

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO UNIDAD LAGUNA

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



**ADMINISTRACIÓN DE G_nRH PARA MEJORAR LA RESPUESTA SEXUAL DE
LAS CABRAS ANÉSTRICAS TRATADAS CON hCG**

Tesis

Que presenta: **VICENTE HOMERO GONZÁLEZ ÁLVAREZ**
como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

Torreón, Coahuila.

Julio de 2015

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO

TESIS

ADMINISTRACIÓN DE GnRH PARA MEJORAR LA RESPUESTA
SEXUAL DE LAS CABRAS ANÉSTRICAS TRATADAS CON hCG

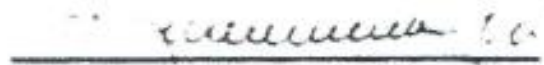
VICENTE HOMERO GONZÁLEZ ÁLVAREZ

Elaborada bajo la supervisión del comité particular de asesoría y aprobada como
requisito parcial, para optar al grado de:

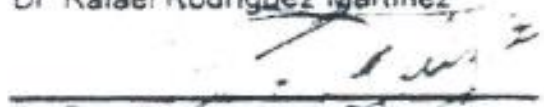
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

COMITE PARTICULAR


Asesor principal


Dr. Rafael Rodríguez Martínez


Asesor


Dr. Fco. Gerardo Veliz Deras

Asesor


Dr. Miguel Mellado Bosque


Dr. Raúl Villegas Vizcaino
Jefe del Departamento de Postgrado


Dr. Alberto Sandoval Rangel
Subdirector de Postgrado

Torreón, Coahuila.

Julio de 2015

Agradecimientos

A mis padres: Vicente Homero González Aguilera y María del Carmen Álvarez Silva por sus consejos, cuidado, guía y ejemplo.

A mis abuelos: por su ejemplo y valores inculcados.

A mi esposa: Martha Irene Gómez Díaz por su paciencia.

A mis hijas: por su comprensión.

A mis hermanos: César y Rodolfo por todo su apoyo.

Al Dr. Francisco Gerardo Véliz Deras, por su confianza y por brindarme la oportunidad de cursar el postgrado.

A los Doctores: Rafael Rodríguez Martínez y Miguel Mellado Bosque, por el tiempo dedicado a la realización de este trabajo.

A los Doctores: Evaristo Carrillo, Raymundo Rivas y Juan Ramón Luna, por todas sus observaciones y consejos.

A mis profesores: por todas las aportaciones que ayudaron en mi formación.

A mis compañeros: Karen, Jessica y Alan por su colaboración en el trabajo de campo y por su compañía durante este periodo.

A todos los amigos: que he tenido la oportunidad de conocer en esta etapa académica.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT): por la beca otorgada para la realización de los estudios de maestría.

Índice General

Lista de cuadros.....	iii
Lista de figuras.....	iv
Resumen	v
Abstract.....	vi
I. Introducción	1
1.1. Hipótesis.....	3
1.2. Objetivo	3
II. Revisión de literatura	4
2.1. Estacionalidad reproductiva	4
2.2. Estacionalidad reproductiva en caprinos	8
2.2.1. Ciclo estral.....	8
2.2.2. La GnRH en el ciclo estral	10
2.3. Inducción de la actividad sexual	14
2.3.1. Progestágenos.....	15
2.3.1.1. Progesterona (P4)	15
2.3.1.2. Acetato de fluorogestona (FGA) y medroxiprogesterona (MPA) ...	16
2.3.1.3. Dispositivos internos de liberación controlada (CIDR).....	16
2.3.2. Prostaglandinas (PGs).....	17
2.3.2.1. Prostaglandina F2 α (PGF2 α).....	18
2.3.3. Gonadotropinas	19
2.3.3.1. Somatotropina bovina (bST).....	19
2.3.3.2. Hormona folículo estimulante (FSH).....	20
2.3.3.3. Hormona luteinizante (LH).....	21
2.3.3.4. Gonadotropina coriónica equina (eCG)	22
2.3.3.5. Gonadotropina coriónica humana (hCG).....	23
2.3.3.6. Hormona liberadora de gonadotropina (GnRH).....	25
III. Materiales y Métodos	31
3.1. Área de estudio.....	31
3.2. Animales y diseño del experimento	31

3.3. Variables.....	33
3.4. Análisis estadístico	34
IV. Resultados.....	35
V. Discusión.....	38
V. Conclusión.....	42
Literatura citada	43
Anexo.....	52

Lista de cuadros

Cuadro 1. Características de la utilización de GnRH en cabras	28
Cuadro 2. Respuesta sexual, gestación y prolificidad del grupo control (GC, n = 8), grupo tratado con 100 UI i.m. de hCG (Gh, n = 8) y grupos tratados con hCG más 8.4 µg i.m. de GnRH al momento (Gn, n = 8) y 24 h después (Gn-24, n = 8).	35
Cuadro 3. Comportamiento de los folículos de las cabras en anestro estacional, grupo control (GC), grupo tratado con 100 UI i.m. de hCG (Gh) y grupos tratados con hCG más 8.4 µg i.m. de GnRH al momento (Gn) y 24 h después (Gn-24).	36

Lista de figuras

	Página
Figura 1 Esquema modificado de los ritmos estacionales	5
Figura 2. Regulación fotoperiódica de la estacionalidad	6
Figura 3. Eje Hipotálamo-Pituitaria-Gónada	7
Figura 4. Ciclo reproductivo de la cabra	9
Figura 5. Desarrollo folicular, ciclo ovárico y regulación endocrina	10
Figura 6. Esquema modificado del ciclo estral de la oveja	11
Figura 7. Localización del sitio de estudio	31
Figura 8. Representación del diseño experimental.	32
Figura 9. Porcentajes acumulados de cabras en estro	37

Resumen

Para evaluar si la incorporación de GnRH al tratamiento con hCG mejora la inducción de la actividad sexual de las cabras durante el anestro estacional, se utilizaron 32 cabras adultas anovulatorias multirraciales, divididas en cuatro grupos (n=8 c/u). El día -1, todas las hembras fueron tratadas con 20 mg de progesterona, El día 0 con 7.5 mg de PGF2 α . Este mismo día, el grupo GC fue tratado con 0.5 ml de solución salina (NaCl 0.9%), mientras que las hembras de los grupos Gh, Gn y Gn-24 recibieron 100 UI de hCG. El Gn y Gn-24 recibieron también 8.4 μ g de GnRH, pero al Gn-24 se le aplicó 24 h después (día +1). Todos los tratamientos se administraron por vía intramuscular. Ninguna hembra del GC presentó estro ni ovulación durante el estudio. Las hembras del grupo Gh tuvieron mejores parámetros reproductivos ($P<0.05$) que las de los otros grupos: mayor actividad estral (Gh 100%, Gn 25% y Gn-24 25%), mayor tasa de ovulación y (Gh 62%, Gn 25% y Gn-24 25%) y mayor tasa de gestación (Gh 62%, Gn 25%, Gn-24 12%). Los resultados del presente estudio sugieren de la administración de GnRH al momento o 24 h después de la aplicación de hCG disminuye la respuesta estral y el porcentaje de gestación de las cabras.

Palabras clave:

Cabras, GnRH, hCG, tiempo de administración, parámetros reproductivos, anestro estacional

Abstract

The aim of this study was to evaluate whether GnRH incorporation to the hCG protocol improves the percentage of estrus induction and other reproductive outcomes during the natural anestrous season in goats. Adult multibreed anovulatory goats (n=32) , received 20 mg P4 i.m. on d-1 of the experimental period; then on d0, all goats received 7.5 mg PGF2 α i.v. Afterwards, four experimental groups (n=8 per group) were conformed and also received on d0: 1). Control Group (GC) 0.5 mL of saline i.m., 2). Gh-Group (Gh) 100 IU of hCG i.m., 3). Gn-Group (Gn) 100 IU hCG i.m. + 8.4 μ g of GnRH at once, and 4). Gn-24-Group (Gn-24) 100 IU hCG i.m. + 8.4 μ g of GnRH 24 h apart. Goats from the GC-group never depicted neither estrus nor ovulation. Yet, goats from the groups Gn, Gn-24 and Gh depicted estrus activity and ovulatory activity, although favoring (P<0.05) to the Gh-group (25%, 25% and 100% for both variables, respectively). The same was true regarding pregnancy rate, with the largest values (P<0.05) observed in the Gh-group (12%, 12% vs 75%, respectively). To conclude, a protocol based on P4+PGF2 α +hCG was the best option to induce and synchronize estrus as well as ovulation regarding the administration of GnRH during the natural anestrous season in goats.

Key words:

Goats, anestrous season, estrus induction protocols, GnRH, hCG, reproductive outcomes.

I. Introducción

Los sistemas ganaderos ocupan alrededor del 30% de la superficie terrestre libre de hielo del planeta y son un activo mundial con gran significancia; además, son un importante proveedor de nutrientes, aportando fuentes de proteína para el consumo humano (Thornton, 2010).

En todo el mundo, existe la necesidad urgente de contribuir a la producción de alimentos a partir de los componentes del sector ganadero. En la búsqueda de hacer frente a estos retos, la importancia de los pequeños rumiantes es ampliamente reconocida (Devendra, 2001), pues forman un nicho importante en la economía y ecología por su habilidad en la producción de carne y leche en casi todos los ecosistemas, pero con mayor presencia las zonas secas y tropicales (Escareno *et al.*, 2012).

En general, los productos de las cabras tienen buena aceptación (McMillin y Brock, 2005), representando los derivados lácteos una alternativa rentable por su sabor y textura específicos (Raynal-Ljutovac *et al.*, 2008). La producción de leche de cabra es de gran importancia para la economía y supervivencia de muchas poblaciones en varias partes del mundo, tanto en países en desarrollo (Asia, África, Medio Oriente), como en países de primer mundo (Estados Unidos y Europa) (Yangilar, 2013).

La mayor parte de la carne de cabra producida se deriva de las cabras destinadas a la producción de fibra y leche (Glimp, 1995). El interés por la carne de cabra ha venido en aumento en la última década y es una de las más consumida a nivel mundial, en lugares donde los recursos son limitados, las cabras productoras de carne son una empresa en potencia, mediante la cual el productor puede crecer de manera eficiente, rentable y ser autosuficiente (Nye *et al.*, 2009).

En los pequeños rumiantes, la temporada reproductiva generalmente se extiende desde el verano/otoño hasta el final de invierno, con un periodo de anestro en los meses de primavera, ocasionando una marcada variación estacional en la disponibilidad de leche y carne, así como fluctuaciones en los precios de estos productos, afectando por igual la economía de los productores, consumidores e industria alimentaria (Gómez-Brunet *et al.*, 2011).

La estacionalidad reproductiva puede ser manipulada, ayudando a reducir el ciclo de producción (Wildeus, 2000), el control de la reproducción nos permite, entre otras cosas, adaptarnos a la demanda del mercado (Chemineau *et al.*, 1993, Whitley y Jackson, 2004). La población caprina ha sido objeto de un crecimiento positivo en los últimos veinte años (Anaeto *et al.*, 2010) y por una gran variedad de razones adquiere cada vez más importancia a nivel mundial, lo cual convierte el control del ciclo reproductivo en un campo de investigación muy importante (Argüello, 2011).

La adopción de biotécnicas reproductivas o métodos de sincronización del estro y la ovulación, permite al productor organizar su sistema de producción y emplear otras técnicas, tales como la inseminación artificial, que es, por su alto impacto en la genética de poblaciones, la más importante biotécnica de reproducción asistida. Así pues, la manipulación de la reproducción de cabras con el uso de técnicas de reproducción asistida genera múltiples posibilidades para la optimización de la explotación (Barbosa *et al.*, 2013).

De acuerdo con Dudhatra *et al.* (2012), sincronizar el estro significa llevar a un grupo de hembras a una misma etapa del ciclo estral, en la cual manifiesten estro y ovulen en un mismo periodo; para esto, se han utilizado la hCG (Omontese *et al.*, 2013) y el GnRH o análogos; sin embargo, son necesarios más estudios para determinar el momento y la dosis más adecuada para la aplicación de GnRH o sus análogos para mejorar la respuesta sexual, principalmente en cabras donde hay menos reportes que en otras especies (bovinos y ovinos).

1.1. Hipótesis

La adición de GnRH al tratamiento con hCG administrada a diferentes momentos fuera de la temporada natural de reproducción, incrementa los parámetros reproductivos en cabras.

1.2. Objetivo

Determinar si la inclusión de GnRH al tratamiento de hCG, mejora la respuesta sexual de las cabras durante el periodo de anestro estacional.

II. Revisión de literatura

2.1. Estacionalidad reproductiva

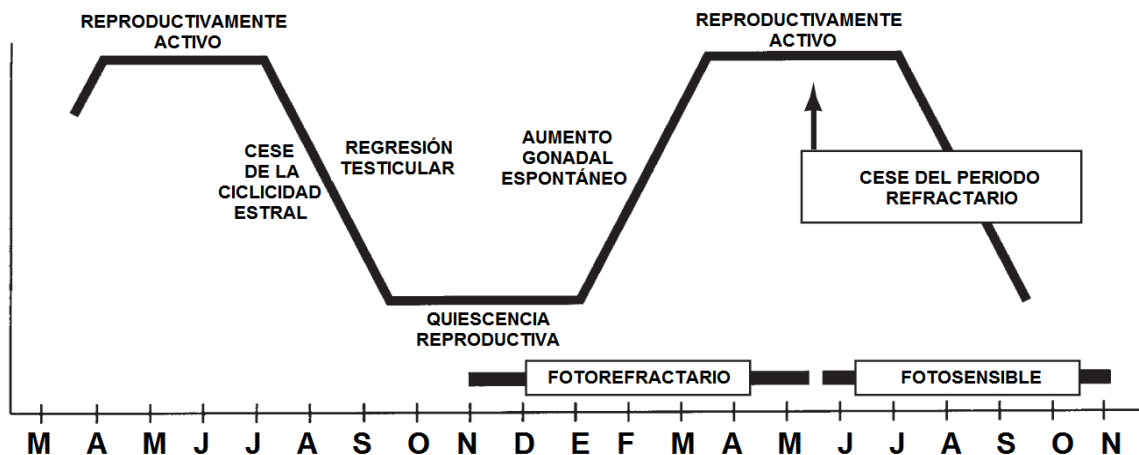
A excepción del ser humano, casi todos los animales tienen una temporada definida para la propagación de sus especies (Spallanzani, 1784); dicha variación estacional puede llegar a limitar la capacidad reproductiva, solo en las hembras o en ambos sexos, en una parte restringida del año (Bronson, 1988), fenómeno que puede ser observado en mamíferos de todas las latitudes, incluso en las zonas tropicales profundas (Bronson, 2009).

Los organismos que viven fuera de los trópicos predicen los cambios estacionales en su entorno, adaptando su comportamiento y fisiología, y en consecuencia su reproducción; aunque la temperatura y la precipitación tienen cambios estacionales, los cambios en la duración del día (fotoperiodo) representan la señal estacional más confiable, esto debido a que los solsticios y equinoccios ocurren en tiempos casi idénticos cada año (Ikegami y Yoshimura, 2012).

Se conocen tres tipos de ritmos estacionales (figura 1): tipo 1, que se lleva a cabo por los cambios en la duración del día; tipo 2, que persiste durante dos o más ciclos, incluso cuando la duración del día, temperatura, humedad y disponibilidad de alimentos se mantienen constantes durante todo el año y; tipo 3, que actúa bajo un sistema estímulo-respuesta estricto, y en el que las señales ambientales en un periodo particular de tiempo durante el año controlan los sistemas efectores con poco o nada de modulación por parte de los mecanismos de cronometraje (Prendergast *et al.*, 2002).

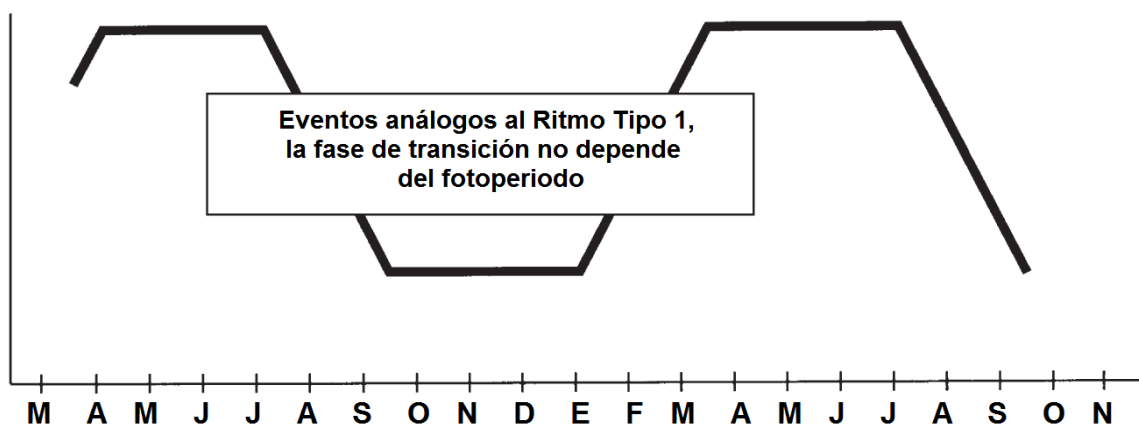
Ritmo Tipo 1

Mixto: mediado por componentes endógenos y exógenos
(Ej: Reproducción en Hamsters)



Ritmo Tipo 2

Endógeno: Producto de los ritmos circunuales
Ej: aumento de peso de la ardilla de tierra



Ritmo Tipo 3

Exógeno: Desencadenado por el medio ambiente

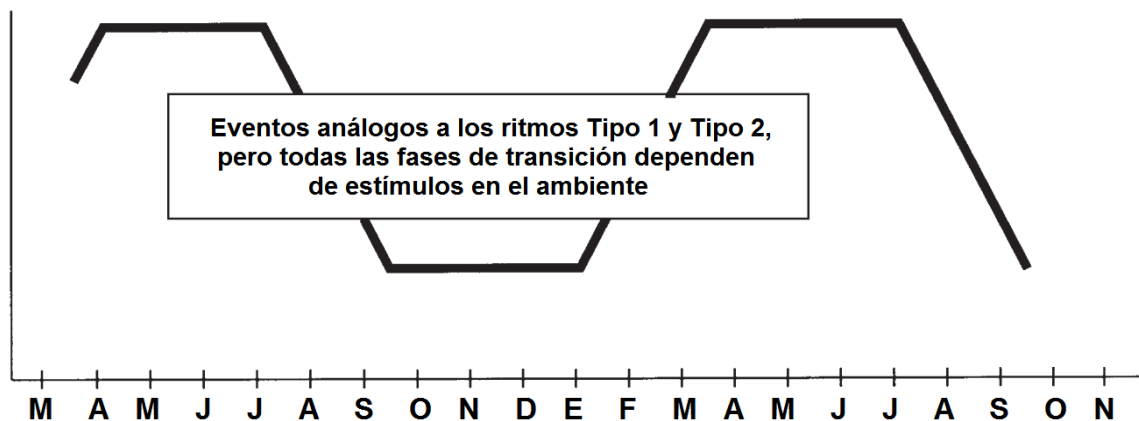


Figura 1 Esquema modificado de los ritmos estacionales (Prendergast *et al.*, 2002).

En la mayoría de los animales, la gametogénesis se produce durante un periodo particular del año, permitiendo producir crías en una temporada favorable; así mismo, la época de cría se relaciona con la duración del periodo de gestación o incubación, por ejemplo: los animales que se aparean en primavera-verano están influenciados por los días largos (roedores) y los que se aparean en otoño-invierno por los días cortos (cabras) (Nakane y Yoshimura, 2014).

En los mamíferos, la respuesta estacional está regulada por la interacción entre el fotoperiodo y los componentes neuroendocrinos del “eje fotoperiódico” o HPG, conformado por el hipotálamo, la pituitaria y las gónadas; cuando la alternancia entre la duración de los días y las noches es percibida por los fotoreceptores induce a las neuronas GnRH del hipotálamo a liberar la hormona GnRH, que a su vez causa la secreción pituitaria de gonadotropinas (hormona luteinizante o LH y hormona folículo estimulante o FSH), intensificando el funcionamiento de las gónadas (figura 2) (Rani y Kumar, 2014).

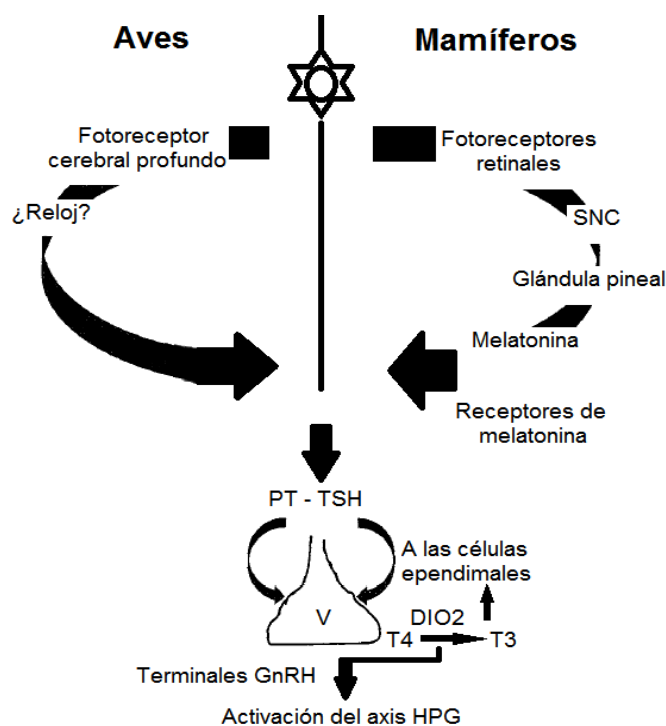


Figura 2. Regulación fotoperiódica de la estacionalidad. DIO2: deiodinasa, T3: triyodotironina, T4: tiroxina, PT - TSH: *pars tuberalis* - tirotrópina. Modificado de Rani y Kumar (2014).

En 1930, Moore y Price propusieron que el eje HPG tiene una naturaleza cíclica en los cambios ováricos (incluyendo la ovulación y el estro); es decir, una interacción recíproca entre el ovario y la pituitaria anterior. Poco tiempo después, Hohlweg y Junkmann indicaron que el hipotálamo actúa como intermediario en la retroalimentación negativa entre las hormonas ováricas y la pituitaria. Las hormonas del eje HPG son las principales responsables de la regulación de la reproducción e incluyen las hormonas producidas en el centro y la periferia. Las hormonas producidas en el centro incluyen a la GnRH del hipotálamo y a las gonadotropinas FSH y LH de la hipófisis. Las hormonas producidas periféricamente son: estrógenos, progesterona, testosterona y las inhibinas, todas de origen gonadal; mientras que las activinas y folistatina se producen en todos los tejidos, incluyendo las gónadas (figura 3) (Vadakkadath Meethal y Atwood, 2005).

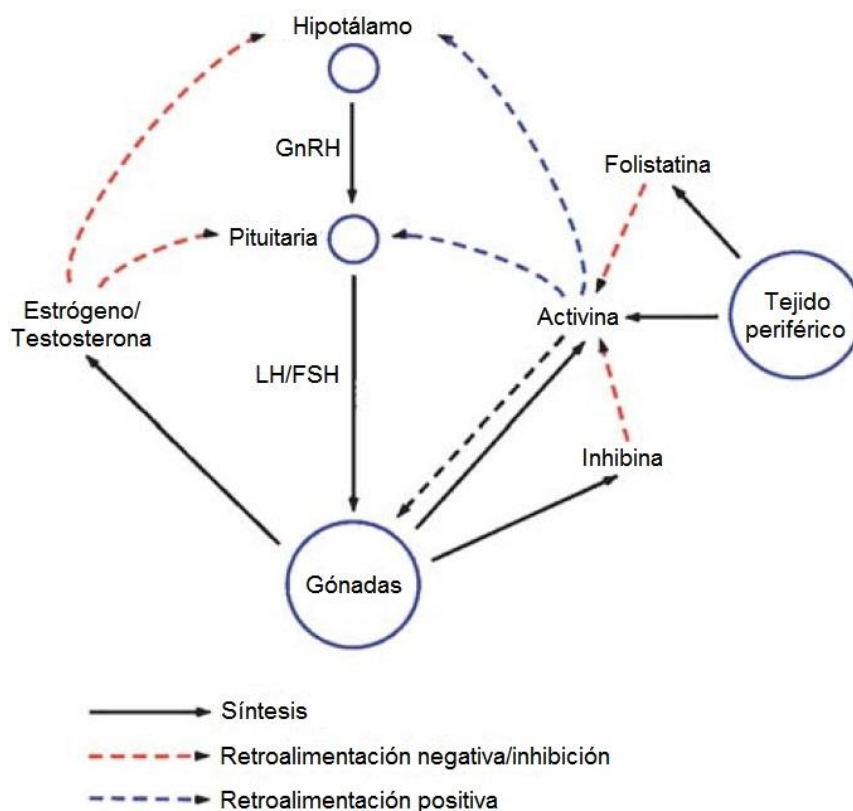


Figura 3. Eje Hipotálamo-Pituitaria-Gónada. La concentración de cada una de las hormonas producidas por el eje está regulada por los ciclos de retroalimentación. El ciclo es iniciado por las activinas. La inhibina controla indirectamente la síntesis de gonadotropinas. La folistatina inhibe que la activina se una a su receptor (Vadakkadath Meethal y Atwood, 2005).

2.2. Estacionalidad reproductiva en caprinos

En el sector pecuario, la productividad es la clave para el crecimiento, así como la reproducción es el soporte de la producción animal (Verma *et al.*, 2012). Por lo tanto, el ciclo reproductivo desempeña el papel más importante en la dinámica del hato; sin embargo, debido a la estacionalidad de las cabras, el ciclo reproductivo se reduce a un periodo específico (Guimarães *et al.*, 2009).

La reproducción en las cabras generalmente se describe como estacional; aunque regulado por el fotoperiodo, se ha comprobado que dicho fenómeno presenta diferencias dependiendo de otros factores tales como: latitud, clima, raza, estado fisiológico, presencia del macho y sistema de crianza (Fatet *et al.*, 2011).

Aunque la estacionalidad reproductiva es una característica común en las razas de cabras de regiones templadas, comenzando en el otoño y culminando en el invierno en las cabras de raza Alpina; sin embargo, la temporada de apareamiento en las razas caprinas nativas bajo condiciones tropicales, son no estacionales o exhiben una estacionalidad reproductiva poco marcada, exhibiendo estro y ovulando casi todo el año (Chemineau *et al.*, 2004).

2.2.1. Ciclo estral

El conocimiento del ciclo estral es importante, pues nos puede ayudar a inducir y/o sincronizar el estro en un grupo de animales, incluso fuera de la temporada normal de apareamiento (Holtz, 2005).

La cabra es un animal poliéstrico estacional (figura 4). Los signos de estro más confiables y mejor aceptados como indicadores de estro, mediante la observación de la observación de la respuesta de la hembra ante la presencia del macho son: búsqueda del macho, bandereo, balido, enrojecimiento de la

vulva, descarga de moco claro, inquietud, micción frecuente y vocalizaciones constantes. Aunque se pueden detectar los signos de estro antes mencionados, es posible que una hembra en celo no exhiba todos los signos antes mencionados. Los signos pueden aparecer y desaparecer progresivamente durante el inicio y la finalización del ciclo (Rahman *et al.*, 2008).

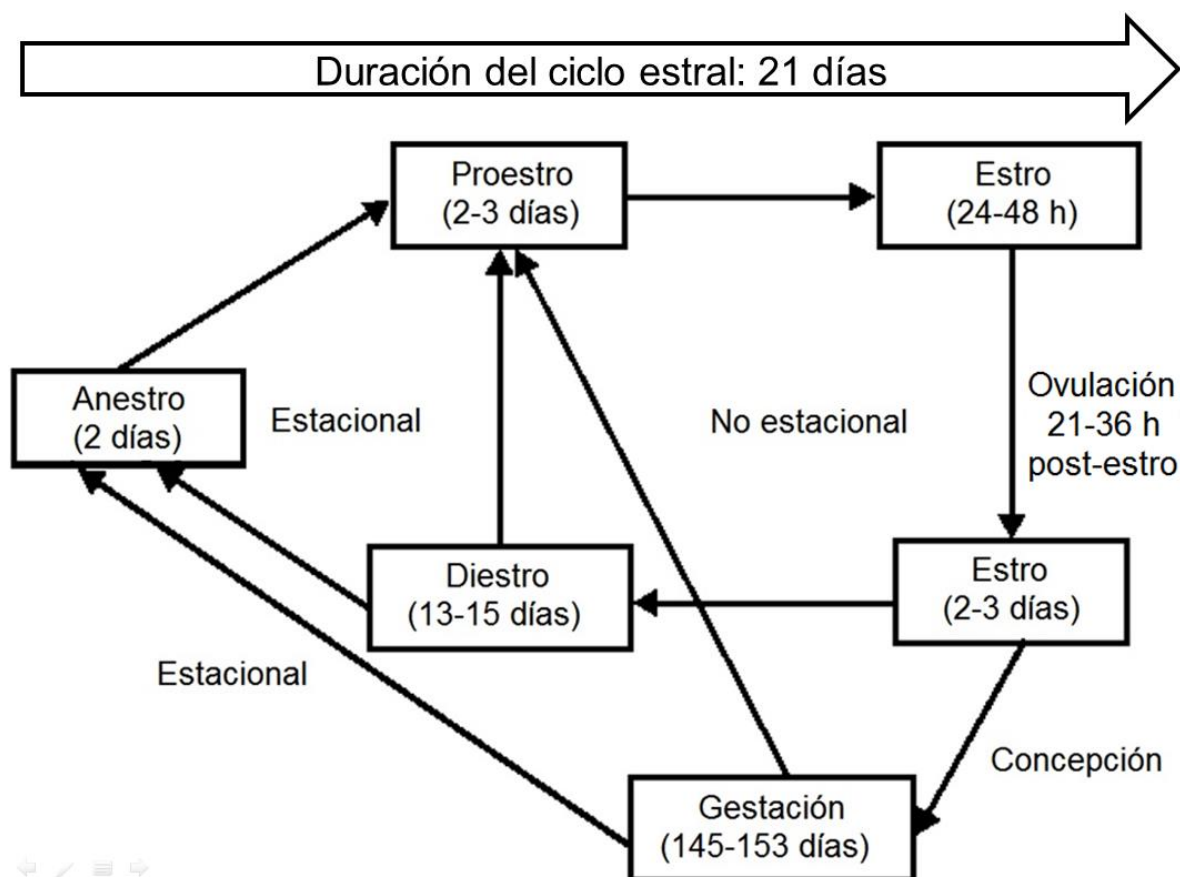


Figura 4. Ciclo reproductivo de la cabra, modificado de Rahman *et al.* (2008)

El ciclo estral está constituido por todos los cambios morfológicos y fisiológicos, tanto en los ovarios como en el tracto genital, que conducen a la expresión del estro, ovulación y preparación del tracto genital para la cópula, fertilización e implantación embrionaria. En la figura 5, se pueden observar los eventos fisiológicos que ocurren durante el ciclo estral (Fatet *et al.*, 2011).

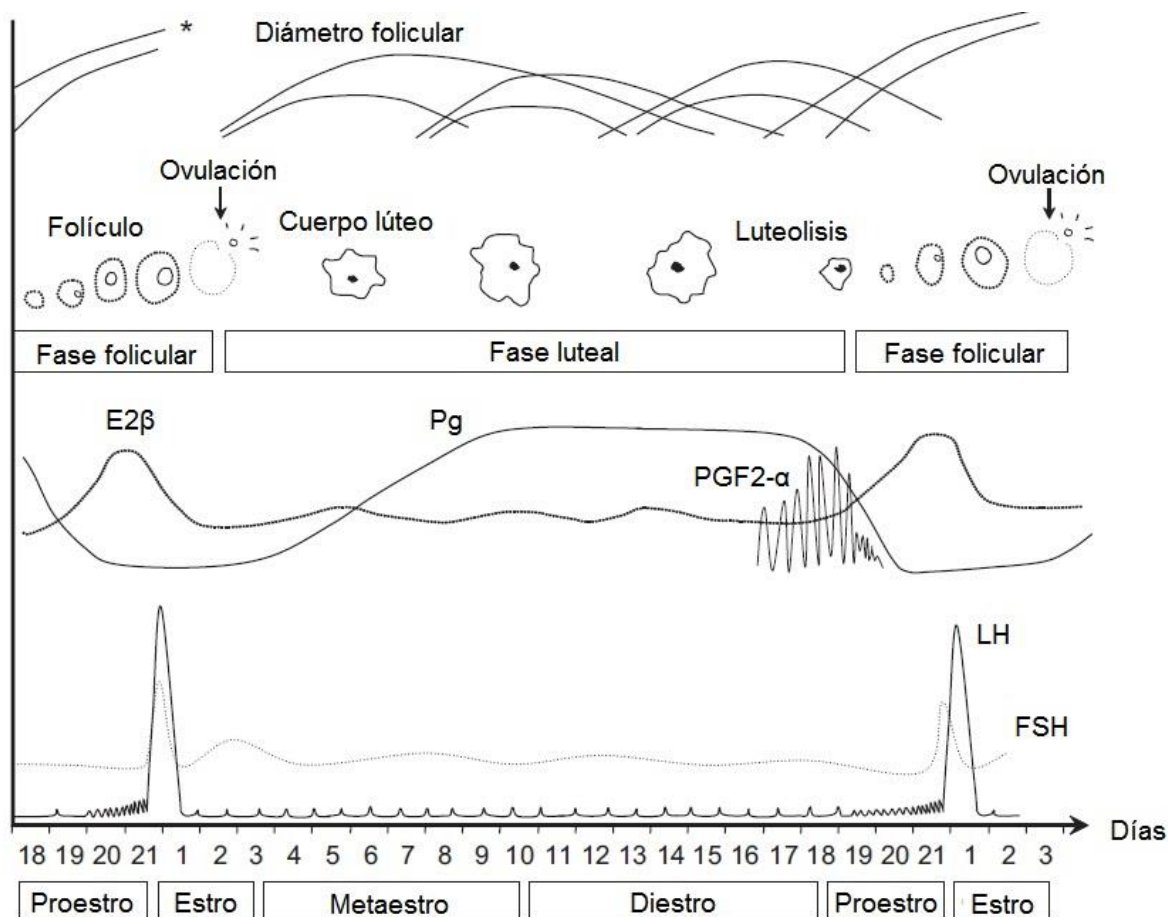


Figura 5. Desarrollo folicular, ciclo ovárico y regulación endocrina. *Folículo(s) ovulatorio(s), modificado de Fatet *et al.* (2011).

2.2.2. La GnRH en el ciclo estral

La GnRH es un decapeptido aislado y caracterizado en 1917 por un grupo de investigadores encabezados por Schally y Guillemin. La GnRH tipo I se considera el factor neuroendocrino clásico de la reproducción. Dicha molécula es sintetizada en el citoplasma del diencéfalo, se almacena dentro de los gránulos del aparato de Golgi y es transportada por los axones hacia la neurona terminal, donde es liberada de manera pulsátil hacia los capilares de la circulación del sistema porta de la pituitaria. Se ha encontrado ARNm en la pituitaria, ovarios, miometrio, endometrio, placenta, próstata y células mononucleares, lo que indica un papel autocrino/paracrino de la GnRH (Huirne y Lambalk, 2001).

Durante el ciclo estral, la secreción de GnRH está regulada principalmente por los efectos de retroalimentación de los esteroides gonadales, donde además ejercen su influencia otros factores tales como el estrés, estado nutricional y la época del año. Por lo tanto, la GnRH es el factor que conduce el eje reproductivo y sin GnRH los gonadotropos y las gónadas no funcionan. La figura 6 muestra el patrón de secreción de esteroides a través del ciclo estral de la oveja e indica que las células de la GnRH son regulados por los esteroides gonadales través de las neuronas intermedias que poseen los receptores de esteroides relevantes (Clarke y Pompolo, 2005).

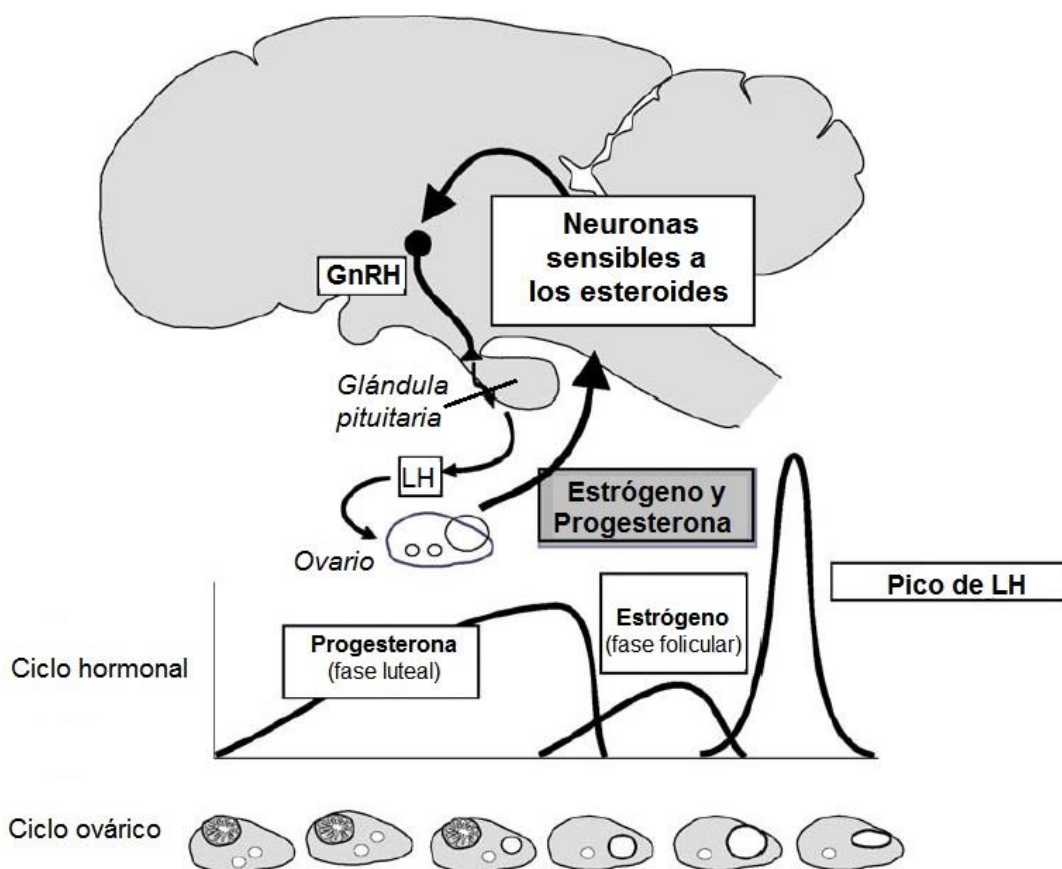


Figura 6. Esquema modificado del ciclo estral de la oveja. Se puede observar la fase lútea dominada de la progesterona, la fase folicular dependiente de estrógeno y la fase de las oleadas. Las hormonas esteroides secretadas por el ovario regulan las células de la GnRH a través de intermedios neuronales en el cerebro (Clarke y Pompolo, 2005).

Durante la fase lútea del ciclo la secreción de GnRH tiene pulsos de gran amplitud y baja frecuencia. Al final de la fase lútea del ciclo estral, con la caída de los niveles plasmáticos de la progesterona, aumenta la frecuencia de los pulsos de GnRH y LH. A medida que avanza la fase folicular y aumentan los niveles plasmáticos de estrógeno, aumenta la frecuencia y disminuye la amplitud en los pulsos de GnRH. El pico pre-ovulatorio de LH se asocia a un aumento inadvertido en la secreción de GnRH, esto debido a la acción del estrógeno, que activa los sistemas involucrados en el mecanismo de retroalimentación positiva. Así pues, durante la acción de la retroalimentación negativa, los altos niveles de estrógeno sin oposición por parte de la progesterona, causan la activación de mecanismos centrales que conducen a la retroalimentación positiva (Clarke y Pompolo, 2005).

Las bases farmacológicas para la utilización terapéutica de la GnRH derivan de su efecto fisiológico para estimular la liberación de LH y FSH en la pituitaria anterior. La liberación aguda de LH y FSH que constituyen las oleadas preovulatorias, están precedidas por una oleada similar de GnRH. Se sabe que después de 30 minutos de la administración del decapeptido en solución acuosa se liberan la LH y la FSH. En medicina veterinaria los compuestos más utilizados son la forma natural y la buserelina (Peters, 2005).

La aplicación de una inyección de “refuerzo” de GnRH el día de la inseminación, mejora las posibilidades de una preñez. El sustento científico de esto es, que se induce la ovulación en el momento oportuno en relación con la inseminación, estimulando así la luteinización y mejorando las posibilidades de éxito de la fecundación y la supervivencia de los embriones. Sin embargo, su eficacia ha sido mal interpretada, sobre todo porque los estudios han carecido de la potencia estadística para lograr resultados significativos y, por tanto, los resultados han sido muy variables (Peters, 2005).

Se han realizado numerosos estudios con la finalidad de definir un tratamiento exitoso basado en la administración de GnRH, para inducir la ovulación “fuera de temporada” o durante el post-parto en ovejas, observándose que la administración continua a dosis de “nanogramos” (cada una o dos horas) puede inducir ovulación a las 48 – 72 h (Peters, 2005); sin embargo, esta infusión continua necesita de un pretratamiento con progesterona para asegurar una función lútea normal “fuera de temporada”, desafortunadamente, esta técnica no ha demostrado ser suficientemente rentable para permitir su aplicación comercial (Peters, 2005, Schneider *et al.*, 2006).

La utilización de la GnRH como parte de los protocolos de sincronización, en los que se administra 7 días antes y a las 48-60 h después de aplicar prostaglandina, parece ser eficaz, mejorando la sincronización de la ovulación. Considerando que la primera inyección es importante para la prolongación de la fase lútea en los animales tratados en el ciclo tardío, el efecto principal de sincronización parece resultar de la segunda inyección de GnRH. Esta inyección adelanta el momento de la ovulación y posteriormente aumenta la concentración de progesterona en un promedio de 24 h (Schneider *et al.*, 2006).

En un estudio se determinó el efecto sobre la función ovárica, concentración plasmática de progesterona, crecimiento del concepto y placentación en corderas y ovejas del análogo de la GnRH o buserelina, administrada el día 12 posterior al apareamiento. Los resultados sugieren que mejora la función ovárica, el crecimiento del concepto y las uniones placentarias en las ovejas; sin embargo, tuvo menor eficiencia en las corderas (Khan *et al.*, 2007).

Olfati y Moghaddam (2013) evaluaron la eficacia de un agonista de la GnRH (cinnarelina), sobre el rendimiento reproductivo de ovejas mestizas iraníes sincronizadas durante la época de reproducción. Un grupo de ovejas fue tratado con 12.5 µg de cinnarelina inmediatamente después de la inseminación artificial

(IA); mientras que otro grupo, recibió la misma dosis, pero entre los días 11-13 post-IA, demostrando que la administración de GnRH mejora el comportamiento reproductivo de las ovejas cuando se administra en el momento de la IA o durante la fase lútea media post-IA.

2.3. Inducción de la actividad sexual

La biotecnología de la reproducción es uno de los productos más emblemáticos de la investigación y ha sido adoptado en el ámbito de las ciencias de la vida y la zootecnia (Thibier, 2005), considerándose a los pequeños rumiantes como un buen modelo de investigación, habiendo obtenido en los últimos años varios logros en la aplicación de estas tecnologías (Tibary *et al.*, 2005).

Las técnicas reproductivas son una de las disciplinas de mayor crecimiento durante las últimas dos décadas, de tal manera que los investigadores que se dedican a la reproducción en cabras se han dedicado a desarrollar y aplicar nuevas tecnologías para incrementar la eficiencia reproductiva, tomando en cuenta el principio de que en algunas regiones del mundo la reproducción de las cabras está limitada a un periodo específico de tiempo y, por lo tanto, que la utilización de estas herramientas nos otorga una ventaja para obtener crías, leche, carne y subproductos durante todo el año (Rahman *et al.*, 2008).

La biotecnología animal abarca la aplicación de los principios de la ciencia y la ingeniería para el procesamiento o producción de materiales con la finalidad de proporcionar bienes o servicios en beneficio del ser humano (Alexander *et al.*, 2010); así pues, las técnicas de reproducción asistida han fomentado la adaptación de técnicas que nos permiten hacer frente a la reproducción estacional de los pequeños rumiantes mediante la manipulación del ciclo estral con protocolos hormonales (Amiridis y Cseh, 2012).

2.3.1. Progestágenos

2.3.1.1. Progesterona (P4)

En 1934, se aisló una sustancia producida por el cuerpo lúteo, la cual hasta 1935 recibiría el nombre de progesterona (P4) (Diaz *et al.*, 2002). La P4 desempeña un papel clave en la regulación de diversos fenómenos fisiológicos relacionados con la reproducción (Stormshak y Bishop, 2008). A nivel ovárico, es fundamental para la ovulación exitosa y para las múltiples facetas del oviducto en la reproducción de los mamíferos. Sus efectos están mediados por el receptor de P4, altamente expresado en el ovario, específicamente en las células de la granulosa de los folículos preovulatorios, en respuesta a la LH (Akison y Robker, 2012). Así mismo, la P4 es fundamental para el establecimiento y mantenimiento de la gestación, desempeñando un papel crucial en la creación de un ambiente uterino óptimo para el desarrollo embrionario (Lonergan *et al.*, 2013).

La sincronización del estro en cabras se consigue mediante el control de la fase lútea del ciclo estral, ya sea proporcionando progesterona exógena o mediante la inducción de luteólisis prematura, este último punto no aplica durante el anestro estacional. La P4 exógena en combinación con gonadotropina se puede utilizar para inducir y sincronizar el estro en cabras. Existen opciones alternativas de progesterona/progestágenos, entre ellos, los dispositivos de liberación interna (CIDR, por sus siglas en inglés), la administración de progesterona natural, los implantes y el suministro por vía oral (Wildeus, 2000).

Básicamente, la P4 exógena aplicada durante el anestro prepara al útero para el embarazo y sensibiliza el eje hipotálamo-hipófisis-ovario, directa o indirectamente, para responder a los estímulos gonadotróficos, además de desbloquear la liberación de las gonadotropinas (Maffili *et al.*, 2006).

Abu *et al.* (2008) investigaron el efecto de la P4 exógena inyectable sobre la respuesta estral, utilizando dosis de 12.5, 25.0 y 37.5 mg de P4; aunque se observaron los niveles de P4 sérica más altos en las cabras tratadas con 37.5 mg, la dosis de 12.5 mg fue más eficaz en la producción de estro, posterior a la retirada del tratamiento con P4. sugiriendo que la inyección de progesterona es eficaz en la sincronización del estro en cabras.

2.3.1.2. Acetato de fluorogestona (FGA) y medroxiprogesterona (MPA)

Las esponjas con MAP y FGA están disponibles comercialmente, sirven para la sincronización y control del estro y la ovulación en pequeños rumiantes, aunque existe una pequeña diferencia en la efectividad entre las dos esponjas (Motlomelo *et al.*, 2002).

Romano (1996) reporta la efectividad para iniciar el estro, su duración y evaluar la fertilidad entre el FGA (30 mg) y la MAP (60 mg), observando que el estro comenzó 12 h antes en el grupo FGA que en el grupo MAP, concluyendo que ambos progestágenos mostraron una buena sincronización de celos, aunque con diferente aparición post-retiro.

Los tratamientos hormonales a corto, mediano o largo plazo para evaluar la inducción sincronizada del estro y la ovulación durante la temporada no reproductiva, fueron comparadas por Araujo-Pietroski *et al.* (2013), utilizando esponjas intravaginales impregnadas con 60 mg de MAP; todos los tratamientos fueron eficaces en la inducción del estro sincronizado, pero la ovulación se produjo antes en el grupo en el que se utilizaron las esponjas durante seis días.

2.3.1.3. Dispositivos internos de liberación controlada (CIDR)

Los CIDR fueron desarrollados a principios de 1980 y sirven como un método alternativo de administración de P4 exógena para la sincronización del estro. A

diferencia de las esponjas intravaginales, los CIDR no absorben ni impiden el drenaje de las secreciones vaginales, como resultado se tiene una secreción menos fétida al retirarlos. Los dispositivos también pueden inducir la sincronización en un tiempo menor que las esponjas, además de tener una menor tasa de retención. Por estas razones los CIDR pueden ser mejores para los programas de sincronización (Motlomelo *et al.*, 2002).

Romano (2004) comparó la eficacia de tres fuentes externas de progestágenos (FGA, MAP y CIDR) sobre la respuesta estral, inicio del estro, duración del estro y la fertilidad durante la temporada de cría en cabras. Los resultados indican que el uso de tratamientos con el CIDR, MAP y FGA más PGF2 α tras la retirada del progestágeno son igualmente eficientes en la sincronización del estro y la fertilidad. También para comparar la eficacia de dos diferentes progestágenos en combinación con gonadotropina coriónica equina (eCG) para la sincronización del estro en cabras, (Omontese *et al.*, 2013), utilizaron CIDR y FGA, reportando que los dos progestágenos en combinación con eCG fueron eficientes en la sincronización del estro.

Por otra parte, Lehloenya y Greyling (2010) evaluaron la eficiencia de la superovulación siguiendo un protocolo largo de sincronización con progestágeno (CIDR), con o sin el uso de PGF2 α , reportando que la inclusión del tratamiento con PGF2 α en el protocolo de superovulación no tuvo ningún efecto beneficioso, mientras que el protocolo del día 0 tuvo una respuesta de superovulación inferior, por lo que recomiendan más investigación centrada en la sincronización.

2.3.2. Prostaglandinas (PGs)

En la década de 1970 se dio un paso importante en la determinación de los mecanismos de regulación del ciclo estral en las hembras gracias al descubrimiento de que la degradación del cuerpo lúteo se da como resultado de

una luteolisina secretada en el útero, llamada prostaglandina F2 α (PGF2 α), la cual poco después se confirmó que es secretada por el epitelio endometrial (Krzymowski y Stefanczyk-Krzymowska, 2004).

En las hembras, de manera natural, las PG's tienen impacto sobre los ovarios, útero, placenta y la función pituitaria, para regular la reproducción. Desempeñan un papel importante en la ovulación, función lútea, implantación, reconocimiento y mantenimiento de la gestación, parto y en la reanudación de la ciclicidad ovárica posparto. Las PGs, tienen efectos farmacológicos tanto positivos como negativos sobre la reproducción, utilizarse a menudo para inducir el parto y para tratar la pseudopreñez, la retención de placenta, los quistes luteinizados, la piometra y la endometritis crónica, así como para sincronizar el estro (Weems *et al.*, 2006).

Sincronizar el estro, significa llevar a un grupo de hembras a una misma etapa del ciclo estral, de modo que estas puedan entrar en estro y ovulación al mismo tiempo, haciendo de este procedimiento una buena herramienta para la reproducción programada. La sincronización del estro se puede lograr mediante la lisis del cuerpo lúteo, administrando PGF o su análogo sintético. Durante la época de reproducción, cuando las cabras están ciclando de forma activa, el estro se puede sincronizar con PGF o uno de sus análogos (cloprostenol), solo o en combinación con diferentes hormonas (Dudhatra *et al.*, 2012).

2.3.2.1. Prostaglandina F2 α (PGF2 α)

En cabras de la raza Nubia se logra sincronizar el estro utilizando cloprostenol (125 mg) y esponjas intravaginales impregnadas con P4, insertadas durante 16 días. Así mismo, la PGF2a (dinoprost trometamina, 5 mg o 10 mg) o su análogo el cloprostenol (62,5 μ g, 125 μ g o 250 μ g) se pueden utilizar para la sincronización del estro en cabras cíclicas. Generalmente, se utiliza un régimen de doble inyección con un intervalo de 10 a 14 días entre las inyecciones. De

igual manera, dos inyecciones de cloprostenol a razón de 62,5 µg, 125,0 µg y 250,0 µg administrados a un intervalo de 14 días, son eficaces en la sincronización durante la temporada de cría con una tasa de respuesta de entre 90 a 100%, con tasas de concepción que varían desde 65 a 75% y un inicio del estro que usualmente se presenta entre las 55 a 65 horas postratamiento (Dudhatra *et al.*, 2012). Kenfack *et al.* (2014) evaluaron la respuesta estral posterior al tratamiento de sincronización con alfaprostol, observando que los calores inducidos por el alfaprostol no fueron suficientemente sincrónicos, por lo que esta técnica de sincronización no es muy adecuada.

2.3.3. Gonadotropinas

Las gonadotropinas son un grupo de hormonas que estimulan el crecimiento y la actividad de las gónadas, específicamente las hormonas hipofisarias que estimulan la función de los ovarios y los testículos, también son llamadas hormonas gonadotrópicas (Stedman, 2004).

2.3.3.1. Somatotropina bovina (bST)

La somatotropina recibe su nombre de una derivación del griego y significa “crecimiento de tejido”, y por tanto es llamada hormona del crecimiento. Fue descubierta hace aproximadamente 70 años y está compuesta por aminoácidos. Para que pueda ser biológicamente activa debe ser inyectada, pues por vía oral es inmediatamente desdoblada a aminoácidos por acción del proceso digestivo (Bauman, 1992).

De acuerdo con Hernández-Cerón y Gutiérrez-Aguilar (2013), la inyección de bST en ovejas y cabras aumenta las concentraciones séricas de IGF-I y la producción de leche. En cabras en anestro, la inyección de bST 5 d antes de retirar el progestágeno mejoró la respuesta estral y la tasa de gestación. El resultado en la respuesta estral es novedoso y puede ser provocado por el

efecto del IGF-I y la insulina en el desarrollo folicular. Además, en las cabras las concentraciones de IGF-I e insulina aumentaron significativamente 1 d después de la inyección de bST y permanecieron altas hasta el día 12 postratamiento.

Fonseca *et al.* (2013) evaluaron el efecto de ambas hormonas, reportando que los protocolos utilizados fueron eficientes para estimular la respuesta ovárica y que, además de que la actividad estral se presentó en el 100% de las cabras tratadas, el intervalo al estro y el número de apareamientos fueron superiores a los obtenidos en estudios previos.

2.3.3.2. Hormona folículo estimulante (FSH)

La FSH pertenece a la familia de las glicoproteínas y desempeña un papel central y esencial en la reproducción; en la hembra, es necesaria para la selección y crecimiento de los folículos ováricos y para la producción de estrógenos a partir de sustratos andrógenos (Rose *et al.*, 2000). Su estructura química está constituida por dos cadenas polipeptídicas que forman las subunidades alfa y beta. En esta estructura, las subunidades alfa y beta le confieren su actividad biológica e inmunológica. La vida media plasmática de las isoformas va desde los 180 hasta los 240 minutos (Nahuis *et al.*, 2010). La FSH controla el comportamiento del desarrollo de las células de la granulosa y es esencial para la supervivencia y diferenciación del folículo (Fatemi *et al.*, 2012).

Se ha utilizado FSH en cabras; en un estudio se evaluó la respuesta ovulatoria (superovulación) y su beneficio a nivel embrionario, indicando los resultados que las cabras pueden ser superovuladas para la producción de embriones con buenos rendimientos (Goel y Agrawal, 2005). También se analizó la eficacia de la superovulación, recolección, transferencia y supervivencia de embriones utilizando PMSG o FSH, observándose diferencia significativa de los parámetros evaluados en el grupo tratado con FSH (Ivanova *et al.*, 2011). En

otro ensayo, se evaluó la eficacia de la FSH de origen porcino (pFSH) dosificada en base al peso corporal sobre la respuesta ovárica; los resultados indican que con 5 mg de pFSH kg/peso corporal se obtuvo un mayor número de embriones, comparado con los tratamientos de 3 y 8 mg/kg, sugiriendo que la dosificación en base al peso corporal es una consideración importante para la superovulación (Rahman *et al.*, 2014).

2.3.3.3. Hormona luteinizante (LH)

Al igual que la FSH, la LH es una glicoproteína compuesta de una subunidad α y dos subunidades β , la cual se produce en las células gonadotropas de la pituitaria anterior y es secretada, principalmente en respuesta a la hormona liberadora de gonadotropina (GnRH), dentro de la circulación sanguínea (Thackray *et al.*, 2010). La LH se encuentra íntimamente ligada a los eventos fisiológicos que conducen al desarrollo de un folículo preovulatorio dominante y competente; bajo el estímulo de la LH, las células de la teca en el ovario producen andrógenos que son transferidos dentro de las células de la granulosa, donde son transformados a estrógenos a través de la acción del sistema enzimático de la aromatasa (Filicori y Cognigni, 2001).

Existe mucho interés en conocer la utilización óptima de la LH en las técnicas de reproducción asistida, esto con la finalidad de tener un control preciso sobre la actividad de la LH exógena (Wong *et al.*, 2011). Por otra parte, no existe una pauta clara en cuanto a los niveles óptimos de suplementación de LH, lo cual es un área que merece mayor investigación (Raju *et al.*, 2013, Smith *et al.*, 2014).

En un estudio realizado para comparar el efecto de varias gonadotropinas sobre la calidad de los embriones se evaluaron los siguientes tratamientos: FSH-porcina, FSH-ovina y, gonadotropina menopáusica humana (GMH: FSH+LH, radio 1:1); los resultados no fueron satisfactorios en el grupo tratado con FSH+LH (Iheukwumere, 2008). En otro experimento se probó la eficacia de

diferentes dosis (19, 38 y 76 UI, respectivamente) de FSH+LH (GMH) sobre la superovulación; los resultados sugieren que la dosis de 76 UI tuvo mejor desempeño en la superovulación; sin embargo, la dosis de 38 UI fue mejor en la generación de embriones (Iheukwumere *et al.*, 2008).

En un ensayo, cuyo objetivo fue evaluar si la suplementación de LH aplicada al final del tratamiento con FSH sincroniza y aumenta la ovulación y producción de embriones, se concluyó que la suplementación con LH aumenta la frecuencia de ovejas con respuesta superovulatoria alta y que ovulan antes de las 42 h, pero no hubo sincronización en las ovulaciones; por otra parte, la suplementación de LH también disminuyó la frecuencia de los folículos anovulatorios, pero la tasa de ovulación y el rendimiento de los embriones no se vieron afectados (Oliveira-Franco *et al.*, 2012).

Para probar la eficiencia del tratamiento de FSH/LH sobre la superovulación en cabras, Martemucci y D'Alessandro (2013) utilizaron tres grupos, en los que administraron diferentes dosis de FSH/LH. Los autores concluyen que el tratamiento con 250 UI durante 3 días fue satisfactorio; además, recomiendan más investigación para optimizar los tratamientos de superovulación para la producción de embriones *in vivo*.

2.3.3.4. Gonadotropina coriónica equina (eCG)

La eCG fue descubierta hace más de 80 años, como un factor que se encuentra en la circulación sanguínea de la yegua preñada durante el primer tercio de la gestación. El componente bioactivo de este suero fue primeramente nombrado gonadotropina sérica de yegua preñada (PMSG, por sus siglas en inglés). Estudios posteriores confirmaron que la fuente de la hormona eran las células coriónicas fetales que invaden el epitelio uterino, descubrimiento que llevó a renombrar la hormona con su actual nomenclatura (Murphy, 2012).

La eCG ha sido utilizada para la sincronización del estro, tanto en la temporada normal de apareamiento como en el anestro estacional, para mejorar los índices de ovulación (Omontese *et al.*, 2013). Usualmente se administra dos días antes de retirar la esponja impregnada con progesterona y suele aplicarse a razón de 500 UI para sincronizar el estro (Chao *et al.*, 2008).

La eCG tiene las ventajas de bajo costo, fácil disponibilidad, además de que funciona con tan solo una aplicación; mientras que entre sus desventajas podemos mencionar su larga vida media, el gran número de folículos anovulatorios, la regresión temprana del cuerpo lúteo, y fertilidad y calidad embrionaria reducidas (Rahman *et al.*, 2014). Por otra parte, se ha utilizado la eCG para la inducción del estro; sin embargo, se sabe que la hormona funciona como un inmunógeno, y en administraciones sucesivas los anticuerpos sintetizados contra la eCG interfieren en su función y disminuyen su eficiencia en la inducción del estro; por lo tanto, otras hormonas como la gonadotropina coriónica humana deben ser probadas para sustituir a la eCG (Fonseca *et al.*, 2005).

2.3.3.5. Gonadotropina coriónica humana (hCG)

No es fácil descifrar el descubrimiento de la hCG; no obstante, se sabe que en 1912, Aschner consiguió estimular el tracto genital de cobayas mediante la inyección de extractos de placenta humana. En 1919, Hirose logró estimular la ovulación y la función lútea normal en conejos inmaduros utilizando tejidos de placenta humana. Ambos estudios muestran una clara relación entre una hormona producida por la placenta y el útero. Su nombre proviene del latín *corium*, que significa después del nacimiento y gonadotropina, porque es una molécula con tropismo hacia las gónadas, que actúa sobre los ovarios y que además promueve las acciones inducidas por los esteroides (Cole, 2011).

La hCG es sintetizada por el tejido trofoblástico al tiempo que comienza la implantación de los blastocitos, esto ocurre entre los 6–9 días posteriores a la concepción. La hCG se hace cargo de la función realizada por la LH, que es estimular la producción de progesterona por el cuerpo lúteo durante las primeras 10 semanas de gestación. Adicionalmente, se cree que la hCG modula la función inmune materno-fetal, además de estimular las gónadas fetales (Ehrenkranz, 2002).

Debido a sus similitudes biológicas y estructurales con la LH, incluso uniéndose al mismo receptor, se ha utilizado durante décadas a la hCG como el más potente estimulador de la maduración final de los ovocitos. Es importante destacar que la vida media de la hCG es significativamente más larga que la de la LH (>24 h contra 60 min), facilitando la hiperestimulación ovárica por su actividad luteotrópica sostenida y por su producción de mediadores de la permeabilidad vascular (Humaidan *et al.*, 2012).

En cabras se ha evaluado el efecto de la hCG sobre el desempeño reproductivo; los resultados sugieren que su administración 5 días después del apareamiento no modifican de manera significativa los parámetros evaluados (Fonseca y Torres, 2005). También se determinó que administrada 12 días posteriores al apareamiento, mejora el desempeño reproductivo por sus efectos sobre la función ovárica y el desarrollo embrionario (Lashari y Tasawar, 2010). Por otra parte, en un estudio en el que se evaluó la eficiencia de PGF con y sin administración de hCG asociada al mejoramiento de los parámetros reproductivos, se observó que la administración de PGF fue efectiva para sincronizar el estro; sin embargo, se sugiere realizar más investigación sobre la utilización de hCG en diferentes dosis y momentos de administración (Esteves *et al.*, 2013).

2.3.3.6. Hormona liberadora de gonadotropina (GnRH)

La GnRH es el iniciador de la cascada hormonal en la reproducción. Se libera en pulsos sincronizados desde las terminaciones nerviosas de aproximadamente 1000 neuronas en el sistema porta hipofisario: esto 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. La frecuencia de impulsos es más alto en el pico de LH ovulatoria y más bajo durante la fase lútea del ciclo ovárico. Los patrones asincrónicos de la liberación de LH y FSH se dan como resultado de los cambios en la frecuencia de los pulsos de GnRH, por los efectos moduladores de los esteroides gonadales y de las hormonas peptídicas sobre la respuesta de la FSH y LH a la GnRH, y por las diferencias en la vida media de las 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).

En los mamíferos la regulación de la secreción de la GnRH está asociada a la interacción compleja entre los sistemas excitatorio-inhibitorio de los neurotransmisores y las neurohormonas con el hipotálamo. Las actividades de esos sistemas y sus funciones en la liberación de la GnRH desde el hipotálamo durante el ciclo estral dependen principalmente de la secreción de estrógeno (E_2) y progesterona (P_4). Tanto el E_2 como la P_4 ejercen una acción positiva y negativa sobre la secreción de GnRH. En el intervalo entre la luteólisis y las oleadas preovulatorias de gonadotropinas, el E_2 ejerce una supresión dependiente de la dosis de GnRH desde el hipotálamo. Este efecto está mediado por una reducción en el tamaño del pulso de GnRH y se produce a pesar de una acción estimulante sobre la frecuencia de pulsos de la GnRH. Mientras tanto, el E_2 y la P_4 inhiben la liberación episódica de GnRH, mientras

que los niveles circulantes altos de E_2 durante oleada preovulatoria de gonadotropina estimulan la producción de GnRH (Ciechanowska *et al.*, 2010).

Existen condiciones fisiológicas y fisiopatológicas donde la secreción y/o acción de gonadotropina son elevadas. Varias líneas de investigación en seres humanos o diferentes modelos animales han demostrado que los cambios en la acción de una sola hormona, ya sea su secreción o su señalización, son capaces de afectar la integridad del eje hipotalámico-hipofisario-gonadal (HPG), y en última instancia, causar infertilidad (Ratner *et al.*, 2014).

La alteración de la dinámica folicular ovárica con GnRH, antes de la inducción de la regresión del cuerpo lúteo con $PGF2\alpha$, mejora la precisión de la respuesta del estro. En cabras en anestro, se determinó el efecto de la aplicación de progesterona 5 días antes de un tratamiento con GnRH+ $PGF2\alpha$ en el rendimiento reproductivo; el éxito de un programa basado en la aplicación de GnRH+ $PGF2\alpha$ depende de la administración previa de progesterona, que junto con la eCG son esenciales y ofrecen la oportunidad para la producción de las tasas más altas de preñez (Mustafa *et al.*, 2005).

Teleb y Ashmawy (2007) evaluaron la fertilidad en cabras Damasco x Baladi con esponjas con acetato de fluorogestona, además de la inyección de GnRH; los resultados sugieren que el tratamiento con la inyección intramuscular única de 4 mg de GnRH 24 h, antes del retiro de la esponja, tienen un buen resultado en la sincronización del estro, superovulación y concepción. Titi *et al.* (2010) reportan que la combinación de GnRH, esponjas con progestágenos y $PGF2\alpha$ es eficaz en la sincronización de estro y la mejora de la fecundidad en ovejas y cabras, por lo que la adición de las esponjas en el momento de la administración de GnRH mejora los parámetros reproductivos, posiblemente a través de un mayor desarrollo folicular.

Para comparar la eficacia de diferentes protocolos de sincronización del estro sobre los parámetros reproductivos en cabras Saanen nulíparas al final del período de transición, Baki-Acar *et al.*, (2013) utilizaron cuatro grupos de tratamientos: implante de norgestomet+GnRH (Imp-G), implante de norgestomet (Imp), esponja FGA+GnRH (Spo-G), y FGA esponja (SPO). Los tratamientos con progestágeno se administraron durante 11 días. Al retiro del progestágeno, todos los animales fueron inyectados con 360 UI de eCG y 125 mg de PGF2a; los resultados mostraron que el uso de implantes de norgestomet y esponjas FGA en combinación con eCG y PGF2a fueron eficaces para la respuesta del estro, el inicio del estro, fecundidad, prolificidad y fertilidad. También se encontró que la GnRH fue ineficaz para mejorar los parámetros reproductivos(Baki-Acar *et al.*, 2013). En el cuadro 1, se presentan algunas particularidades sobre la administración de GnRH en cabras.

Cuadro 1. Características de la utilización de GnRH en cabras

Raza	n	Condición	Dosis y vía	Momento de administración	Respuesta	Referencia
Saanen	15	Anestro estacional (pico de lactancia)	1.5 µg/h i.v.	Grupo control: esponja intravaginal (30 mg FGA) por 12 d + solución salina al retiro de la esponja. Grupo tratado: esponja intravaginal + 1500 ng GnRH i.v., 2 h después del retiro esponja y posteriormente c/2 h durante 52 h.	Se detectó un pico preovulatorio de LH en 5/5 cabras, con una amplitud media de 45.4±7.2 ng/ml y una media de tiempo de 38.4±1.2 h, posteriores al retiro del implante. Todos los animales mostraron estro y ovularon, nueve de ellas se aparearon y 5 tuvieron gestación a término. Múltiples dosis pequeñas inducen ovulación y función lútea normal en cabras en anestro estacional en el pico de lactancia.	(Knight <i>et al.</i> , 1988)
Nubia	24	Anestro estacional	125 µg i.m.	Experimento 1. Grupo I: esponja 60 mg MAP/14 d + 400 UI PMSG i.m. dosis única al retiro de la esponja. Grupo II: esponja + GnRH, dosis única al retiro. Grupo III: esponja + 2 dosis de GnRH con intervalo de 48 h, al retiro.	El inicio del estro, receptividad media por cabra, concentración máxima pre-ovulatoria de estrógenos y pico de LH ocurrió significativamente después para los tratamientos GnRH-1 y GnRH-2 que para el de PMSG. El tratamiento con PMSG indujo un pico pre-ovulatorio en un mayor número de cabras y estos mismos animales tuvieron un mayor porcentaje de gestación que los grupos GnRH-1 y GnRH-2 (57 vs 0 vs 12%). Es muy probable que los tratamientos a base de GnRH no reactivaran el eje hipotálamo-pituitaria-gonada. Las inyecciones intramusculares de GnRH en cabras lactantes con un tratamiento inicial a base de progestágenos no son efectivos en la regulación del rendimiento reproductivo durante el anestro estacional, tal como lo fueron las inyecciones de PMSG.	(Robin <i>et al.</i> , 1994)
Egyptian Balady	100	Anestro estacional	10.5 µg i.m.	24 h post-retiro del implante	El inicio del estro, receptividad media por cabra, concentración máxima pre-ovulatoria de estrógenos y pico de LH ocurrió significativamente después para los tratamientos GnRH-1 y GnRH-2 que para el de PMSG. El tratamiento con PMSG indujo un pico pre-ovulatorio en un mayor número de cabras y estos mismos animales tuvieron un mayor porcentaje de gestación que los grupos GnRH-1 y GnRH-2 (57 vs 0 vs 12%). Es muy probable que los tratamientos a base de GnRH no reactivaran el eje hipotálamo-pituitaria-gonada. Las inyecciones intramusculares de GnRH en cabras lactantes con un tratamiento inicial a base de progestágenos no son efectivos en la regulación del rendimiento reproductivo durante el anestro estacional, tal como lo fueron las inyecciones de PMSG.	(Medan <i>et al.</i> , 2002)
Nigerian Dwarf	12	Anestro estacional	50 µg i.m.	24 h después del retiro esponja	La administración de GnRH no tuvo efectos significativos sobre el inicio del estro. Se requiere de más investigación para determinar el momento óptimo para la administración de la GnRH, así como la dosis mínima efectiva dentro y fuera de la temporada de apareamiento	(Pierson <i>et al.</i> , 2003)
Mountain Black	36	Anestro	100 µg	24 h post-retiro de los	Los resultados indican que la utilización de protocolos que	(Husein <i>et al.</i> , 2005)

			i.m.	insertos	incluyan GnRH y PGF2a en cabras anéstricas, sin un tratamiento previo con P4, no tienen ningún beneficio sobre el rendimiento reproductivo.	
Alpina Saanen	30 15	Anestro estacional	12.5 µg.	Todos los grupos: esponja 60 mg MAP/ 9 d + eCG 200 UI + cloprostenol 37.5 µg el d 7. 24 h post-retiro todos los animales recibieron uno de los siguientes tratamientos. Grupo I: 1 ml solución salina (control). Grupo 2: LH 5 mg Grupo III: GnRH 12.5 µg.	Se observó diferencia entre el número de animales en estro: 100%, 73% y 66%, para T1, T2 y T3, respectivamente. En el mismo orden, no hubo diferencia del retiro al estro, 34.8, 29.3 y 31.5 h, respectivamente. El intervalo medio del retiro a la ovulación fue de 46.6, 52.1 y 41.6 h, respectivamente, con diferencia significativa entre T2 y T3. Las ovulaciones ocurrieron con una media de 21.3, 26.8 y 22.3 h post-aplicación. La aplicación de LH y de GnRH para inducir y sincronizar la ovulación no presentó resultados satisfactorios.	(Leite <i>et al.</i> , 2006)
Damascus Kilis	186	Anestro	4 µg i.m.	d 12 post-apareamiento	El porcentaje de estro fue del 100% y 95% en los grupos tratados con MAP y Norgestomet, respectivamente. El intervalo al inicio del estro en el grupo tratado con FGA fue más corto (26.01 h) que en los grupos tratados con MAP y Norgestomet y la gestación fue del 33%. En conclusión, la administración de GnRH y vitaminas después del apareamiento no mejoró los parámetros de fertilidad.	(Akar <i>et al.</i> , 2014)
Pigmy	12	Apareamiento	50 µg i.m.	24 h después del retiro esponja	La administración de GnRH no tuvo efectos significativos sobre el inicio del estro. Se requiere de más investigación para determinar el momento óptimo para la administración de la GnRH, así como la dosis mínima efectiva dentro y fuera de la temporada de apareamiento	(Pierson <i>et al.</i> , 2003)
Boer	22	Apareamiento (superovulación)	40 µg i.m.	Dos dosis (20 µg c/u), 12 h aparte, durante 7 d, iniciando a los 7 d post-inserción del CIDR	La respuesta estral, el inicio y duración del estro no se vieron afectados por la administración de GnRH, previo a la superovulación con FSH. Este pre-tratamiento parece ser perjudicial sobre la producción y calidad de embriones	(Lehloenya <i>et al.</i> , 2006)
Damascus x Baladi	30	Apareamiento	4 µg i.m.	13, 14 o 15 d, las esponjas se retiraron el d 15	La respuesta estral fue 100%, 80% y 70%, respectivamente. La manifestación del estro tuvo una duración media de 30.5±0.9 h, el índice de concepción fue mayor en los grupos A y B, 70 % y 80%, respectivamente. Las cabras del grupo B tuvieron mejor concepción y tamaño de camada. La administración de GnRH 24 antes del retiro de la esponja aumenta el índice de concepción y la incidencia de partos múltiples.	(Teleb y Ashmawy, 2007)
Damascus	53	Apareamiento	100 µg i.m.	Al inicio del tratamiento	Las variables evaluadas fueron similares en todos los grupos, solo en los grupos 3 y 4 hubo mayor número de partos múltiples, con respecto al grupo 2. La combinación de GnRH+esponjas+PGF2a es efectiva para sincronizar el estro y mejorar la fecundidad. La utilización de esponjas al momento de la administración del GnRH, mejora los parámetros reproductivos, posiblemente mediante el favorecimiento del desarrollo folicular. Dicha combinación puede tener mejor respuesta que utilizando esponjas más eCG.	(Titi <i>et al.</i> , 2010)

Ionica	186	Apareamiento	100 µg i.m.	Al inicio del tratamiento (d 0)	La presencia de estro fue de 5.0, 78.3, 86.4, y 58.3% para los grupos 1–4, respectivamente. El intervalo al estro fue menor en el grupo 1 y 4. No hubo diferencia significativa entre los grupos en cuanto a la fertilidad y prolificidad. La inducción al estro varió del 91 al 100% y todos los animales ovularon. El tratamiento FGA-PGF2a-eCG-9d fue efectivo para sincronizar el estro y la ovulación y es una alternativa frente al protocolo convencional FPe-11 d. El tratamiento corto de 5 d combinado con progestágenos-PGF2a-GnRH-eCG requiere de más investigación.	(Martemucci y D'Alessandro, 2011)
Shiba	5	Tratamiento de quistes foliculares	10.5 µg i.m.	Al inicio del tratamiento	El tratamiento con GnRH indujo la luteinización del quiste folicular ovárico y la administración de la PGF2a indujo la luteólisis de los quistes luteinizados todas las cabras mostraron estro a las 55.2±2.3 h posteriores a la administración de la PGF2a. Cuatro cabras ovularon y quedaron fecundadas. La GnRH puede utilizarse en el tratamiento de ovario quístico folicular con una efectividad del 80%	(Medan <i>et al.</i> , 2004)
Hair goat	104	Lactancia (periodo de transición)	5 µg i.m.	Al momento de la I.A.	El índice de gestación y de partos gemelares fue de 37.5%, 41.6%, 40.9%, 47.8% y 22%, 30%, 11%, 18%, respectivamente. El tamaño de las camadas fue de 122%, 130%, 111% y 118%, respectivamente. El número de partos fue del 100% en todos los grupos. No se encontraron diferencias significativas entre los grupos. Los resultados indican que la adición de GnRH no mejoran los parámetros reproductivos.	(Sanbay <i>et al.</i> , 2012)
Saanen	71	Final del periodo de transición	4 µg i.m.	Al momento de la inserción del implante	No se observaron diferencias significativas sobre los parámetros evaluados en los animales tratados. Se concluye que la utilización de esponjas con FGA en combinación con eCG y PGF2a es efectiva para inducir la respuesta estral, inicio del estro, prolificidad y fertilidad; sin embargo, se encontró que la GnRH fue inefectiva sobre los parámetros reproductivos.	(Baki-Acar <i>et al.</i> , 2013)
Nubian	37	Intervalo post-parto	100 µg i.m.	Grupo I: d 7 post-parto (p.p.), grupo II: d 15 p.p., y grupo III, d 21 p.p.	Los grupos tratados con PGF2a el día 15 y 21 redujeron el intervalo post-parto en 18 y 30 días, respectivamente. La inyección de GnRH a los días 7, 15 y 21 disminuyeron significativamente el intervalo post-parto a 32.8, 40.8 y 41.8 días, respectivamente. Se concluye que los animales tratados en el estudio con PGF2a y GnRH durante el periodo post-parto prematuro reanudaron su actividad ovárica antes que el grupo control, reduciendo así el intervalo post-parto.	(Elsheikh <i>et al.</i> , 2013)
Saanen	49	Nulíparas	4 µg i.m.	Primera dosis: d 0, segunda dosis: d 9. Un grupo fue inseminado al momento de la inyección y otro a las 8 h después de la segunda dosis de GnRH	El estro se observó en el 92% y 84%, el inicio del estro a las 31.1 h y 30.9 h, y la duración del estro fue de 34.4 h y 29.4 h; respectivamente. Las diferencias observadas podrían estar relacionadas con la variación en el tiempo de la ovulación durante el inicio de la pubertad y la temporada de cría.	(Nur <i>et al.</i> , 2013)

III. Materiales y Métodos

3.1. Área de estudio

El estudio se realizó del 28 de abril al 17 de mayo del 2014 en Santa Fé, Torreón, Coahuila, México ($25^{\circ}33'48.24''$ LN y $103^{\circ}20'08.59''$ LO), con una altitud de 1120 msnm. El área se caracteriza por un clima muy seco, con una temperatura que oscila entre los 14 – 22 °C, con un promedio anual de 23.1 °C y una precipitación pluvial de 100 - 400 mm anuales (PMD, 2014).



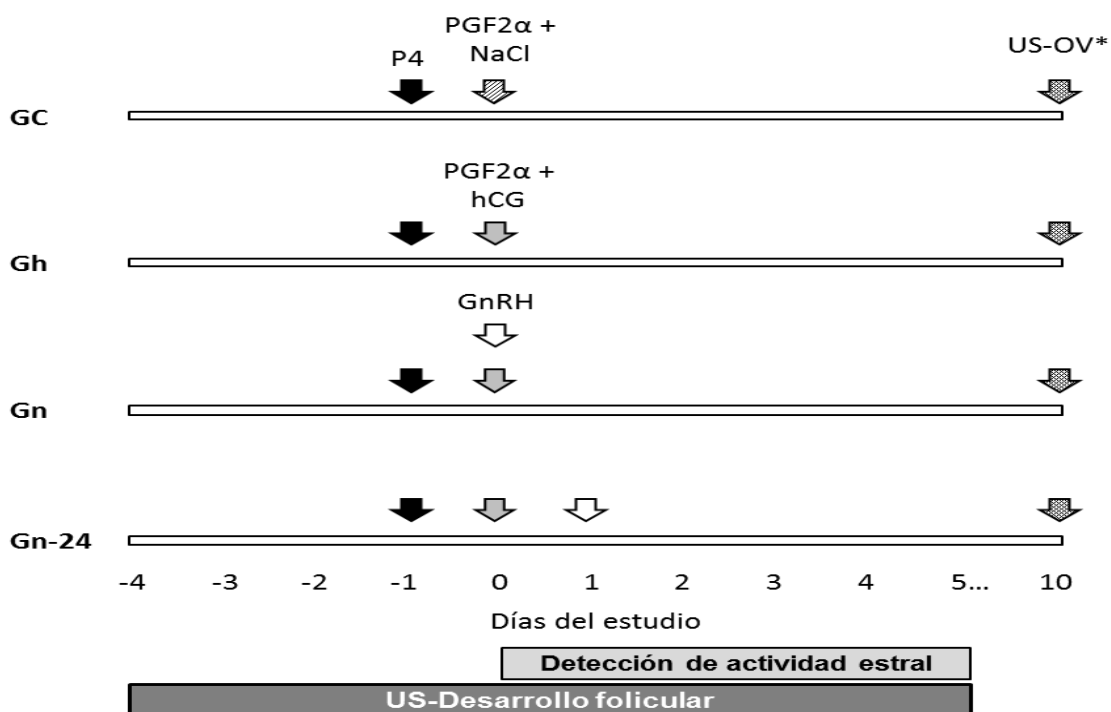
Figura 7. Localización del sitio de estudio

3.2. Animales y diseño del experimento

Para definir que las hembras utilizadas en el estudio se encontraban en anestro estacional, se realizó ultrasonografía transrectal (Aloka SSD 500, Richmond, BC, Canadá) de acuerdo con lo descrito por De Santiago-Miramontes *et al.* (2011), y así determinar la respuesta sexual mediante la inclusión de un análogo de GnRH (Buserelina, acetato) al tratamiento con hCG. Se utilizaron 32 cabras anovulatorias multirraciales divididas en cuatro grupos de ocho hembras cada uno, homogéneos en cuanto a peso (40 ± 7 Kg) (Mahmud *et al.*, 2014) y condición corporal (1.7 ± 0.3) (Honhold *et al.*, 1989), manejadas bajo un sistema

de pastoreo extensivo. Al inicio del experimento, las hembras fueron estabuladas en corrales de 4 x 4 m, separados por más de 50 m, expuestos a la temperatura ambiente y a la luz natural del día. La alimentación fue a base de heno de alfalfa más 200 g de concentrado comercial (14% PC); los animales tuvieron acceso a sales minerales y agua *ad libitum* hasta la concluir el estudio; posteriormente, fueron regresadas al sistema extensivo.

En la figura 8 puede observarse un esquema del procedimiento. El día -1 todas las hembras fueron tratadas con 20 mg de progesterona. El día 0 (24 h después), el grupo control (GC) fue tratado con 0.5 ml de solución salina isotónica, el segundo grupo (Gh) con 100 UI de hCG, el tercer grupo (Gn) con hCG 100 UI de hCG + 8.4 µg de GnRH al momento del tratamiento con hCG, y el cuarto grupo (Gn-24) con 100 UI de hCG + 8.4 µg GnRH h después de la aplicación de la hCG. Ese mismo día, a todas las hembras se les aplicó 7.5 mg de PGF2α (Dinoprost, trometamina) por vía intravenosa. A excepción de la PGF2α, todos los tratamientos se administraron por vía intramuscular.



*US-OV: ultrasonido para detectar ovulación

Figura 8. Representación del diseño experimental.

3.3. Variables

La dinámica folicular se evaluó del día -4 al día +5. Una vez localizado el ovario se congeló la imagen en el monitor del ultrasonido descrito anteriormente y se realizaron diagramas de los ovarios, para registrar la localización y desarrollo de los folículos (Medan *et al.*, 2005).

De acuerdo con los métodos señalados por Fonseca y Torres (2005) y Olivera-Muzante *et al.* (2013), se recolectaron datos de los siguientes parámetros:

- *Actividad estral*: hembras en estro/total de hembras x 100
- *Ovulación*: hembras que ovularon/total de hembras x 100
- *Tasa ovulatoria*: número de cuerpos lúteos/hembras que ovularon
- *Latencia al estro*: tiempo entre la aplicación de hCG y la primer monta completa
- *Latencia del estro a la ovulación*: tiempo del inicio del estro hasta la ovulación
- *Duración del estro*: tiempo transcurrido desde la primera hasta la última monta
- *Tasa de gestación*: hembras gestantes/hembras apareadas x 100
- *Prolificidad*: número de crías nacidas por cada hembra

La actividad estral fue determinada dos veces al día (6:00 h y 18:00 h), del día 0 al día 5, para lo cual se utilizaron dos machos multirraciales sexualmente activos, considerando como hembra en estro a la que aceptó la monta del macho (Fonseca y Torres, 2005). Para determinar que hembras habían ovulado, el día 10 se realizó ultrasonografía transrectal con el equipo mencionado anteriormente. Se consideró que una hembra había ovulado cuando se le observó por lo menos un cuerpo lúteo (Simoes *et al.*, 2008).

El diagnóstico de gestación se realizó a los 45 días mediante ultrasonografía conforme a la técnica descrita por DesCôteaux *et al.* (2010), utilizando el equipo

previamente descrito. Al momento del parto se anotó el número de crías nacidas por hembra.

3.4. Análisis estadístico

Para comparar el porcentaje de hembras en estro y el de las que ovularon se utilizó la prueba de Fisher y para la evaluación del diámetro folicular se realizó una prueba de T, mediante el programa MYSTAT (Versión 12, 2007). En todas las pruebas se utilizó un intervalo de confianza del 95%.

IV. Resultados

En el cuadro 1 se observa la respuesta sexual de las hembras de los diferentes grupos experimentales. De las hembras del GC ninguna presentó estro ni ovulación durante el estudio. Las hembras del grupo Gh tuvieron mejores parámetros reproductivos ($P<0.05$) que las de los otros grupos: mayor actividad estral (Gh 100%, Gn 25% y Gn-24 25%), mayor tasa de ovulación y (Gh 62%, Gn 25% y Gn-24 25%) y mayor tasa de gestación (Gh 62%, Gn 25%, Gn-24 12%).

Cuadro 2. Respuesta sexual, gestación y prolificidad del grupo control (GC, n = 8), grupo tratado con 100 UI i.m. de hCG (Gh, n = 8) y grupos tratados con hCG más 8.4 μ g i.m. de GnRH al momento (Gn, n = 8) y 24 h después (Gn-24, n = 8).

Variable	GC	Gh	Gn	Gn-24
Estro (n)	0	100% (8/8) ^a	25% (2/8) ^b	25% (2/8) ^b
Ovulación (n)	0	100% (8/8) ^a	25% (2/8) ^b	25% (2/8) ^b
Tasa ovulatoria (n)	-	1.8 \pm 0.2 ^a	1+0 ^b	1.5 \pm 0.5 ^a
Latencia al estro (h)	-	65 \pm 4 ^b	66 \pm 18 ^a	66 \pm 18 ^b
Latencia del estro a la ovulación (h)	-	33 \pm 7 ^a	54 \pm 18 ^b	30 \pm 6 ^a
Latencia del día 0 a la ovulación (h)	-	93 \pm 4,5	108 \pm 0	84 \pm 12
Duración del estro (h)	-	39 \pm 12 ^b	54 \pm 18 ^a	30 \pm 6 ^b
Gestación (n)	-	75% (6/8) ^a	12% (1/8) ^b	12% (1/8) ^b
Prolificidad (n)	-	1.5 \pm 0.2 ^a	1.5 \pm 0.5 ^a	1 ^b
Diámetro folicular	-	7.7 \pm 0.3 ^a	9.5 \pm 0.5 ^a	6.5 \pm 0.6 ^b

^{a,b} Diferentes literales entre renglones indican diferencia significativa ($P<0.05$)

El diámetro folicular registrado los días 0, 3 y 5 puede observarse en el cuadro 2. Los folículos chicos, en el grupo tratado con hCG más GnRH al momento (Gn) se encontraron menos el d +3 con respecto a los demás grupos. En el grupo tratado solamente con hCG (Gh), se detectaron menos folículos medianos, mientras que los grandes aumentaron el d +3. En el Gn-24 disminuyeron los folículos grandes el d +3, mientras que aumentaron el d +5.

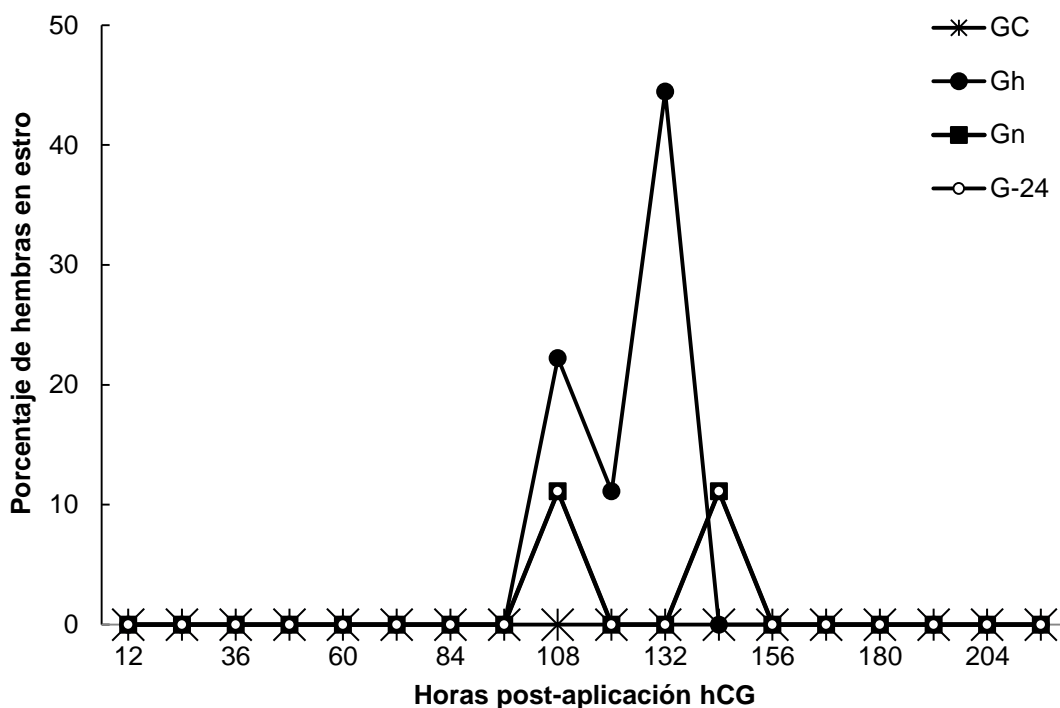
Cuadro 3. Comportamiento de los folículos de las cabras en anestro estacional, grupo control (GC), grupo tratado con 100 UI i.m. de hCG (Gh) y grupos tratados con hCG más 8.4 µg i.m. de GnRH al momento (Gn) y 24 h después (Gn-24).

Folículos	GC			Gh			Gn		Gn-24			
	d 0	d +3	d +5	d 0	d +3	d +5	d 0	+3 d	d +5	d 0	d +3	d +5
Chicos ≤3 mm (n)	2,1±0,7 ^a	3±1,0 ^a	3,1±0,9 ^a	0,7±0,5 ^a	1,2±0,4 ^{a,b}	2,6±0,7 ^b	3,8±0,8 ^a	0,6±0,3 ^b	2,6±0,7 ^a	5,4±0,9 ^a	7,4±1,2 ^a	4,1±1,2 ^a
Medianos 4-5 mm (n)	2±0,4 ^a	2,9±0,5 ^a	2,5±0,4 ^a	3,2±0,4 ^a	1,6±0,3 ^b	1,4±0,4 ^b	2±0,5 ^a	1,9±0,5 ^a	0,5±0,2 ^b	3±0,7 ^a	2,1±0,3 ^a	2,8±0,5 ^a
Grandes ≥6 mm (n)	2±0,4 ^a	1,6±0,4 ^a	1,3±0,3 ^a	1,2±0,4 ^a	2,4±0,4 ^b	0,8±0,3 ^a	1,4±0,4 ^a	2,7±0,6 ^a	0,8±0,3 ^a	0,7±0,3 ^a	0,3±0,2 ^a	0,5±0,1 ^a

Diferentes literales entre columnas tienen diferencia significativa $P < 0.05$.

1 En la figura 9, se expone la conducta estral de los animales empleados en el
 2 estudio, donde se observa que la respuesta estral del GC fue nula (0), los
 3 grupos Gn y Gn-24 tuvieron respuesta similar (25 %, 2/8), a diferencia del Gh
 4 que tuvo la mejor respuesta (100 %, 8/8). Las primeras manifestaciones de
 5 estro se observaron a las 96 h en el Gn y Gn-24, terminando a las a las 144 h
 6 en el Gh y a las 156 h en el Gn y Gn-24.

7



8

9 Figura 9. Porcentajes acumulados de cabras en estro. Grupo control (GC), grupo tratado con
 10 100 UI i.m. de hCG (Gh) y de los grupos tratados con hCG más 8.4 µg i.m. de GnRH al
 11 momento (Gn) y 24 h después (Gn-24), durante el anestro estacional.

12

13

14

15

V. Discusión

Los resultados del presente estudio difieren con la hipótesis de que la inclusión de GnRH al tratamiento con hCG mejora los parámetros reproductivos de las cabras durante el periodo de anestro.

En el Gh se detectaron menos folículos medianos al d +3 que en el d 0, mientras que los grandes aumentaron el d +3. La hCG se utiliza como el más potente estimulador de la maduración final de los ovocitos, debido a sus similitudes biológicas y estructurales con la LH (Humaidan *et al.*, 2012). Es sabido que para los folículos primarios o pequeños la LH no es esencial, sin embargo, los folículos medianos y grandes si son responsivos a la acción de la LH (Scaramuzzi *et al.*, 2011). Tomando en cuenta la similitud de la hCG con la LH, suponemos que los medianos fueron influenciados por la administración de esta hormona y aumentaron su tamaño, lo que pudiera explicar la alta respuesta estral y ovulatoria.

En las hembras tratadas con GnRH al momento de la aplicación de la hCG, el estro y la ovulación fueron afectados de manera negativa, con una baja respuesta estral y ovulatoria (25%) y una gestación del 12%. Esto es contrario a lo reportado por otros autores (Titi *et al.*, 2010, dos Santos-Cavalcanti *et al.*, 2012, Rekik *et al.*, 2014); en efecto, se ha demostrado que cuando se utiliza el GnRH en conjunto con otras hormonas, es efectivo para inducir y sincronizar la oleada de LH y la ovulación (Pierson *et al.*, 2003). Sin embargo, el efecto de la GnRH exógena puede variar dependiendo del estado del ciclo estral en el que se encuentra la hembra al momento de la administración, considerándose que la inyección de GnRH induce un pico preovulatorio de LH, el cual puede inducir ovulación a las 24-30 h post-administración o en su defecto, atresia folicular (Husein *et al.*, 2005).

Es probable que los folículos maduros o mayores pudieron haber sufrido una regresión; en efecto, al momento de la aplicación del GnRH el grupo Gn tenía folículos grandes (>6 mm), lo que sugiere la falta de respuesta de algunos folículos a la secreción de LH; por lo tanto, el fracaso ovulatorio pudo ser debido al crecimiento folicular asincrónico, lo que podría resultar en la falta de receptores de LH en los folículos que están en las primeras etapas de desarrollo en el momento del pico de LH preovulatorio endógeno. Tanto los folículos anovulatorios y los folículos en crecimiento recién pueden llegar a desarrollar receptores de LH, por lo que la administración de GnRH podría inducir la luteinización o la ovulación de los folículos persistentes, eliminándolos como fuente de estradiol (Saharrea *et al.*, 1998). Considerando lo antes mencionado, suponemos que debido a la acción disminuida del estradiol, no se manifestó el estro, ni la ovulación.

En el Gn se observó una mayor duración del estro, latencia del estro a la ovulación y del d 0 a la ovulación, además de menor fertilidad que en los otros grupos. De acuerdo con Saharrea *et al.* (1998), la administración de GnRH alrededor del inicio del estro disminuye la presencia de folículos grandes no ovulados, esto probablemente sea debido a que las células pituitáricas de algunos animales son refractarias a la hormona después de una oleada endógena previa de LH. En ganado mayor se ha demostrado que la respuesta a la GnRH es de menor magnitud y de más corta duración cuando se aplica posteriormente a que haya ocurrido una oleada endógena de LH. Así mismo, Kaya *et al.* (2013) mencionan que durante el anestro estacional en ovejas, el hipotálamo es bastante sensible al efecto de retroalimentación negativa del estradiol. Durante este periodo, la LH es secretada con menor frecuencia, teniendo como resultado la falta de estro y ovulación; por esta razón, las gonadotropinas son necesarias para que los folículos chicos y medianos continúen su desarrollo. Sin embargo, la ocurrencia de estro y los índices de fertilidad pueden variar dependiendo del método de sincronización utilizado.

Nuestros resultados concuerdan con lo observado por Moghaddam *et al.* (2012), quienes reportaron que la administración de GnRH 24 h después del retiro de la fuente progesterona, no afectó el inicio del estro, la ovulación y la fertilidad. Tomando esto en consideración, hipotetizamos que la GnRH alargó la vida de los folículos maduros, ocasionando su inviabilidad.

En los grupos Gh y Gn-24, se observaron las tasas de ovulación más alta, la menor latencia al estro y una duración más corta de éste. Por otra parte, Husein *et al.* (2005) reportan que después de la administración de GnRH puede presentarse una nueva oleada folicular, dando lugar al desarrollo de un folículo grande, capaz de producir suficiente estradiol con los consecuentes signos de estro. En el Gn-24 disminuyeron los folículos grandes el d +3, mientras que aumentaron el d +5; en efecto, Oliveira *et al.* (2009) mencionan que el tratamiento con GnRH induce una descarga hipofisiaria de LH, seguida de ovulación del folículo dominante o regresión de los folículos menores, ocasionando la emergencia de una nueva oleada folicular, lo cual probablemente sucedió en este grupo.

La respuesta estral y la gestación se vieron favorecidas en el grupo tratado con hCG. Se observó respuesta estral en todas las hembras, con ovulación y gestación en la mayoría del grupo. Nuestros resultados superan lo observado en otro estudio, donde un 75% de las hembras mostraron respuesta estral, pero con un menor intervalo al estro (46 h), lo cual puede ser debido a la fuente de progesterona empleada en este estudio; además se observó una menor duración del estro (19 h), pero una mayor latencia al estro (66 h), aunque la gestación fue similar (61%) a lo reportado por Fonseca *et al.* (2005). No obstante, Navanukraw *et al.* (2014) reportan valores superiores a los que registramos en cuanto a respuesta estral y ovulación (100%), pero con menor duración del estro (26.1 h), intervalo al estro (36.5 h) y tiempo a la ovulación (64.5 h); sin embargo, el porcentaje de gestación fue mayor en el presente

estudio (75% vs 29%), sin embargo, difiere con lo observado en ovejas por Kaya *et al.* (2013), quienes reportaron que el estro se presentó a las 50.3 h y que además, el 100% de las hembras tuvo respuesta estral y gestación.

De acuerdo con Holtz (2005), se puede administrar hCG un poco antes de la oleada preovulatoria de LH con la finalidad de aumentar el efecto de la sincronización e inducir la ovulación, la cual se producirá alrededor de 24 h posteriores a la administración de la hCG. La administración de hCG en ovejas durante el periodo de anestro suele hacerse antes del apareamiento o inseminación, lo que ayuda al desarrollo del cuerpo lúteo y a incrementar la secreción de progesterona, este efecto previene las pérdidas embrionarias en etapas tempranas durante el periodo de anestro (Kaya *et al.*, 2013).

La eCG tiene la desventaja de desarrollar una respuesta inmunológica, lo cual, en sucesivas administraciones podría ocasionar que los anticuerpos sintetizados actúen contra la hormona disminuyendo su función como inductora del estro. Al respecto, nuestros resultados fueron superiores a lo observado por Fonseca *et al.* (2005), donde tuvieron menor respuesta estral (96%), intervalo al estro (48 h), y duración del estro (20.7 h), pero con una gestación similar (77%), lo que sugiere que la hCG representa una buena opción para la inducción y sincronización del estro durante el anestro estacional.

En concordancia con Nogueira *et al.* (2015), el GC no tuvo respuesta sexual, grupo en el que el seguimiento de las oleadas foliculares confirmó que las hembras se encontraban en anestro estacional. Además, contrario a lo observado por Sharma y Purohit (2009), la administración de P4 por sí sola no fue suficiente para iniciar el estro fuera de la época reproductiva.

V. Conclusión

Nuestros resultados permiten asumir que un protocolo de sincronización a base de P4+PGF2 α +hCG es una buena opción para la inducción y sincronización del estro y la ovulación durante el anestro estacional, pero que es necesario realizar más investigación sobre las dosis y momentos de aplicación de GnRH para mejorar la respuesta sexual y los parámetros reproductivos fuera de la época de reproducción.

Literatura citada

- Abu, A. H., F. C. Iheukwumere y M. U. Onyekwere (2008). "Effect of exogenous progesterone on oestrus response of West African Dwarf (WAD) goats." *Afr J Biotechnol* **7**(1): 59-62.
- Akar, Y., M. Yüksel y Y. Z. Ograk (2014). "Oestrus synchronization and reproductive performance under different protocols in dairy goats." *Res Opin Anim Vet Sci* **4**(8): 432-436.
- Akison, L. K. y R. L. Robker (2012). "The critical roles of progesterone receptor (PGR) in ovulation, oocyte developmental competence and oviductal transport in mammalian reproduction." *Reprod Domest Anim* **47 Suppl 4**: 288-296.
- Alexander, B., G. Mastromonaco y K. W. A. (2010). "Recent advances in reproductive biotechnologies in sheep and goat." *J Veterinar Sci Technol* **1**(1).
- Amiridis, G. S. y S. Cseh (2012). "Assisted reproductive technologies in the reproductive management of small ruminants." *Anim Reprod Sci* **130**(3-4): 152-161.
- Anaeto, M., J. A. Adeyeye, G. O. Chioma, A. O. Olarinmoye y G. O. Tayo (2010). "Goat products: Meeting the challenges of human health and nutrition." *Agric Biol J N Am* **1**(6): 1231-1236.
- Araujo-Pietroski, A. C. C., F. Zandonadi-Brandão, J. M. Gonçalves-de Souza y J. Ferreira-da Fonseca (2013). "Short, medium or long-term hormonal treatments for induction of synchronized estrus and ovulation in Saanen goats during the nonbreeding season." *R Bras Zootec* **42**(3): 168-173.
- Argüello, A. (2011). "Trends in goat research, a review." *J Appl Anim Res* **39**(4): 429-434.
- Baki-Acar, D., M. K. Bırdane, E. Özenc, D. Yenı y İ. Dogan (2013). "Effectiveness of different progesterone analogues and GnRH on reproductive parameters in nulliparous Saanen goats at the end of the transition period." *Kafkas Univ Vet Fak Derg* **19**: 181-186.
- Barbosa, L. P., C. E. A. Biscarde, P. A. Dutra, B. M. Cardoso-Neto y D. O. Souza (2013). "Sincronização e inseminação artificial em sistemas de produção de caprinos." *Rev Bras Rep Anim* **37**(2): 151-155.
- Bauman, D. E. (1992). "Bovine somatotropin: review of an emerging animal technology." *J Dairy Sci* **75**(12): 3432-3451.
- Bronson, F. H. (1988). "Mammalian reproductive strategies: genes, photoperiod and latitude." *Reprod Nutr Dev* **28**(2B): 335-347.
- Bronson, F. H. (2009). "Climate change and seasonal reproduction in mammals." *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* **364**(1534): 3331-3340.
- Ciechanowska, M., M. Lapot, K. Mateusiak y F. Przekop (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.
- Clarke, I. J. y S. Pompolo (2005). "Synthesis and secretion of GnRH." *Anim Reprod Sci* **88**(1-2): 29-55.

- Cole, L. A. (2011). "hCG, the centerpiece of life and death." *Int J Endocrinol Metab* **9**(2): 335-352.
- Chao, L. M., K. Takayama, Y. Nakanishi, K. Hamana, M. Takagi, C. Kubota y T. Kojima (2008). "Luteal lifespan and fertility after estrus synchronization in goats." *J Vet Sci* **9**(1): 95-101.
- Chemineau, P., G. Baril y J. A. Delgadillo (1993). "Control hormonal de la reproducción en el caprino." *Revista Científica* **3**(3): 197-210.
- Chemineau, P., A. Daveau, Y. Cognie, G. Aumont y D. Chesneau (2004). "Seasonal ovulatory activity exists in tropical Creole female goats and Black Belly ewes subjected to a temperate photoperiod." *BMC Physiol* **4**: 12.
- De Santiago-Miramontes, M. A., J. R. Luna-Orozco, C. A. Meza-Herrera, R. Rivas-Munoz, E. Carrillo, F. G. Veliz-Deras y M. Mellado (2011). "The effect of flushing and stimulus of estrogenized does on reproductive performance of anovulatory-range goats." *Trop Anim Health Prod* **43**(8): 1595-1600.
- DesCôteaux, L., G. Gnemmi y J. Colloton (2010). *Practical atlas of ruminant and camelid reproductive ultrasonography*. USA, Blackwell Publishing.
- Devendra, C. (2001). "Small ruminants: imperatives for productivity enhancement improved livelihoods and rural growth - A review." *Asian-Aust J Anim Sci* **14**(10): 1483-1493.
- Diaz, F. J., L. E. Anderson, Y. L. Wu, A. Rabot, S. J. Tsai y M. C. Wiltbank (2002). "Regulation of progesterone and prostaglandin F₂α production in the CL." *Mol Cell Endocrinol* **191**(1): 65-80.
- dos Santos-Cavalcanti, A., F. Zandonadi-Brandão, L. A. Garcia-Nogueira y J. Ferreira-Fonseca (2012). "Effects of GnRH administration on ovulation and fertility in ewes subjected to estrous synchronization." *Rev Bras Zootec* **41**(6): 1412-1418.
- Dudhatra, G. B., S. K. Mody, H. B. Patel, C. M. Modi, A. B. Chukewar, A. Kumar y M. M. Awale (2012). "Prostaglandins and its analogues : An approach for treatment of anoestrus and to enhance breeding efficiency." *Vet World* **5**(6): 378-384.
- Ehrenkranz, J. R. (2002). "Home and point-of-care pregnancy tests: a review of the technology." *Epidemiology* **13 Suppl 3**: S15-18.
- Elsheikh, A. S., N. N. E. Omer y A. M. Alqurashi (2013). "Management of postpartum interval of Nubian goats with PGF₂α and GnRH." *J Am Sci* **9**(3): 181-184.
- Escareno, L., H. Salinas-Gonzalez, M. Wurzinger, L. Iniguez, J. Solkner y C. Meza-Herrera (2012). "Dairy goat production systems: status quo, perspectives and challenges." *Trop Anim Health Prod* **45**(1): 17-34.
- Esteves, L. V., F. Z. Brandão, R. C. Cruz, J. M. G. Souza, E. Oba, O. Facó y J. F. Fonseca (2013). "Reproductive parameters of dairy goats submitted to estrus synchronization with prostaglandin F₂α associated or not to hCG at estrous onset." *Arq Bras Med Vet Zootec* **65**(6): 1585-1592.
- Fatemi, H. M., C. Blockeel y P. Devroey (2012). "Ovarian stimulation: today and tomorrow." *Curr Pharm Biotechnol* **13**(3): 392-397.
- Fatet, A., M. T. Pellicer-Rubio y B. Leboeuf (2011). "Reproductive cycle of goats." *Anim Reprod Sci* **124**(3-4): 211-219.

- Filicori, M. y G. E. Cognigni (2001). "Clinical review 126: Roles and novel regimens of luteinizing hormone and follicle-stimulating hormone in ovulation induction." *J Clin Endocrinol Metab* **86**(4): 1437-1441.
- Fonseca, J. F., J. H. Bruschi, F. N. F.N. Zambrini, E. Demczuk, J. H. M. Viana y M. P. Palhão (2005). "Induction of synchronized estrus in dairy goats with different gonadotrophins." *Anim Reprod* **2**(1): 50-53.
- Fonseca, J. F. y C. A. Torres (2005). "Administration of hCG 5 days after breeding and reproductive performance in nulliparous dairy goats." *Reprod Domest Anim* **40**(6): 495-499.
- Fonseca, J. F., F. N. Zambrini, G. P. Alvim, M. G. C. D. Peixoto, R. S. Verneque y J. H. M. Viana (2013). "Embryo production and recovery in goats by non-surgical transcervical technique." *Small Ruminant Res* **111**(1-3): 96-99.
- Glimp, H. A. (1995). "Meat goat production and marketing." *J Anim Sci* **73**(1): 291-295.
- Goel, A. K. y K. P. Agrawal (2005). "Ovulatory response and embryo yield in Jakhrana goats following treatments with PMSG and FSH." *Trop Anim Health Prod* **37**(7): 549-558.
- Gómez-Brunet, A., J. Santiago-Moreno, A. Toledano-Díaz y A. López-Sebastián (2011). "Reproductive seasonality and its control in spanish sheep and goats." *Tropical and Subtropical Agroecosystems* **15**(12): 47-70.
- Guimarães, V. P., L. O. Tedeschi y M. T. Rodrigues (2009). "Study of the impact of breeding seasons in the dynamics of dairy goats herds." *Tropical and Subtropical Agroecosystems* **11**(1): 121-125.
- Hernández-Cerón, J. y C. G. Gutiérrez-Aguilar (2013). "La somatotropina bovina recombinante y la reproducción en bovinos, ovinos y caprinos." *Agrociencia* **47**: 35-45.
- Holtz, W. (2005). "Recent developments in assisted reproduction in goats." *Small Ruminant Res* **60**(1-2): 95-110.
- Honhold, N., H. Petit y R. W. Halliwell (1989). "Condition scoring scheme for small east African goats in Zimbabwe." *Trop Anim Health Prod* **21**(2): 121-127.
- Huirne, J. A. y C. B. Lambalk (2001). "Gonadotropin-releasing-hormone-receptor antagonists." *Lancet* **358**(9295): 1793-1803.
- Humaidan, P., D. Bodri, E. G. Papanikolaou y S. Kol (2012). "HCG: Is it the best choice for ovulation triggering?" *TORSJ* **4**: 1-3.
- Husein, M. Q., M. M. Ababneh y S. G. Haddad (2005). "The effects of progesterone priming on reproductive performance of GnRH-PGF2alpha-treated anestrus goats." *Reprod Nutr Dev* **45**(6): 689-698.
- Ihekumere, F. C. (2008). "The effects of different gonadotrophin treatments on the embryo generation and quality of embryos in west african dwarf goats." *JARS* **8**(1): 57-61.
- Ihekumere, F. C., A. H. Abu y F. C. Ndubisi (2008). "Effectiveness of administration of different dose rates of FSH+LH (Pergonal®) on superovulation, hormonal profiles and leucocyte status of nigerian Red Sokoto (Maradi) goats." *Research Journal of Animal Sciences* **2**(4): 103-108.
- Ikegami, K. y T. Yoshimura (2012). "Circadian clocks and the measurement of daylength in seasonal reproduction." *Mol Cell Endocrinol* **349**(1): 76-81.

- Ivanova, R., A. Pampukidou, T. Alifakiotis y M. Avdi (2011). "Superovulation and embryo transfer in goats by using PMSG or FSH." *J Agr Sci Tech* **3**(2): 94 - 97.
- Kaya, S., C. Kaçar, D. Kaya y S. Aslan (2013). "The effectiveness of supplemental administration of progesterone with GnRH, hCG and PGF2 α on the fertility of Tuj sheep during the non-breeding season." *Small Ruminant Res* **113**(2-3): 365-370.
- Kenfack, A., F. Ngoula, J. P. Yombi-Malonga, F. Tendonkeng, H. D. Fualefac, Y. L. Nyuysemo, R. Eba-Yoka, D. Togola y E. Tedonkeng-Pamo (2014). "Efficiency of alfaprostol in heat and pregnancy synchronization in african dwarf goat (*Capra hircus hircus*) under extensive management." *J Vet Adv* **4**(2): 358-353.
- Khan, T. H., N. F. Beck y M. Khalid (2007). "The effects of GnRH analogue (buserelin) or hCG (Chorulon) on day 12 of pregnancy on ovarian function, plasma hormone concentrations, conceptus growth and placentation in ewes and ewe lambs." *Anim Reprod Sci* **102**(3-4): 247-257.
- Knight, C. H., C. J. Wilde, B. J. McLeod y W. Haresign (1988). "Exogenous GnRH induces ovulation in seasonally anoestrous lactating goats (*Capra hircus*)." *J Reprod Fertil* **83**(2): 679-686.
- Krzymowski, T. y S. Stefanczyk-Krzyszowska (2004). "The oestrous cycle and early pregnancy--a new concept of local endocrine regulation." *Vet J* **168**(3): 285-296.
- Lashari, M. H. y Z. Tasawar (2010). "The effect of hCG given on day 12 post-mating on ovarian function and embryo survival in Beetal goats in southern Punjab, Pakistan." *Turk J Vet Anim Sci* **34**(6): 513-517.
- Lehloenya, K. C. y J. P. C. Greyling (2010). "The ovarian response and embryo recovery rate in Boer goat does following different superovulation protocols, during the breeding season." *Small Ruminant Res* **88**(1): 38-43.
- Lehloenya, K. C., J. P. C. Greyling, L. M. J. Schwalbach y S. Grobler (2006). "Superovulatory response in Boer goats pre-treated with a GnRH agonist outside the natural breeding season." *S Afr J Anim Sci* **36**(5).
- Leite, P. A. G., G. R. Carvalho, M.T. Rodrigues, J. R. M. Ruas, E. A. M. Amorim y V. V. Maffili (2006). "Indução da ovulação em cabras, fora da estação reprodutiva, com LH e GnRH e com estro induzido por progestágenos." *Arq Bras Med Vet Zootec* **58**(3): 360-366.
- Lonergan, P., L. O'Hara y N. Forde (2013). "Role of diestrus progesterone on endometrial function and conceptus development in cattle." *Anim Reprod* **10**(3): 223-227.
- Maffili, V. V., C. A. A. Torres, J. H. Bruschi, J. F. Fonseca y J. H. M. Viana (2006). "Indução de estro em cabras da raça Toggenburg com dois diferentes dispositivos intravaginais." *Arq Bras Med Vet Zootec* **58**(3): 367-372.
- Mahmud, M. A., P. Shaba y U. Y. Zubairu (2014). "Live body weight estimation in small ruminants - A Review." *GJASR* **2**(2): 102-108.
- Martemucci, G. y A. G. D'Alessandro (2011). "Induction/synchronization of oestrus and ovulation in dairy goats with different short term treatments and fixed time intrauterine or exocervical insemination system." *Anim Reprod Sci* **126**(3-4): 187-194.

- Martemucci, G. y A. G. D'Alessandro (2013). "Efficiency of FSH/LH treatments for in vivo production of embryos and their cryopreservation by different methods in goats." *Small Ruminant Res* **114**(2-3): 264-271.
- McMillin, K. W. y A. P. Brock (2005). "Production practices and processing for value-added goat meat." *J Anim Sci* **83**: 57-68.
- Medan, M., A. H. Shalaby, S. Sharawy, G. Watanabe y K. Taya (2002). "Induction of estrus during the non-breeding season in Egyptian Baladi goats." *J Vet Med Sci* **64**(1): 83-85.
- Medan, M. S., G. Watanabe, K. Sasaki, N. P. Groome, S. Sharawy y K. Taya (2005). "Follicular and hormonal dynamics during the estrous cycle in goats." *J Reprod Dev* **51**(4): 455-463.
- Medan, M. S., G. Watanabe, K. Sasaki y K. Taya (2004). "Transrectal ultrasonic diagnosis of ovarian follicular cysts in goats and treatment with GnRH." *Domest Anim Endocrinol* **27**(2): 115-124.
- Millar, R. P. (2005). "GnRHs and GnRH receptors." *Anim Reprod Sci* **88**(1-2): 5-28.
- Moghaddam, G. H., A. Olfati, H. Daghigh-Kia y S. A. Rafat (2012). "Study of reproductive performance of crossbred ewes treated with GnRH and PMSG during breeding season." *IJAS* **2**(4): 351-356.
- Motlomelo, K. C., J. P. C. Greyling y L. M. J. Schwalbach (2002). "Synchronisation of oestrus in goats: the use of different progestagen treatments." *Small Ruminant Res* **45**(1): 45-49.
- Murphy, B. D. (2012). "Equine chorionic gonadotropin: an enigmatic but essential tool." *Anim Reprod* **9**(3): 223-230.
- Mustafa, Q. H., M. A. Mohammed y G. H. Serhan (2005). "The effects of progesterone priming on reproductive performance of GnRH-PGF2 α -treated anestrus goats." *Reprod Nutr Dev* **45**(6): 689-698.
- Nahuis, M., F. van der Veen, J. Oosterhuis, B. W. Mol, P. Hompes y M. van Wely (2010). "Review of the safety, efficacy, costs and patient acceptability of recombinant follicle-stimulating hormone for injection in assisting ovulation induction in infertile women." *Int J Womens Health* **1**: 205-211.
- Nakane, Y. y T. Yoshimura (2014). "Universality and diversity in the signal transduction pathway that regulates seasonal reproduction in vertebrates." *Front Neurosci* **8**: 115.
- Navanukraw, C., V. Khanthusaeng, A. Kraisoorn y S. Uriyapongson (2014). "Estrous and ovulatory responses following cervical artificial insemination in Thai-native goats given a new or once-used controlled internal drug release with human chorionic gonadotropin." *Trop Anim Health Prod*.
- Nogueira, D. M., J. Cavalieri, B. Gummow y A. J. Parker (2015). "Comparison of follicular dynamics and hormone profiles in Boer goats examined during the breeding and non-breeding seasons in the tropics of Queensland, Australia." *Small Ruminant Res* **125**(0): 93-100.
- Nur, Z., Y. Nak, D. Nak, B. Üstuner, B. Tuna, G. Şımsek y H. Sagirkaya (2013). "The use of progesterone-supplemented Co-synch and Ovsynch for estrus synchronization and fixed-time insemination in nulliparous Saanen goat." *Turk J Vet Anim Sci* **37**(2): 183-188.

- Nye, L. A., J. C. Fisher y D. A. Mangione (2009). "Building leadership capacity of an emerging goat industry." *Tropical and Subtropical Agroecosystems* **11**: 157-159.
- Olfati, A. y G. Moghaddam (2013). "Effects of GnRH agonist (cinnarelin) on reproductive performance in synchronized Iranian crossbred ewes during the breeding season." *Slovak J Anim Sci* **46**(1): 1-6.
- Oliveira-Franco, M. E., M. Cordeiro-Freitas, R. Ferreira-Machado, S. Souza-Figueirêdo, J. Pieroni-Souza Pinto, L. F. Rodrigues-de Souza, J. Fonseca-Ferreira y W. R. Vicente-Russiano (2012). "Does supplemental LH changes rate and time to ovulation and embryo yield in Santa Ines ewes treated for superovulation with FSH plus eCG?" *Ciência Rural* **42**(6): 1077-1082.
- Oliveira, M. E. F., L. F. S. Rodrigues, O. M. Almeida, M. F. Cordeiro, A. C. B. Moura, H. L. L. Sousa, F. N. Loureiro, P. P. M. Teixeira, M. M. Penha-Filho y W. R. R. Vicente (2009). "Eficiência do protocolo ovsynch em ovelhas da raça Santa Inês." *Arch Zootec* **58**(222): 281-284.
- Olivera-Muzante, J., J. Gil, C. Vinales y S. Fierro (2013). "Reproductive outcome with GnRH inclusion at 24 or 36h following a prostaglandin F2alpha-based protocol for timed AI in ewes." *Anim Reprod Sci* **138**(3-4): 175-179.
- Omontese, B. O., P. I. Rekwot, I. U. Ate, J. S. Rwuaan y H. J. Makun (2013). "Comparative estrus induction in indigenous Sahel goats using two progestagens (CIDR and FGA) and eCG." *Livest Res Rural Dev* **25**(4).
- Omontese, B. O., P. I. Rekwot, H. J. Makun, I. U. Ate, J. S. Rwuaan y M. U. Kawu (2013). "Oestrus induction using fluorogestone acetate sponges and equine chorionic gonadotrophin in Red Sokoto goats." *S Afr J Anim Sci* **43**(1): 68-73.
- Peters, A. R. (2005). "Veterinary clinical application of GnRH--questions of efficacy." *Anim Reprod Sci* **88**(1-2): 155-167.
- Pierson, J. T., H. Baldassarre, C. L. Keefer y B. R. Downey (2003). "Influence of GnRH administration on timing of the LH surge and ovulation in dwarf goats." *Theriogenology* **60**(3): 397-406.
- PMD. (2014). "Plan Municipal de Desarrollo." Retrieved Julio 29 de 2014, from http://www.torreon.gob.mx/pdf/PMD_Torre%C3%B3n.pdf.
- Prendergast, B. J., R. J. Nelson y I. Zucker (2002). *Hormones, Brain and Behavior*. USA, Elsevier Science.
- Rahman, A. N. M. A., R. B. Abdullah y W. E. Wan-Khadijah (2008). "Estrus synchronization and superovulation in goats: A review." *J Biol Sci* **8**(7): 1129-1137.
- Rahman, A. N. M. A., R. B. Abdullah y W. E. Wan-Khadijah (2008). "A review of reproductive biotechnologies and their applications in goat." *Biotechnology* **7**(2): 371-384.
- Rahman, M. M., W. E. Wan-Khadijah, R. B. Abdullah y M. R. Rahman (2014). "Comparison of superovulatory effect of equine chorionic gonadotrophin and follicle stimulating hormone on embryo production in crossbred (Boer x Katjang) Goats." *Pakistan J Zool* **46**(3): 819-826.
- Rahman, M. R., M. M. Rahman, W. E. Wan Khadijah y R. B. Abdullah (2014). "Follicle stimulating hormone (FSH) dosage based on body weight enhances

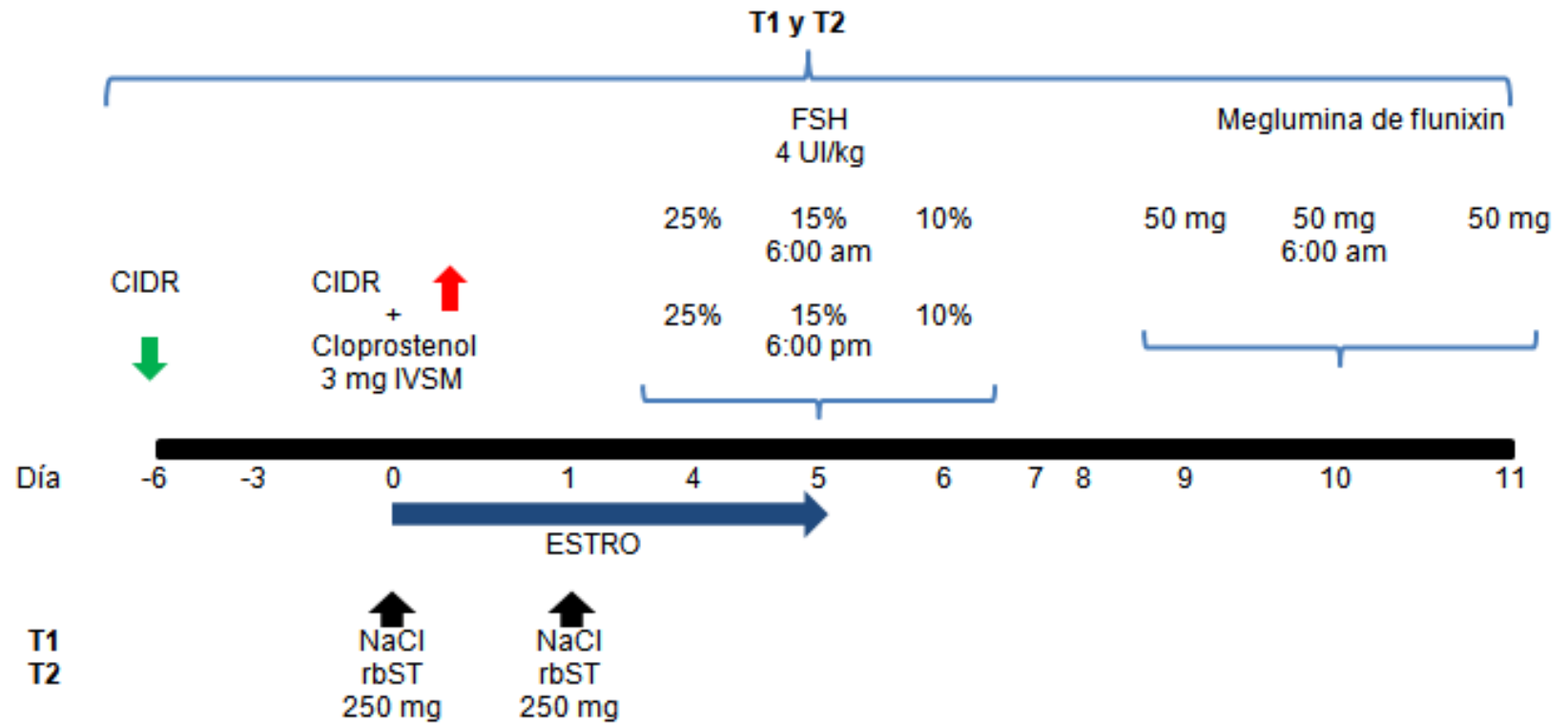
- ovulatory responses and subsequent embryo production in goats." *Asian-Australas J Anim Sci* **27**(9): 1270-1274.
- Raju, G. A., R. Chavan, M. Deenadayal, D. Gunasheela, R. Gutgutia, G. Haripriya, M. Govindarajan, N. H. Patel y A. S. Patki (2013). "Luteinizing hormone and follicle stimulating hormone synergy: A review of role in controlled ovarian hyper-stimulation." *J Hum Reprod Sci* **6**(4): 227-234.
- Rani, S. y V. Kumar (2014). "Photoperiodic regulation of seasonal reproduction in higher vertebrates." *Indian J Exp Biol* **52**(5): 413-419.
- Ratner, L. D., S. B. Rulli y I. T. Huhtaniemi (2014). "Genetically modified mouse models addressing gonadotropin function." *Reprod Biol* **14**(1): 9-15.
- Raynal-Ljutovac, K., G. Lagriffoul, P. Paccard, I. Guillet y Y. Chilliard (2008). "Composition of goat and sheep milk products: An update." *Small Ruminant Res* **79**(1): 57-72.
- Rekik, M., H. Ben-Othmane, N. Lassoued y C. Sakly (2014). "Efficiency of oestrous synchronization by GnRH, prostaglandins and socio-sexual cues in the North African Maure goats." *Reprod Domest Anim* **49**(3): 499-504.
- Robin, N., J. Laforest, J. Lussier y L. Guilbault (1994). "Induction of estrus with intramuscular injections of GnRH or PMSG in lactating goats (*Capra hircus*) primed with a progestagen during seasonal anestrus." *Theriogenology* **42**(1): 107-116.
- Romano, J. E. (1996). "Comparison of fluorgestone and medroxyprogesterone intravaginal pessaries for estrus synchronization in dairy goats." *Small Ruminant Res* **22**(3): 219-223.
- Romano, J. E. (2004). "Synchronization of estrus using CIDR, FGA or MAP intravaginal pessaries during the breeding season in Nubian goats." *Small Ruminant Res* **55**(1-3): 15-19.
- Rose, M. P., R. E. Gaines Das y A. H. Balen (2000). "Definition and measurement of follicle stimulating hormone." *Endocr Rev* **21**(1): 5-22.
- Saharrea, A., J. Valencia, A. Balcazar, O. Mejia, J. L. Cerbon, V. Caballero y L. Zarco (1998). "Premature luteal regression in goats superovulated with PMSG: effect of hCG or GnRH administration during the early luteal phase." *Theriogenology* **50**(7): 1039-1052.
- Saribay, M. K., F. Karaca, G. Goğruer y C. T. Ateş (2012). "Effects of long and short-term progestagen treatments plus GnRH followed by TAI on fertility parameters in lactating hair goats during the transition period." *Kafkas Univ Vet Fak Derg* **18**(3): 507-511.
- Scaramuzzi, R. J., D. T. Baird, B. K. Campbell, M. A. Driancourt, J. Dupont, J. E. Fortune, R. B. Gilchrist, G. B. Martin, K. P. McNatty, A. S. McNeilly, P. Monget, D. Monniaux, C. Violes y R. Webb (2011). "Regulation of folliculogenesis and the determination of ovulation rate in ruminants." *Reprod Fertil Dev* **23**(3): 444-467.
- Schneider, F., W. Tomek y C. Grundker (2006). "Gonadotropin-releasing hormone (GnRH) and its natural analogues: a review." *Theriogenology* **66**(4): 691-709.
- Sharma, A. y G. N. Purohit (2009). "Efficacy of progesterone treatments for oestrus induction and conception in goats during non-breeding season." *Veterinary Practitioner* **10**(2): 132-135.

- Simoës, J., G. Baril, J. C. Almeida, J. Azevedo, P. Fontes y R. Mascarenhas (2008). "Time of ovulation in nulliparous and multiparous goats." *Animal* **2**(5): 761-768.
- Smith, V., T. Osianlis y B. Vollenhoven (2014). "A review of luteinizing hormone and its role in ovarian reserve testing." *Int J Reprod Contracept Obstet Gynecol* **3**(1): 11-18.
- Spallanzani, L. (1784). *Dissertations relative to the natural history of animals and vegetables*. London, J. Murray.
- Stedman, T. L. (2004). *The American Heritage Stedman's medical dictionary*, Houghton Mifflin Co.
- Stormshak, F. y C. V. Bishop (2008). "Board-invited review: Estrogen and progesterone signaling: genomic and nongenomic actions in domestic ruminants." *J Anim Sci* **86**(2): 299-315.
- Teleb, D. F. y T. A. M. Ashmawy (2007). "Using FGA sponge+GnRH improving fertility in goats during the breeding season." *Egyptian Journal of Sheep and Goats Science* **2**(2): 1-14.
- Thackray, V. G., P. L. Mellon y D. Coss (2010). "Hormones in synergy: regulation of the pituitary gonadotropin genes." *Mol Cell Endocrinol* **314**(2): 192-203.
- Thibier, M. (2005). "The zootechnical applications of biotechnology in animal reproduction: current methods and perspectives." *Reprod Nutr Dev* **45**(3): 235-242.
- Thornton, P. K. (2010). "Livestock production: recent trends, future prospects." *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* **365**(1554): 2853-2867.
- Tibary, A., A. Anouassi y H. Khatir (2005). "Update on reproductive biotechnologies in small ruminants and camelids." *Theriogenology* **64**(3): 618-638.
- Titi, H. H., R. T. Kridli y M. A. Alnimer (2010). "Estrus synchronization in sheep and goats using combinations of GnRH, progestagen and prostaglandin F2alpha." *Reprod Domest Anim* **45**(4): 594-599.
- Vadakkadath Meethal, S. y C. S. Atwood (2005). "The role of hypothalamic-pituitary-gonadal hormones in the normal structure and functioning of the brain." *Cell Mol Life Sci* **62**(3): 257-270.
- Verma, O. P., R. Kumar, A. Kumar y S. Chand (2012). "Assisted reproductive techniques in farm animal - From artificial insemination to nanobiotechnology." *Vet World* **5**(5): 301-310.
- Weems, C. W., Y. S. Weems y R. D. Randel (2006). "Prostaglandins and reproduction in female farm animals." *Vet J* **171**(2): 206-228.
- Whitley, N. C. y D. J. Jackson (2004). "An update on estrus synchronization in goats: a minor species." *J Anim Sci* **82 E-Suppl**: E270-276.
- Wildeus, S. (2000). "Current concepts in synchronization of estrus: sheep and goats." *J Anim Sci* **11**: 1-14.
- Wong, P. C., J. Qiao, C. Ho, G. A. Ramaraju, B. Wiweko, Y. Takehara, P. V. Nadkarni, L. C. Cheng, H. F. Chen, S. Suwajanakorn y T. N. Vuong (2011). "Current opinion on use of luteinizing hormone supplementation in assisted reproduction therapy: an Asian perspective." *Reprod Biomed Online* **23**(1): 81-90.

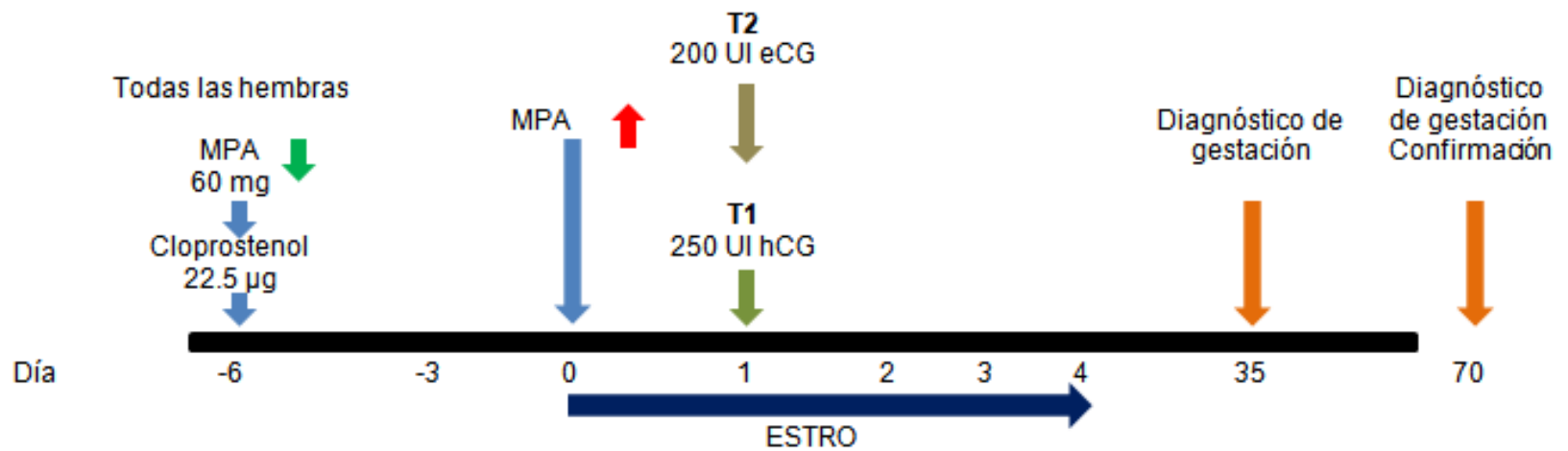
Yangilar, F. (2013). "As a potentially functional food: Goats' milk and products."
J Food Nutr Res 1(4): 68-81.

|

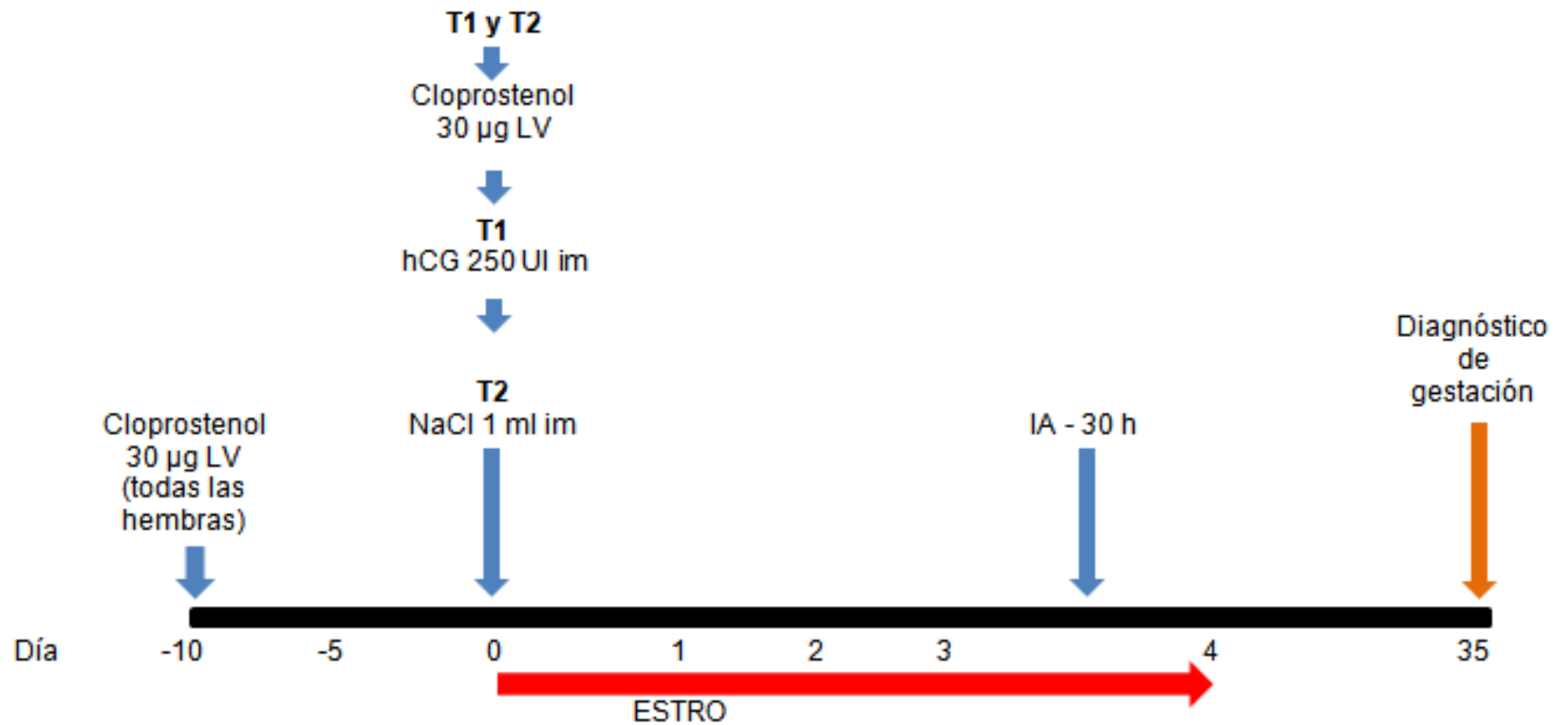
Anexo



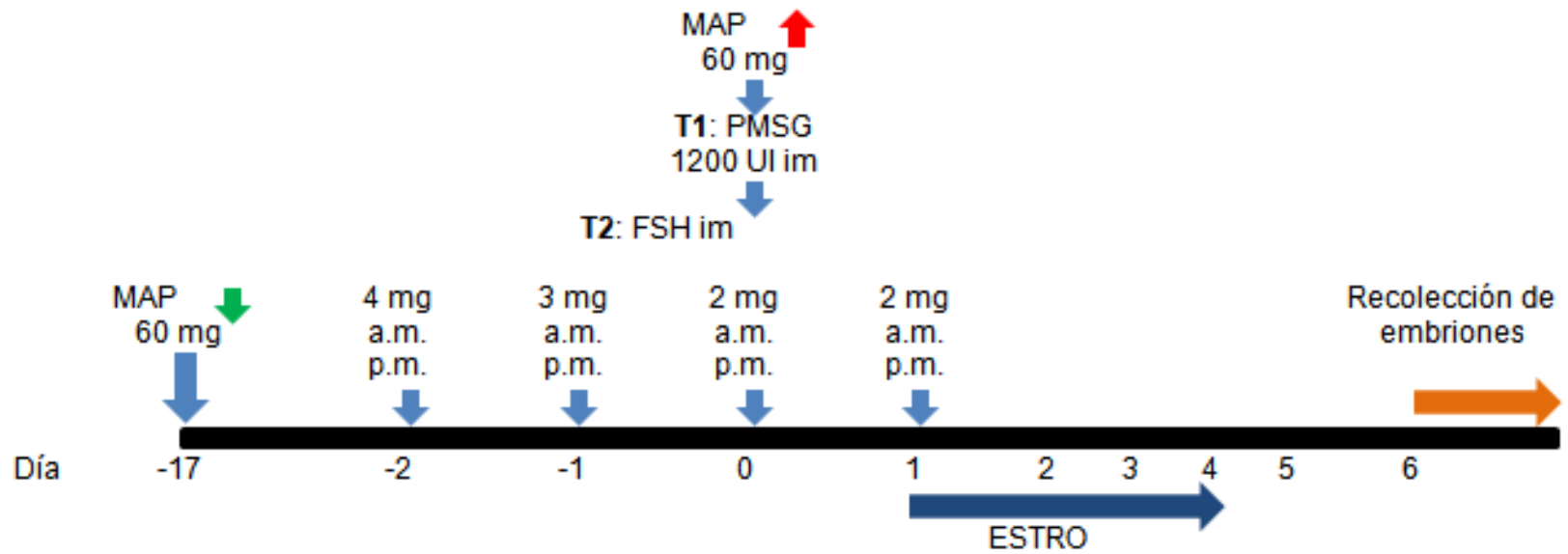
Diseño experimental y tratamiento para la producción y recuperación de embriones, adaptado de Fonseca *et al.* (2013).



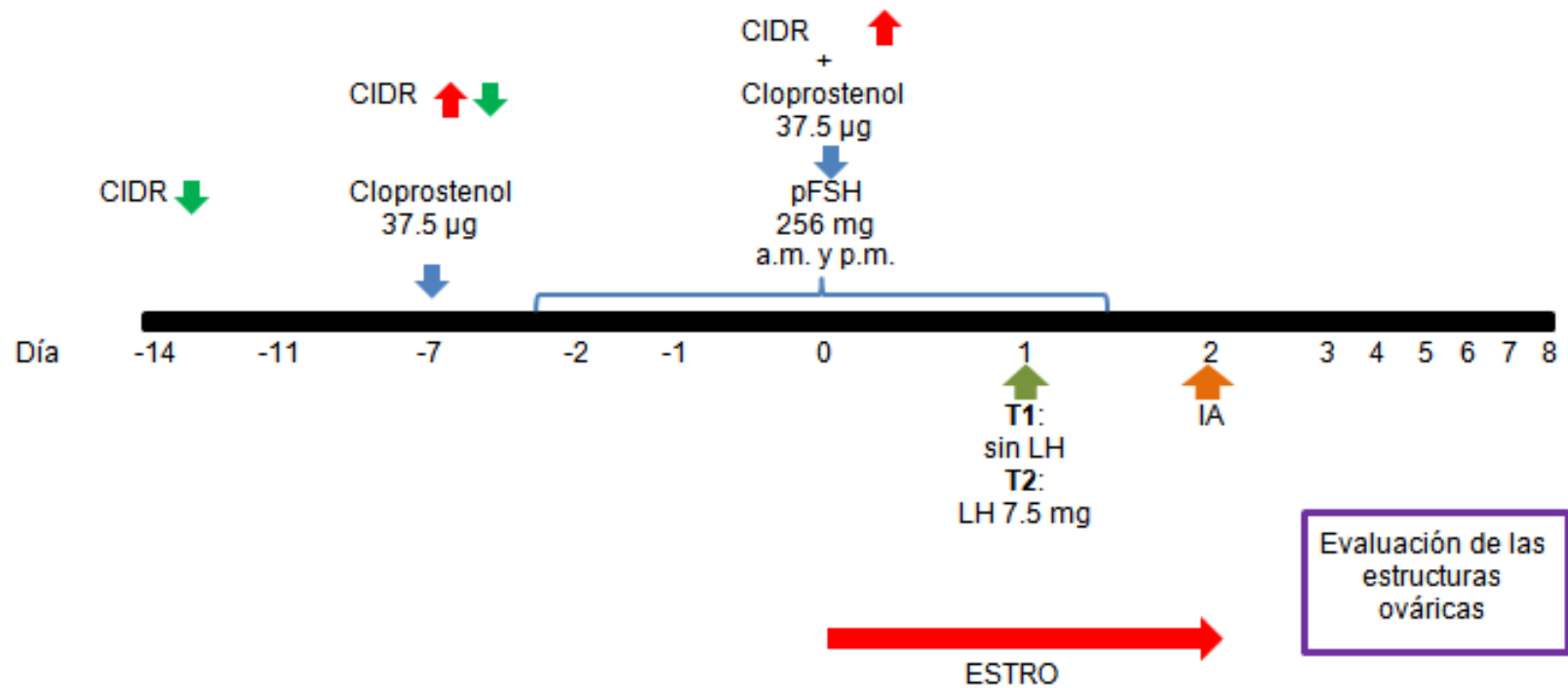
Diseño experimental para la inducción del estro sincronizado en cabras lecheras con diferentes gonadotropinas (Fonseca *et al.*, 2005). T1: tratamiento 1; T2: tratamiento 2.



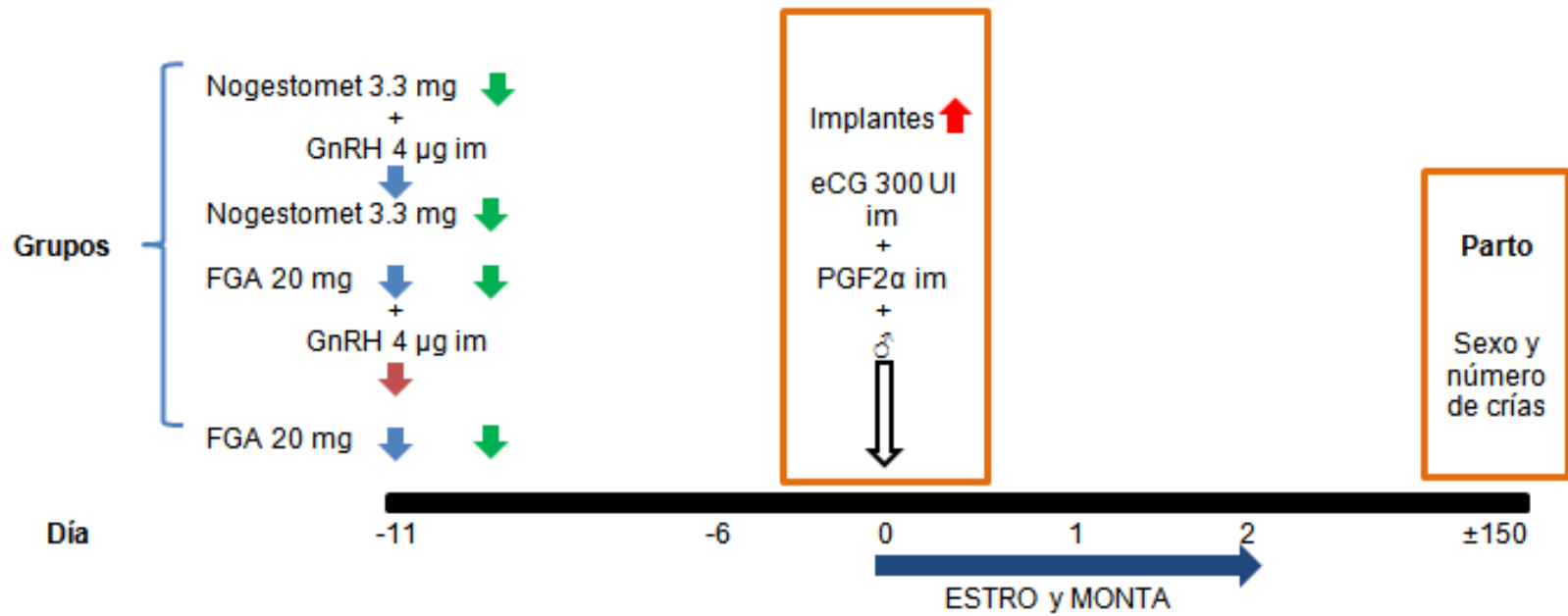
Esquema de tratamiento de cabras lecheras sometidas al estro sincronizado con PGF₂α asociado o no a la aplicación de hCG en el inicio del estro adaptado de Esteves *et al.* (2013). T1: tratamiento 1; T2: tratamiento 2; LV: lateroulvar; IA: inseminación artificial.



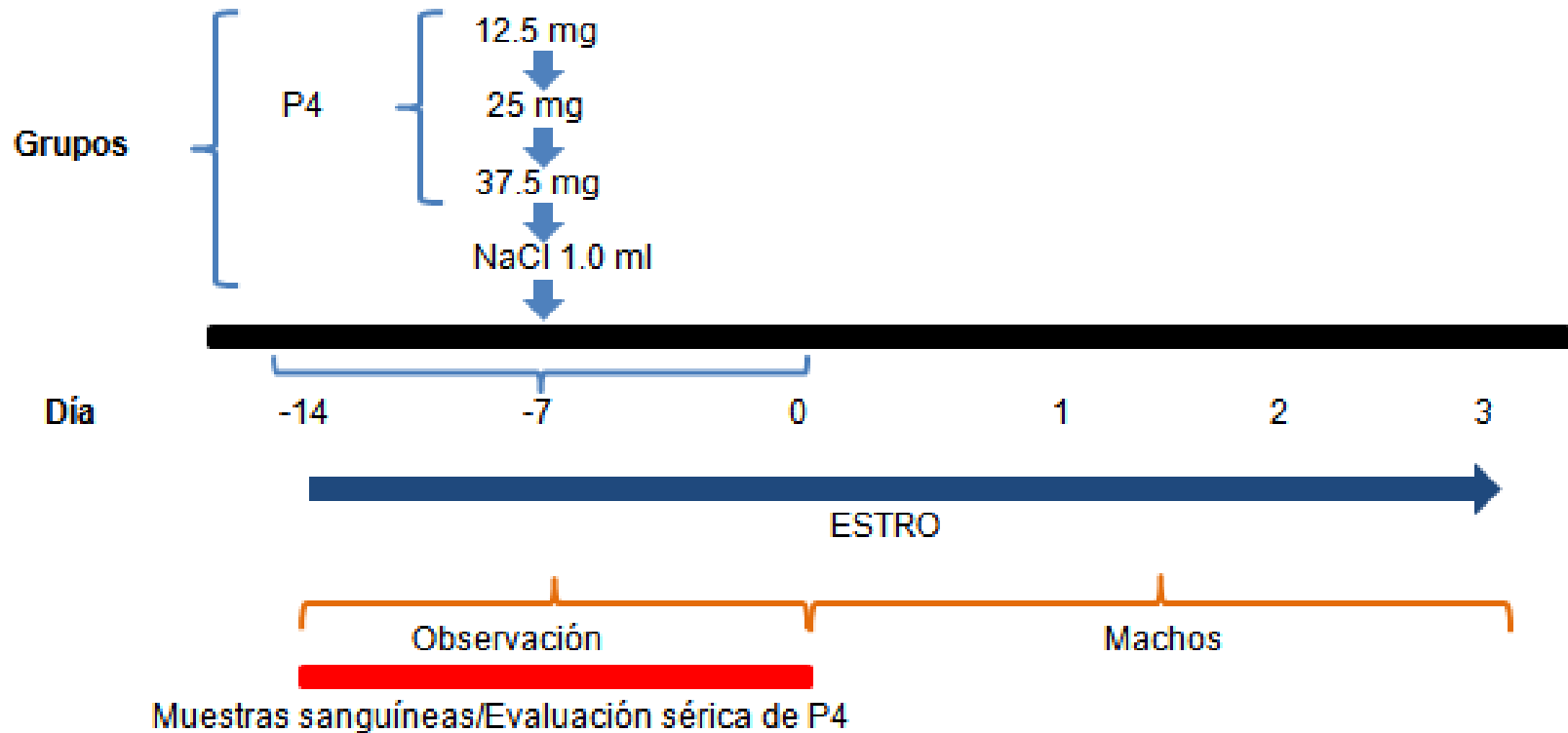
Diseño del tratamiento para superovulación y transferencia de embriones en cabras utilizando PMSG o FSH, adaptado de Ivanova *et al.* (2011).



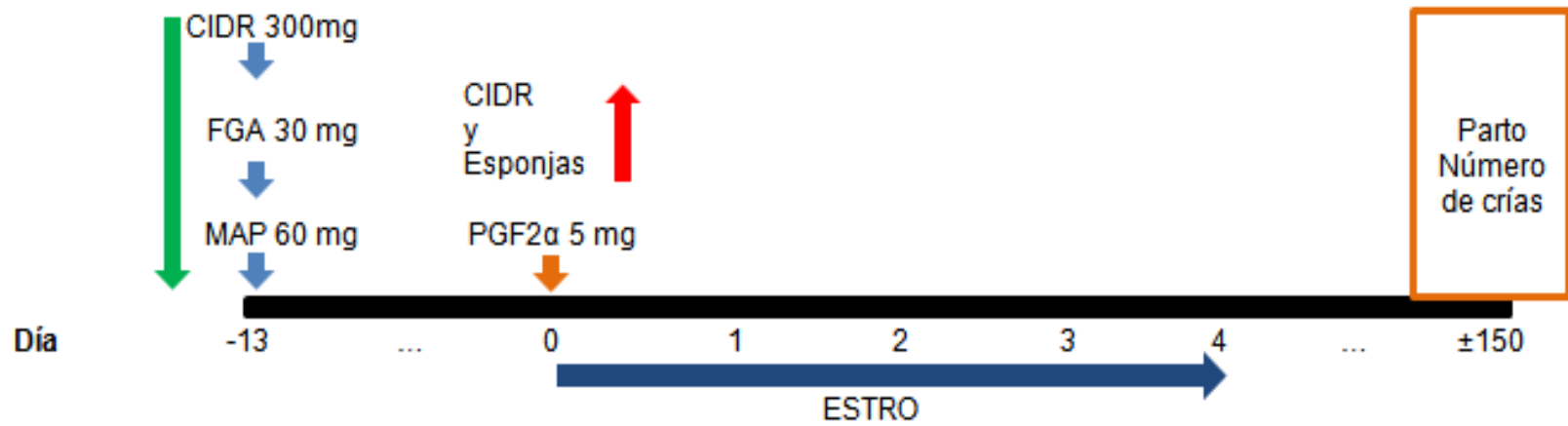
Diseño del experimento para evaluar la suplementación con LH sobre la sincronización y ovulación, adaptado de Oliveira-Franco *et al.* (2012).



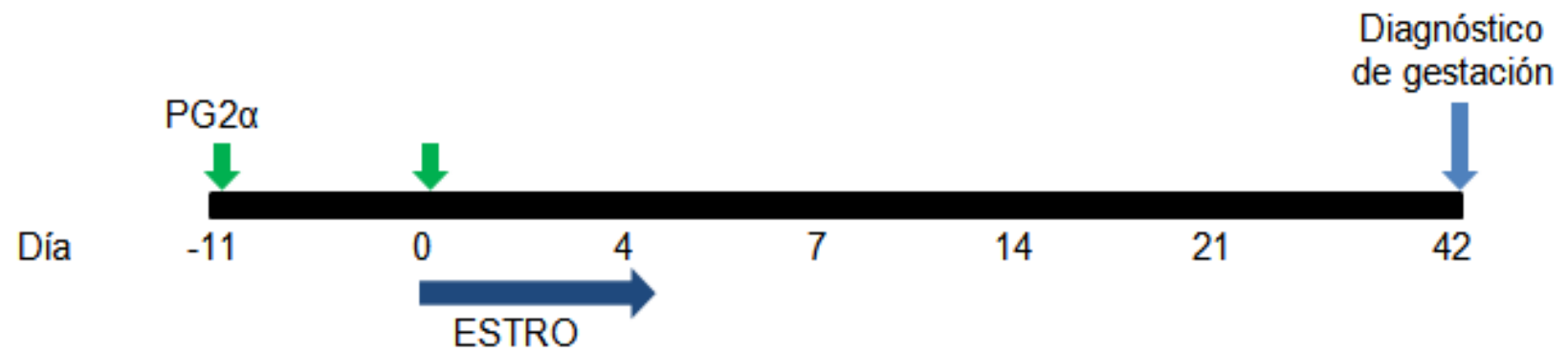
Diseño experimental para evaluar la efectividad de diferentes análogos P4 y GnRH sobre los parámetros reproductivos en cabras, adaptado de Baki-Acar *et al.* (2013).



Diseño experimental para evaluar el efecto de la progesterona exógena sobre la respuesta del estro, adaptado de Abu *et al.* (2008).



Diseño experimental para la sincronización del estro utilizando CIDR, FGA o MAP durante la temporada de cría, adaptado de Romano (2004).



Diseño de aplicación de alfaprostol para la sincronizar el estro y la gestación de la cabra enana africana (*Capra hircus hircus*) bajo manejo extensivo, adaptado de Kenfack *et al.* (2014).