante la administración de melatonina. Los resultados suelen ser buenos, sin embargo, las condiciones que exige el programa lumínico hacen que sean insalubres y que se poco factible para llevarla a la práctica (Álvarez *et al*, 1999).

## V.- MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1. General

Esta investigación fue realizada en un hato comercial ubicado en el ejido La Partida, Mpio. de Torreón, Coahuila. El sistema de producción era el semi-extensivo en el cual las cabras se mantenían en pastoreo de 8:00am a 6:00pm y posteriormente pernoctaban en corrales adecuados por los productores. El estudio se llevó a cabo bajo las normas nacionales e internacionales de bienestar animal.

### 5.2.- Diseño experimental

Se utilizaron 25 cabras multíparas clínicamente sanas de razas mixtas (Alpina, Saanen x Criollo), de 15 a 40 meses de edad, con un peso promedio de  $43.5 \pm 0.2$  kg y una puntuación de condición corporal de 2.3 (en una escala de 0 muy delgado a 5 obeso). Las cabras utilizadas en el experimento fueron sometidas a un protocolo de sincronización del estro mediante la aplicación intramuscular de dos dosis de 5 mg de un análogo de prostaglandina  $F_2\alpha$  (Dinoprost Trometamina; Lutalyse®, Zoetis, México), con un intervalo de siete días entre cada aplicación. En el momento de la segunda administración, los animales se distribuyeron aleatoriamente en tres grupos experimentales. El Grupo PG-eCG ( $n = 8$ ) recibió una dosis de 100 UI de gonadotropina coriónica equina (GonActive® eCG, Virbac, Zapopan, México); el Grupo PG-hCG ( $n = 8$ ) recibió 100 UI de gonadotropina coriónica humana (Chorulon®, MSD, Ciudad de México, México); mientras que el Grupo PG ( $n = 8$ ) no recibió ningún tratamiento adicional con gonadotropinas al momento de la segunda inyección de prostaglandina.

### **5.3.- Variables evaluadas**

#### *Escaneo del folículo preovulatorio e intervalo estro-ovulación*

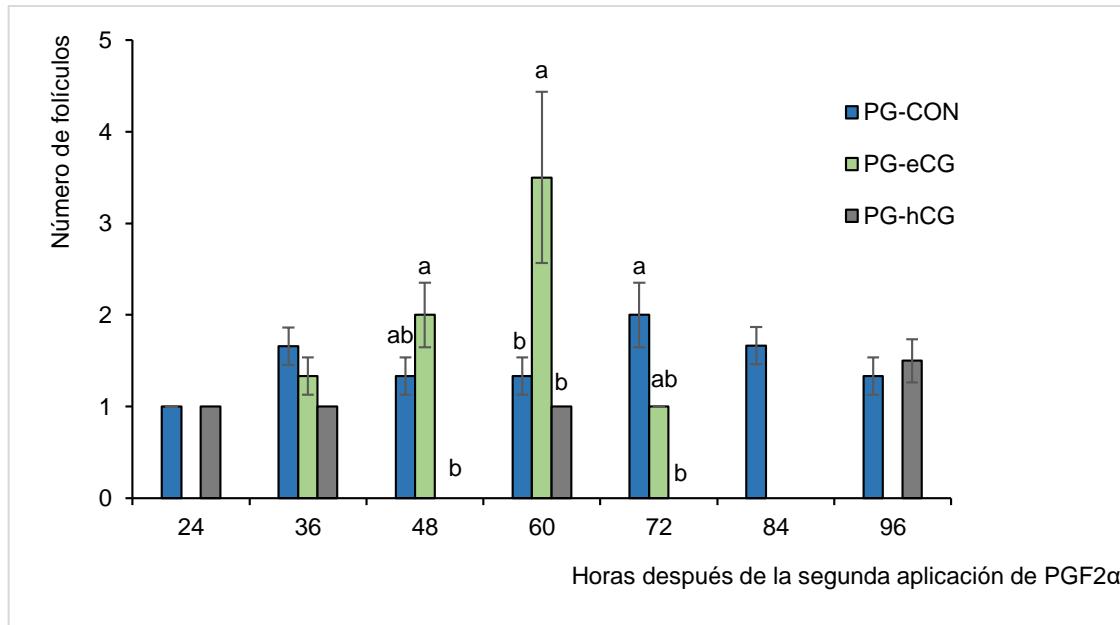
Las hembras que manifestaron signos de estro fueron monitoreadas cada 12 horas, desde el inicio del estro y hasta la desaparición del folículo preovulatorio ( $\geq 6$  mm). Para las evaluaciones se empleó un transductor lineal de 7.5 MHz de frecuencia (Echo 3, Chison Co., Jiangsu, China), introducido por vía rectal en un ángulo aproximado de 45°, utilizando un lubricante hidrosoluble. La ovulación se determinó al observar la desaparición del folículo preovulatorio. Con esta información se calculó el intervalo estro-ovulación, definido como el tiempo comprendido entre el inicio del estro y la desaparición del folículo preovulatorio.

### **5.4.- Análisis estadísticos**

La comparación de las variables de los tratamientos fue mediante un análisis de varianza (ANOVA), utilizando el programa R versión 4.0.5. Todos los resultados se expresan como media  $\pm$  E.M. y la significancia estadística se aceptó con  $p<0.05$ .

## VI.- RESULTADOS

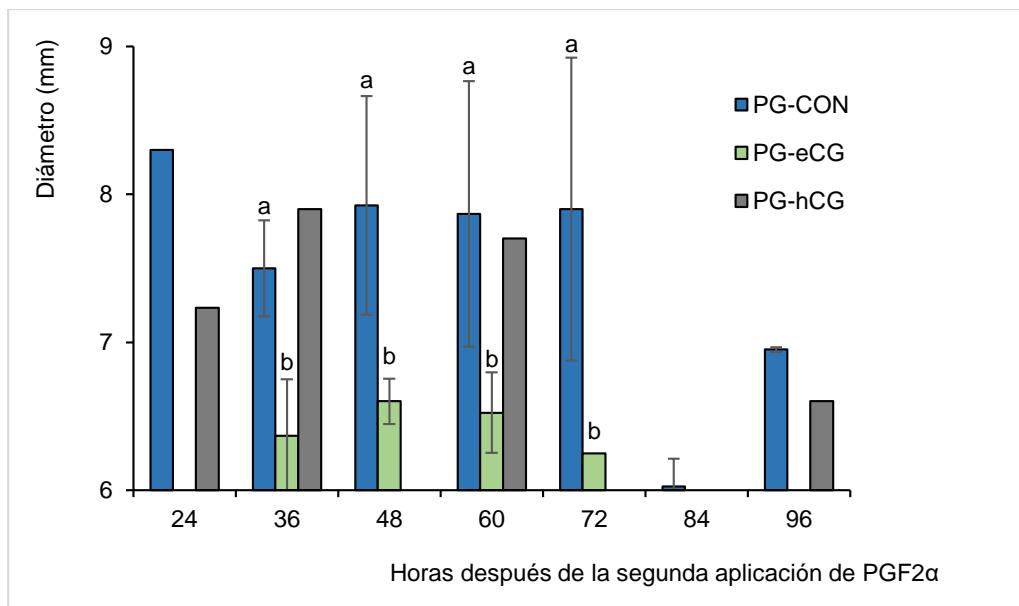
El número y el diámetro de los folículos ováricos variaron significativamente entre los tratamientos y a lo largo del tiempo posterior a la segunda inyección de PGF<sub>2α</sub>. En cuanto al número de folículos (Figura 2), las cabras tratadas con eCG presentaron un incremento significativo ( $p < 0.05$ ) en el número de folículos a las 60 horas posteriores a la segunda aplicación de PGF<sub>2α</sub>, en comparación con los grupos PG-CON y PG-hCG. En este grupo, el número promedio de folículos alcanzó su punto máximo ( $\approx 3.5$  folículos) a las 60 horas, mientras que los grupos PG-CON y PG-hCG mantuvieron valores entre 1 y 2 folículos durante todo el periodo de observación.



**Figura 2** Número de folículos en cabras tratadas con diferentes gonadotropinas, durante la estación reproductiva. <sup>a</sup> ≠ <sup>b</sup>: Letras distintas indican diferencias significativas entre grupos ( $p < 0.05$ ).

Respecto al diámetro folicular (Figura 3), las cabras del grupo PG-CON mostraron folículos de mayor tamaño ( $p < 0.05$ ) en comparación con los grupos tratados con

gonadotropinas. En este grupo, el diámetro promedio de los folículos se mantuvo entre 7.5 y 8.0 mm desde las 24 hasta las 72 horas después de la segunda inyección. Por el contrario, en las cabras tratadas con eCG se observaron folículos de menor diámetro (6.0–6.5 mm), mientras que el grupo tratado con hCG presentó valores intermedios ( $\approx 7.0$  mm).



**Figura 3** Diámetro folicular (mm) en cabras tratadas con diferentes gonadotropinas.

<sup>a</sup>≠<sup>b</sup>: Letras distintas indican diferencias significativas entre grupos ( $p < 0.05$ ).

En lo que respecta al tiempo de presentación del estro y ovulación no existió diferencia estadística entre grupos, aunque numéricamente el grupo PG-hCG mostro una ovulación más pronto a las  $27.0 \pm 0.2$  h, respecto a  $34.3 \pm 2.93$  h y  $6.0 \pm 2.6$  h de los grupos PG-CON y PG-eCG, respectivamente.

## VII.- DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos muestran que la administración de diferentes gonadotropinas (eCG y hCG) al momento de la segunda aplicación de prostaglandina F<sub>2</sub>α influyó de manera distinta sobre la dinámica folicular en cabras.

El grupo control (PG-CON), tratado únicamente con prostaglandinas, mostró folículos de mayor diámetro durante todo el periodo de observación, lo que podría deberse a una ovulación más natural con un desarrollo folicular desde las 24 a 96h, lo cual concuerda con otros autores, que han observado una respuesta más larga durante el tratamiento (Burutaran *et al.*, 2023).

El tratamiento con eCG estimuló un mayor reclutamiento folicular, reflejado en el aumento del número de folículos observados, especialmente a las 60 horas. Este efecto puede atribuirse a la doble actividad FSH y LH de la eCG, que promueve tanto el crecimiento de folículos pequeños como la maduración de los folículos dominantes (Wildeus, 2000).

Cueto *et al.*, (2020) evaluaron la aplicación de 200 UI de eCG al final de un protocolo de sincronización del celo con PGF2α doble a intervalos de 14 días en ovejas, y observaron una mayor tasa de fecundidad en las ovejas tratadas con eCG que en las del grupo de control tratado solo con PGF2α.

Respecto al grupo tratado con hCG no se incrementó el número de folículos, lo que era esperable dado su carácter LH. Este tratamiento parece haber favorecido la maduración y luteinización de los folículos preexistentes más que el reclutamiento de nuevos, manteniendo diámetros foliculares intermedios respecto al grupo control.

En un estudio realizado en cabras que fueron sincronizadas después de 60 días de tratamiento fotoperiódico, se observó que en las cabras que recibieron 300 UI de hCG ovularon antes ( $p < 0.05$ ;  $45.0 \pm 5.9$  h) en comparación con el control ( $72.9 \pm 4.8$  h), con un intervalo más corto entre el estro y la ovulación (Rangel *et al.*, 2025). Asimismo, se ha descrito que el uso de hCG después del tratamiento con PGF<sub>2</sub>α puede inducir una ovulación más precisa, pero con menor respuesta folicular total (Rodrigues *et al.*, 2021).

## **VIII.- CONCLUSIÓN**

De acuerdo con nuestros resultados el uso de gonadotropinas después de un tratamiento de sincronización basado en la administración de PGF2 $\alpha$ , resultó en un desarrollo folicular sincrónico en las cabras que recibieron 100 UI de eCG, siendo esta una opción que pudiera ser de utilidad en los protocolos asociados a IATF.

## IX.- LITERATURA CITADA

- Abecia, J.A., Forcada, F., and González, B. A. (2012). Hormonal control of reproduction in small ruminants. *Animal Reproduction Science*. Volume 130, Issues 3–4.
- Alila, H.W. and Down, J.P (1991). The control of corpus luteum functions in domestic ruminants. *Oxford reviews of Reproductive biology*. 13: 203-237
- Álvarez R, L., Ducoing W, A.E., Zarco Q, L.A., y Trujillo G, A.M. (1999). Conducta estral, concentraciones de LH y función lútea en cabras en anestro estacional inducidas a ciclar mediante el contacto con cabras en estro. *Veterinaria México*, 30 (1), 25-31.
- Aréchiga, C., Aguilera, J., Rincón, R., Méndez de Lara, S., Bañuelos, V., y Meza-Herrera, C. (2008). Situación actual y perspectivas de la producción caprina ante el reto de la globalización. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 9(1), 1-14.
- Bearden, H.J. y Fuquay, J.w. 1982. Reproducción animal aplicada. 1<sup>a</sup> edición. México, D.F.
- Burutaran, M., Fierro, S., Negrín, F., Minteguiaga, M., Gil J. and Olivera-Muzante. J. (2024). Estrous, ovulation and reproductive responses of ewes synchronized with a long interval prostaglandin-based protocol for timed AI. *Theriogenology* 214:187-191.
- Cadena V, S., Velasco V, D., Germán A, C., Salinas R, T., Cortez R, C., y Hernández M, A. (2022). Respuesta reproductiva de cabras Saanen x Alpina al aplicar un reconstituyente metabólico durante la sincronización del estro. *Abanico veterinario*, 12, e2021-56.
- Cadena-Villegas, Said, Velasco-Villanueva, Diana, Germán-Alarcón, Carlos, Salinas-Ríos, Teódulo, Cortez-Romero, Cesar, & Hernández-Marín, Antonio.

- (2022). Respuesta reproductiva de cabras Saanen x Alpina al aplicar un reconstituyente metabólico durante la sincronización del estro. Abanico veterinario, 12, e2021-56.
- Climent, S. y Bascuas, J.A (1989), 2<sup>a</sup> edición, Editorial Marban, Madrid, España.
- Cox, J. F., Carrasco, A., Navarrete, F., Bocic, A., Saravia, F., & Dorado, J. (2024). A Subovulatory Dose of Human Chorionic Gonadotropin (hCG) May Sustain Terminal Follicle Development and Reproductive Efficiency during Anestrus in Sheep. *Animals*, 14(7), 1096.
- Cueto, M. I., Bruno-Galarraga, M. M., Fernandez, J., Fierro, S., y Gibbons, A. E. (2020). Addition of eCG to a 14 d prostaglandin treatment regimen in sheep FTAI programs. *Animal reproduction science*, 221, 106597.
- de Andrade, A. B. P., Morais, M. C. C., Rangel, P. S. C., Oliveira, M. E. F., Souza-Fabjan, J. M. G., & Fonseca, J. F. (2021). Effect of eCG in a short-term synchronization treatment on ovarian status, estrus synchrony, and ovulation in dairy goats managed under tropical conditions. *Tropical Animal Health and Production*, 53(2), 246.
- Delgadillo, JA., Duarte, G., Flores, JA, Vielma, J., Hernández, H., Fitz-Rodríguez, G., Bedos, M., Graciela Fernández, I., Muñoz-Gutiérrez, M., Retana-Márquez, MDS, & Keller, M. (2012). CONTROL DE LA ACTIVIDAD SEXUAL DE LOS CAPRINOS SIN HORMONAS EXÓGENAS: USO DEL FOTOPERIODO, EFECTO MACHO Y NUTRICIÓN. *Agroecosistemas tropicales y subtropicales*, 15 (1), S15-S27.
- Driancourt, M. A. (2001). Regulation of ovarian follicular dynamics in farm animals. Implications for manipulation of reproduction. *Theriogenology*, 55(6), 1211-1239
- Espinoza, J.L., Ortega P, R., Palacios E, A., Valencia M, J., y Aréchiga F, C. (2007). Crecimiento folicular ovárico en animales domésticos: una revisión. *Interciencia*, 32(2), 93-99.

- Estrada C., E., Urrutia M., J., Villagómez A., E., Espinosa M., MA, Jiménez S., H., Cárdenas L., M., y Vera A., H.R. (2015). Concentraciones de LH en periodos de transición reproductiva en cabras criollas x Nubia con diferente condición nutricional. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 6 (2), 137-152.
- FAOSTAT. 2019. Production: Goats; FAOSTAT database. [Online]. Available: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> [Accessed 12/04/2024].
- Fatet, A, Pellicer-Rubio, MT, y Leboeuf, B. (2011). Reproductive cycle of goats. *Animal Reproduction Science*. Volume 124, Issues 3–4, 211-219.
- Flores, P. I., Rosas, V. C., Romano, P. M., y Pérez, M.M. (2005). Apoptosis y atresia folicular: Un binomio esencial en el desarrollo ovárico. *Vet. Mex.*, 36(1).
- Franco, Jackeline y Uribe Velásquez, Luis Fernando. (2012). HORMONAS REPRODUCTIVAS DE IMPORTANCIA VETERINARIA EN HEMBRAS DOMÉSTICAS RUMIANTES. *Biosalud* , 11 (1), 41-56.
- From Baumgarten, S. C., & Stocco, C. (2018). Granulosa Cells. In M. K. Skinner (Ed.), *Encyclopedia of Reproduction*. vol. 2, pp. 8–13. Academic Press: Elsevier.
- Galina Carlos y Javier Valencia. 2012. Reproducción de los animales domésticos. 3<sup>a</sup> edición. México: LIMUSA.
- Guáqueta, H., (2009). CICLO ESTRAL: FISIOLOGÍA BÁSICA Y ESTRATEGIAS PARA MEJORAR LA DETECCIÓN DE CELOS. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 56 (III), 163-183.
- Hafez, E.S.E. (1989), Reproducción e inseminación artificial en animales. Ed. Interamericana-McGrawHill. México, D.F.
- Hunter MG, Robinson RS, Mann GE, Webb, R. (2004). Control endocrino y paracrino del desarrollo folicular y la tasa de ovulación en especies de granja. *Anim Reprod Sci*. 82-83:461-77.

- Lamming, G.E. and Mann, G.E. (1995). A dual role for progesterone in the control of cyclicity in ruminants, *Reprod. Fert. Suppl.* 49: 561-566.
- Lesur, L. (2005). *Manual de cría y manejo de borregos*. México. Ed. Trillas
- Luginbuhl J.M (2004). Detección del celo en cabras de carne. *Animal Science Facts*.
- Mateos R, E. (2001). Control de la reproducción en el ganado caprino. *Mundo Ganadero*. Obtenido de: [https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf\\_MG/MG\\_20\\_01\\_133\\_44\\_49.pdf](https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_MG/MG_20_01_133_44_49.pdf)
- Nava, T.H., Chango, V.J., Finol, P.G., Torres, R.P., Carrillo, F.F., Maldonado, S.J., Gil, H.L., y Akourki, A. (2010). Efecto de la dosis de eCG sobre la inducción del celo en cabras mestizas luego de un tratamiento corto con Medroxiprogesterona. *Revista Científica*, 20(2), 181-183.
- Pérez, C.R., Garese, R.J., Fleischmann, T.R., Ganzábal, P.A., y González, S.C. (2012). Sincronización de celos en cabras en estación reproductiva: uso de esponjas de medroxiprogesterona o aplicación de prostaglandina después de cinco días de detección de celos. *Revista Científica* , XXII (3), 245-251.
- PRODECCA (2021). Programa de desarrollo de la cadena caprina provincia de Chubut.
- Hameed, N., Khan, M.I., Zubair, M., Andrabi, S.M.H. (2021). Approaches of estrous synchronization in sheep: developments during the last two decades: a review. *Trop Anim Health Prod.* 28;53(5):485.
- Omontese, B. O., Rekwot, P. I., Rwuaan, J. S., Ate, I. U., & Makun, H. J. (2013). Effect of prostaglandin and equine chorionic gonadotrophin on estrus behaviour of Sahel goats during the harmattan season. *Livestock Research for Rural Development*, 25(2), 1-7
- Rangel, P. S. C., Rodrigues, J. N., Vergani, G. B., Freitas, B. W., Brandão, F. Z., Souza-Fabjan, J. M., y Fonseca, J. F. (2025). Effect of hCG Administration at the Second Cloprostenol Injection on the Reproductive Performance of

- Saanen Goats Previously Exposed to 16-h Photoperiod. *Reproduction in Domestic Animals*, 60(10), e70134.
- Rivas, M.R., Zúñiga G.S., Arellano, R.G., Arellano, R.F., Gaytán, A.L., y Contreras, V.V. (2021). Efecto de un protocolo de prostaglandina a corto plazo sobre la sincronización y resultados reproductivos en las cabras cíclicas. Abanico veterinario, 11.
- Rodrigues, J.N.D., J.D. Guimarães, M.E.F. Oliveira, J.H. Dias, A.M. Arrais, M.A.P. de Sousa, R. Bastos, B. Ahmadi, P.M. Bartlewski and J.F. Fonseca. (2022). Human chorionic gonadotropin affects original (ovulatory) and induced (accessory) corpora lutea, progesterone concentrations, and pregnancy rates in anestrous dairy goats. *Reproductive Biology* 22(1):100591.
- Santos-Jimenez, Z., Meza-Herrera, C. A., Calderon-Leyva, G., Martinez-Ros, P., Guillen-Muñoz, J. M., y Gonzalez-Bulnes, A. (2021). Efficiency of hCG for inducing resumption of ovarian cyclicity and synchronized ovulations during the seasonal anestrous in sheep. *Animals*, 11(11), 3159
- SIAP (2023). Población de ganado caprino. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. [https://nube.siap.gob.mx/poblacion\\_ganadera/](https://nube.siap.gob.mx/poblacion_ganadera/).
- Sisson S. y Grossman J. D. 1990, Anatomía de los animales domésticos. Tomo 1. Editorial Salvat. 5<sup>a</sup> edición, México, D.F.
- Townson, D. and Combellas, C. (2012). Ovarian Follicular Atresia. ResearchGate. 10.5772/32465.
- Wildeus, S. (2000). Current concepts in synchronization of estrus: Sheep and goats. *Journal of Animal Science* 77 (Suppl. 2): 47-53
- Ungerfeld, R. (2020). Reproducción de los animales domésticos. Ed. Edra. Pp: 16-24