

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



Optimización del intervalo PGF2 α (7 vs 8 días) para mejorar la expresión del estro
en cabras bajo condiciones semiáridas

Por:

María Fernanda Trigo Ocampo

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Torreón, Coahuila, México
Junio 2026

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS MÉDICO VETERINARIAS

Optimización del intervalo PGF2 α (7 vs 8 días) para mejorar la expresión del estro
en cabras bajo condiciones semiáridas

Por:

María Fernanda Trigo Ocampo

TESIS

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

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Aprobada por:



Dr. Juan Manuel Guillén Muñoz
Presidente



Dra. Zurisaday Santos Jiménez
Vocal



Dr. Hugo Zuriel Guerrero Gallego
Vocal



Dr. Ramiro González Avalos
Vocal suplente



M.V.Z. Eric Alejandro Reyes Ramírez
Coordinador de la División Regional de Ciencia Animal
Torreón, Coahuila, México
Junio 2026



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

Optimización del intervalo PGF2 α (7 vs 8 días) para mejorar la expresión del estro
en cabras bajo condiciones semiáridas

Por:

María Fernanda Trigo Ocampo

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Aprobada por el Comité de Asesoría:


Dr. Juan Manuel Guillén Muñoz
Asesor principal


Dra. Zúrisaday Santos Jiménez
Coasesor


Dr. Hugo Zuriel Guerrero Gallego
Coasesor


M.V.Z. Eric Alejandro Reyes Ramírez
Coordinador de la División Regional de Ciencia Animal

Torreón, Coahuila, México
Junio 2026



AGRADECIMIENTOS

A mis padres Dalia Trigo y Fernando Martínez, por guiarme, moldearme y ser el pilar de mi vida. Gracias por los sacrificios que han hecho, por su amor infinito y por darme las alas que necesitaba para volar. Este título de MVZ es un reflejo de su esfuerzo y dedicación.

A mi hermana Andrea Trigo, por ser mi alegría y mi mayor motivación para ser un buen ejemplo.

Gracias por apoyarme y estar ahí en cada paso del camino.

A Javier, gracias por ser mi apoyo. Gracias por tu infinita paciencia, por creer en mí y por estar ahí en cada momento.

A los médicos y mentores, que me guiaron a lo largo de estos años, gracias por abrirme las puertas de sus conocimientos, por su paciencia en la práctica clínica y por inculcarme el amor y el respeto que esta noble profesión merece. Su orientación ha sido fundamentalmente para mi formación profesional.

A todos, mis más sinceros agradecimientos.

DEDICATORIAS

A mi madre, por ofrecer el amor más puro e incondicional de mi vida. Gracias por tus palabras de aliento durante las noches sin dormir, por tu fe ciega en mis habilidades y por demostrarme que con paciencia y amor todo es posible. Este título es un reflejo de tu dedicación y tus oraciones.

A mi padre, por ser mi mayor ejemplo de trabajo, disciplina y perseverancia. Gracias por enseñarme a enfrentar desafíos con la cabeza en alto y por inculcarme el valor de la educación. Lograr este objetivo es mi manera de honrar todo lo que has hecho por mí.

A mi hermana, por ser mi alegría y mi mayor motivación para superarme cada día. Espero este logro te inspire a perseguir tus propios sueños con la misma pasión. Siempre estaré aquí para guiarte.

A mi novio, por convertirse en el mejor equipo durante este proceso, por ser mi mano derecha y mi mayor motivación, gracias por empujarme a ser una mejor profesional, por escucharme y por cuidarme.

INDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS.....	iv
ÍNDICE DE CUADROS	iv
RESUMEN.....	v
ABSTRACT	vi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. HIPÓTESIS	4
III. OBJETIVO GENERAL.....	4
IV. REVISIÓN DE LITERATURA	5
4.1 Situación de la producción caprina a nivel mundial.....	5
4.2 Sistemas de producción caprina.....	5
4.3 Reproducción de caprinos en el norte de México.....	7
4.5 Fisiología y endocrinología de la reproducción en cabras	8
4.5.1Hipotálamo	8
4.6 Ciclo estral de la cabra	9
4.7 Estacionalidad reproductiva en la cabra.....	12
4.8 PGF ₂ α y luteólisis	14
4.9 Uso de PGF ₂ α en programas reproductivos caprinos	15
4.10 Factores que afectan la respuesta a PGF ₂ α	16
4.11 Intervalos entre aplicaciones de PGF ₂ α: fundamentos biológicos.....	16
4.12 Protocolos de 7 versus 8 días: bases fisiológicas y endocrinas	18
4.13 Evidencia científica internacional sobre protocolos de PGF ₂ α.....	19
4.14 Efecto sobre la respuesta ovulatoria	20
4.15 Efecto sobre fertilidad y tasa de gestación	21
V. MATERIALES Y MÉTODOS.....	23
5.1 Ubicación del estudio	23
5.2 Animales experimentales	23
5.3 Diseño experimental y tratamientos	23
5.4 Variables reproductivas evaluadas.....	24
5.5 Análisis estadístico	25
VI. RESULTADOS	26
6.1 Respuesta estral	26
6.2 Respuesta ovulatoria	26

6.3 Gestación y tasa embrionaria.....	26
VII.DISCUSIÓN	29
VIII. CONCLUSIÓN.....	33
IX. LITERATURA CITADA	34

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Representación esquemática de los eventos fisiológicos que ocurren en el ciclo estral de la cabra; parte superior: ciclo ovulatorio y diámetro folicular; parte inferior: cambios hormonales (Tomado de Fatet et al., 2011)	10
Figura 2 Calendario del ciclo reproductivo de la cabra (Tomaso de INDAP, 2022).	13
Figura 3 Porcentaje de ovejas en estro a diferentes tiempos después de la segunda aplicación de $\text{PGF}_{2\alpha}$ en los tratamientos PG7 y PG8. El protocolo PG8 presentó una mayor concentración de hembras en estro a las 48 h postratamiento en comparación con PG7 ($P < 0.05$). ^{a,b} Literales diferentes dentro de la misma fila indican diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0.05$).	28

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1 Comparación de los parámetros reproductivos de cabras sincronizadas con dos aplicaciones de $\text{PGF}_{2\alpha}$ administradas con intervalos de 7 o 8 días.	27
---	----

RESUMEN

El estudio se realizó en un hato comercial localizado en la Comarca Lagunera, Coahuila, México. Se utilizaron 17 cabras adultas mestizas, distribuidas aleatoriamente en dos tratamientos: PGF-7 (n = 8), que recibió dos aplicaciones de 5 mg de dinoprost trometamina con un intervalo de 7 días, y PGF-8 (n = 9), que recibió el mismo tratamiento con un intervalo de 8 días. La detección de estro se realizó cada 12 h durante cinco días utilizando machos con mandil. Las hembras en estro fueron monitoreadas mediante ultrasonografía transrectal para determinar la ocurrencia de la ovulación, el intervalo estro-ovulación y la tasa ovulatoria. Asimismo, se evaluó la gestación a los 35 y 45 días posteriores al servicio natural. La respuesta estral fue similar entre tratamientos (87.5 y 88.9% para PGF-7 y PGF-8, respectivamente; $P > 0.05$). De igual forma, no se observaron diferencias en la duración del estro, porcentaje de ovulación, tasa ovulatoria ni porcentaje de gestación. Sin embargo, las hembras sincronizadas con el protocolo PGF-8 presentaron un menor intervalo estro-ovulación en comparación con aquellas tratadas con PGF-7 (22.66 ± 3.7 vs. 34.28 ± 2.9 h; $P < 0.05$). Además, la ocurrencia de la ovulación tendió a presentarse más tempranamente en las hembras del grupo PGF-8. Se concluye que ambos protocolos basados en $\text{PGF}_2\alpha$ fueron efectivos para inducir la presentación del estro en cabras cíclicas; sin embargo, el intervalo de 8 días permitió una mejor sincronización entre la manifestación del estro y la ovulación, lo que podría representar una alternativa práctica para optimizar programas reproductivos bajo condiciones semiáridas.

Palabras clave: *Cabras, $\text{PGF}_2\alpha$, Sincronización estral, Ovulación, Reproducción, Condiciones semiáridas*

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the effect of two intervals between PGF₂α administrations (7 vs. 8 days) on estrus expression, ovulation synchronization, and reproductive performance in cyclic goats managed under semi-arid conditions. The study was conducted in a commercial goat herd located in the Comarca Lagunera region, Coahuila, Mexico. Seventeen adult crossbred does were randomly assigned to one of two treatments: PGF-7 (n = 8), receiving two intramuscular injections of 5 mg dinoprost tromethamine administered 7 days apart, and PGF-8 (n = 9), receiving the same treatment with an 8-day interval. Estrus detection was performed every 12 hours for five days using males with aprons. Estrous females were monitored by transrectal ultrasonography to determine ovulation occurrence, estrus-to-ovulation interval, and ovulation rate. Pregnancy diagnosis was performed at 35 and 45 days after natural mating. Estrous response was similar between treatments (87.5 and 88.9% for PGF-7 and PGF-8, respectively; $P > 0.05$). Likewise, no differences were observed in estrus duration, ovulation rate, ovulation percentage, or pregnancy rate. However, does synchronized with the PGF-8 protocol exhibited a shorter estrus-to-ovulation interval than those treated with PGF-7 (22.66 ± 3.7 vs. 34.28 ± 2.9 h; $P < 0.05$). In addition, ovulation tended to occur earlier in goats receiving the 8-day protocol. In conclusion, both PGF₂α-based protocols effectively induced estrus in cyclic goats; however, the 8-day interval improved the synchronization between estrus expression and ovulation, suggesting that this protocol may represent a practical alternative for improving reproductive management under semi-arid production systems.

Keywords: *Goats, PGF₂α, Estrus synchronization, Ovulation, Reproduction, Semi-arid conditions*

I. INTRODUCCIÓN

La producción caprina desempeña un papel fundamental en la sostenibilidad de los sistemas pecuarios ubicados en regiones áridas y semiáridas debido a la capacidad de las cabras para adaptarse a condiciones ambientales adversas, aprovechar recursos forrajeros limitados y mantener niveles aceptables de productividad bajo escenarios de estrés climático. En México, la caprinocultura constituye una actividad económica relevante para pequeños y medianos productores, particularmente en zonas semiáridas donde otras especies domésticas presentan mayores limitaciones productivas (Escareño et al., 2013; Silva et al., 2022).

La eficiencia reproductiva representa uno de los principales factores que determinan la rentabilidad de los sistemas de producción caprina. Sin embargo, la expresión del estro y la ocurrencia de la ovulación pueden presentar una considerable variabilidad entre hembras, lo que dificulta la implementación de programas reproductivos orientados al mejoramiento genético y a la concentración de partos dentro de periodos específicos (Yu et al., 2022; Sun et al., 2024). En este contexto, los protocolos hormonales de sincronización constituyen herramientas biotecnológicas ampliamente utilizadas para controlar los eventos reproductivos y optimizar la eficiencia de los sistemas productivos (González-Bulnes et al., 2020).

Entre las alternativas disponibles para la sincronización del estro en pequeños rumiantes, los tratamientos basados en prostaglandina $F_{2\alpha}$ ($PGF_{2\alpha}$) continúan siendo una de las estrategias más utilizadas durante la estación reproductiva debido a su bajo costo, facilidad de aplicación y menor utilización de hormonas exógenas en comparación con los protocolos basados en dispositivos intravaginales de progesterona (Fierro et al., 2016; Olivera-Muzante et al., 2020). El mecanismo de acción de la $PGF_{2\alpha}$ consiste en inducir la regresión funcional del cuerpo lúteo, provocando una disminución rápida de las concentraciones circulantes de progesterona y permitiendo el desarrollo final del folículo dominante, la manifestación del estro y la posterior ovulación (Romano et al., 2017).

Diversos estudios han demostrado que los protocolos basados en una sola aplicación de $\text{PGF}_2\alpha$ presentan limitaciones debido a la variabilidad en la sensibilidad luteal entre hembras. Por esta razón, se han desarrollado tratamientos que incluyen dos aplicaciones de prostaglandina separadas por intervalos específicos, con el propósito de asegurar que la totalidad de las hembras posean un cuerpo lúteo funcional susceptible a la acción luteolítica durante la segunda administración (Olivera-Muzante et al., 2020; Burutaran et al., 2024). Tradicionalmente, los intervalos empleados oscilan entre 9 y 14 días; sin embargo, protocolos de menor duración han comenzado a evaluarse con el objetivo de reducir el tiempo total de manejo y mejorar la eficiencia operativa de los programas reproductivos (Fierro et al., 2016).

La sincronización precisa de la ovulación constituye uno de los principales desafíos de los protocolos basados exclusivamente en $\text{PGF}_2\alpha$. Aunque estos tratamientos suelen generar elevadas respuestas estrales, la dispersión en el momento de la ovulación limita su aplicación en programas de inseminación artificial a tiempo fijo (IATF), donde la precisión temporal resulta determinante para maximizar las tasas de fertilidad (Olivera-Muzante et al., 2020; Burutaran et al., 2024). En consecuencia, la búsqueda de estrategias que permitan mejorar la sincronización de la dinámica folicular y ovulatoria continúa siendo un área de interés dentro de la reproducción de pequeños rumiantes.

Recientemente, Guillen-Muñoz et al. (2025) reportaron que la utilización de dos aplicaciones de $\text{PGF}_2\alpha$ separadas por un intervalo de siete días permitió obtener respuestas estrales superiores al 85% en cabras durante la estación reproductiva. No obstante, la distribución temporal de la ovulación continuó mostrando cierta variabilidad entre hembras. Debido a que la sensibilidad del cuerpo lúteo a la acción de la prostaglandina depende de su grado de madurez funcional y vascularización, pequeñas modificaciones en el intervalo entre aplicaciones podrían influir sobre la sincronización de la luteólisis, el crecimiento folicular y la ocurrencia de la ovulación (Bartlewski, 2019; Romano et al., 2017).

A pesar del uso generalizado de los protocolos basados en prostaglandinas, existe escasa información sobre el efecto que pueden tener intervalos cortos entre aplicaciones de $\text{PGF}_2\alpha$ en cabras mantenidas bajo condiciones semiáridas. La evaluación de un intervalo de ocho días, en comparación con el protocolo convencional de siete días, podría contribuir al desarrollo de estrategias reproductivas más eficientes y económicamente viables para sistemas comerciales de producción caprina.

Por lo anterior, el presente estudio se realizó con el propósito de evaluar el efecto de dos intervalos entre aplicaciones de $\text{PGF}_2\alpha$ (7 y 8 días) sobre la respuesta estral, la sincronización de la ovulación y los parámetros reproductivos de cabras cíclicas mantenidas bajo condiciones semiáridas.

II. HIPÓTESIS

La administración de dos dosis de prostaglandina $F_{2\alpha}$ separadas por un intervalo de 8 días mejora la sincronización del estro y de la ovulación en comparación con un intervalo de 7 días, favoreciendo una menor dispersión temporal de la respuesta reproductiva y una tendencia hacia mejores parámetros reproductivos en cabras mantenidas bajo condiciones semiáridas.

III. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de dos intervalos entre aplicaciones de prostaglandina $F_{2\alpha}$ (7 y 8 días) sobre la expresión del estro, la sincronización de la ovulación y los parámetros reproductivos de cabras cíclicas mantenidas bajo condiciones semiáridas.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Situación de la producción caprina a nivel mundial

El inventario mundial de ganado caprino se estima actualmente en aproximadamente 720 millones de cabezas en todo el mundo. Geográficamente, se encuentran en gran medida en el continente asiático, 55.4 % y África 29.8%, América del sur 7.3%, Europa 4.4%, América del norte y central 3%, las islas del pacífico 0.1%, constituyendo el resto del porcentaje. A nivel nacional, China e India lideran la producción mundial, representando el 20.61% y el 17.08% del censo mundial, respectivamente, pero los principales inventarios nacionales se complementan con Pakistán 6.58%, Sudán 5.25% y México 1.33%. En el sector agrícola, las especies caprinas representan el 6% de la carne, el 4% de las pieles y el 2% de la leche en los mercados globales para la mayoría de los países. Sin embargo, una característica definitoria de este sector es que los productos producidos aquí son en gran medida para el autoconsumo. Como tal, la cría de cabras, a diferencia de los sistemas de producción de ganado y ovejas, es un aspecto importante y prioritario de la economía de subsistencia de las unidades familiares rurales (Autónoma de Yucatán & Arechiga, 2008).

4.2 Sistemas de producción caprina

La producción caprina representa una actividad económica de gran importancia para millones de familias rurales alrededor del mundo, especialmente en ecosistemas áridos y semiáridos donde otras especies pecuarias presentan mayores limitaciones productivas (Devendra, 2013). La capacidad de las cabras para aprovechar recursos vegetales de baja calidad nutricional les permite sobrevivir y producir en ambientes donde los bovinos y otras especies domésticas muestran menor eficiencia biológica (Mellado, 2016). México ocupa un lugar relevante dentro de los países productores de cabras en América Latina, concentrándose una proporción importante del inventario nacional en estados caracterizados por climas secos y semiáridos como Coahuila, Durango, Zacatecas, San Luis Potosí y Nuevo León (SIAP, 2024). Estas regiones presentan precipitaciones limitadas, elevada radiación solar y amplias fluctuaciones térmicas, factores que condicionan la disponibilidad de alimento durante gran parte del año (Escareño et al., 2013).

La Región Lagunera constituye uno de los principales núcleos de producción caprina del país. En esta zona, la actividad caprina se desarrolla principalmente bajo sistemas extensivos y semiintensivos donde los animales aprovechan recursos forrajeros provenientes del matorral xerófilo característico del ecosistema desértico (Mellado et al., 2011). La producción de cabrito y leche caprina representa una importante fuente de ingresos para los productores locales, contribuyendo significativamente al desarrollo económico regional (Mellado, 2016). La eficiencia reproductiva tiene una relación directa con la rentabilidad de las explotaciones caprinas. Una mayor tasa de fertilidad permite incrementar el número de crías nacidas por año, mejorar la disponibilidad de reemplazos y optimizar la producción de leche mediante una adecuada programación de los partos (Fatet et al., 2011). Por el contrario, los problemas reproductivos generan pérdidas económicas derivadas de intervalos entre partos prolongados, disminución de la producción y aumento de los costos de mantenimiento (Abecia et al., 2012).

Las condiciones ambientales propias de las regiones semiáridas ejercen una influencia considerable sobre la reproducción. Las restricciones nutricionales asociadas a las épocas de sequía pueden reducir la actividad ovárica, disminuir la tasa de ovulación y afectar la expresión del comportamiento estral (Scaramuzzi et al., 2011). Asimismo, el estrés térmico puede alterar la secreción hormonal y comprometer la fertilidad de las hembras reproductoras (Mellado et al., 2014). La implementación de programas de sincronización estral ha permitido reducir algunas de estas limitaciones mediante el control hormonal de la actividad reproductiva. Estos programas facilitan la programación de empadres e inseminaciones artificiales, mejoran la detección del estro y contribuyen a incrementar la eficiencia reproductiva en condiciones de campo (Menchaca y Rubianes, 2004). Por ello, la evaluación de protocolos basados en $\text{PGF}_{2\alpha}$ adquiere una importancia estratégica para los sistemas caprinos de regiones semiáridas, donde la optimización de la reproducción puede traducirse directamente en mejoras productivas y económicas para los productores (Mellado et al., 2020).

4.3 Reproducción de caprinos en el norte de México

La reproducción en la cabra es el resultado de una compleja interacción entre mecanismos endocrinos, neurobiológicos y ambientales que regulan el funcionamiento del aparato reproductor femenino (Evans & Maxwell, 2009). El conocimiento de estos procesos resulta esencial para comprender el fundamento biológico de los protocolos hormonales utilizados en la sincronización estral.

Las cabras del norte de México criadas extensivamente en el estado estacionales teniendo un ciclo reproductivo que varía de temporada en temporada. En la comarca lagunera, durante la temporada seca hay un periodo de anestro en las hembras y descanso sexual en los machos. Esto significa que la cantidad y calidad de forraje disponibles para los animales ha disminuido significativamente. Este se debe a la creencia de que muy poca comida no proporciona estimulación sexual a los animales. Sin embargo, esta estacionalidad reproductiva también se ha demostrado en animales bajo circunstancias controladas y recibiendo una ingesta nutricional suficiente basada en la fisiología. En cabras mantenidas en estabulación y un buen estado corporal, la actividad estral y ovárica comienza en septiembre y termina en febrero. Los niveles de LH de hembras ovariectomizadas con implantes subcutáneos que liberan estradiol, ya sea mantenidas en estabulación o bajo condiciones extensivas, muestran variaciones estacionales. Los niveles elevados de LH (>0.8 ng/ml) coinciden con periodos anovulatorios. Los resultados de los análisis demuestran también esta variación estacional y sugieren que factores relacionados con el sexo, como el suministro de alimentos, no parecen tener un efecto dominante en la reproducción de las cabras en el norte de México (Delgadillo et al., 2003).

4.5 Fisiología y endocrinología de la reproducción en cabras

4.5.1 Hipotálamo

El eje hipotálamo-hipófisis-ovario constituye el principal sistema regulador de la actividad reproductiva. Este eje inicia con la secreción pulsátil de hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH) por parte del hipotálamo, la cual estimula la síntesis y liberación de hormona luteinizante (LH) y hormona foliculoestimulante (FSH) desde la adenohipófisis (Scaramuzzi et al., 2011). La FSH participa principalmente en el reclutamiento y crecimiento de los folículos ováricos, mientras que la LH regula la maduración folicular final, la ovulación y el mantenimiento funcional del cuerpo lúteo (Ginther et al., 2007). Estas gonadotropinas actúan de manera coordinada para asegurar el desarrollo adecuado de los eventos reproductivos que ocurren durante el ciclo estral. Los ovarios producen hormonas esteroides que ejercen retroalimentación sobre el eje reproductivo. Los folículos en crecimiento sintetizan estradiol, hormona responsable de la manifestación de los signos conductuales del estro y de la inducción del pico preovulatorio de LH (Chemineau et al., 2010). Posteriormente, tras la ovulación, el cuerpo lúteo produce progesterona, hormona encargada de mantener la fase lútea e inhibir temporalmente nuevos eventos ovulatorios (Fatet et al., 2011). La progesterona desempeña un papel central en la regulación reproductiva debido a que controla la frecuencia de liberación de GnRH y LH, modulando el crecimiento folicular y la preparación del tracto reproductor para una posible gestación (Wiltbank et al., 2012). Esta es la producción de factores liberadores e inhibidores, hormonas que controlan cosas como la lipólisis. Un ejemplo único de estos es la GnRH: un decapeptido de un peso molecular específico (Retrievet, 2026). Cuando no ocurre la gestación, el cuerpo lúteo experimenta regresión mediante un proceso denominado luteólisis, el cual es inducido fisiológicamente por la liberación uterina de $\text{PGF}_{2\alpha}$ (McCracken et al., 1999). La actividad reproductiva de las cabras también está influenciada por señales ambientales, especialmente el fotoperíodo. Las variaciones en la duración del día son detectadas por la glándula pineal mediante cambios en la secreción de melatonina, hormona que modula la actividad reproductiva estacional característica de esta especie (Chemineau et al., 2010). La comprensión detallada de estos mecanismos fisiológicos constituye la base para el desarrollo de protocolos

hormonales capaces de manipular el ciclo estral y optimizar la reproducción bajo condiciones de producción comerciales.

4.6 Ciclo estral de la cabra

El ciclo estral de la cabra comprende una serie de eventos endocrinos y fisiológicos que permiten la preparación del aparato reproductor para la fecundación y el establecimiento de la gestación. En cabras adultas, el ciclo tiene una duración promedio de 21 días, aunque puede oscilar entre 18 y 24 días dependiendo de factores raciales, nutricionales y ambientales (Fatet et al., 2011). Durante este periodo ocurren cambios dinámicos en los ovarios, el útero y el sistema endocrino que regulan la ovulación y la fertilidad. El ciclo estral se refiere a los cambios morfológicos y fisiológicos que ocurren en los ovarios y el tracto reproductivo, resultado en la manifestación del estro (la fase de receptividad hacia los machos) y la ovulación. También implica preparar el tracto genital para la copula y para la fertilización e implementación del embrión. Durante la temporada de reproducción, las hembras pueden tener múltiples ciclos estrales consecutivos. El número de estos ciclos varían según la duración de la temporada de reproducción y la raza de la cabra.

El ciclo estral se divide en dos fases: La fase folicular se caracteriza por el crecimiento de folículos ováricos productores de estrógenos y culmina con la ovulación, mientras que la fase lútea se caracteriza por la presencia de un cuerpo lúteo funcional que secreta progesterona (Ginther et al., 2007). La adecuada sincronización entre ambas fases resulta esencial para lograr elevadas tasas de fertilidad. como se muestra en la Figura 1.

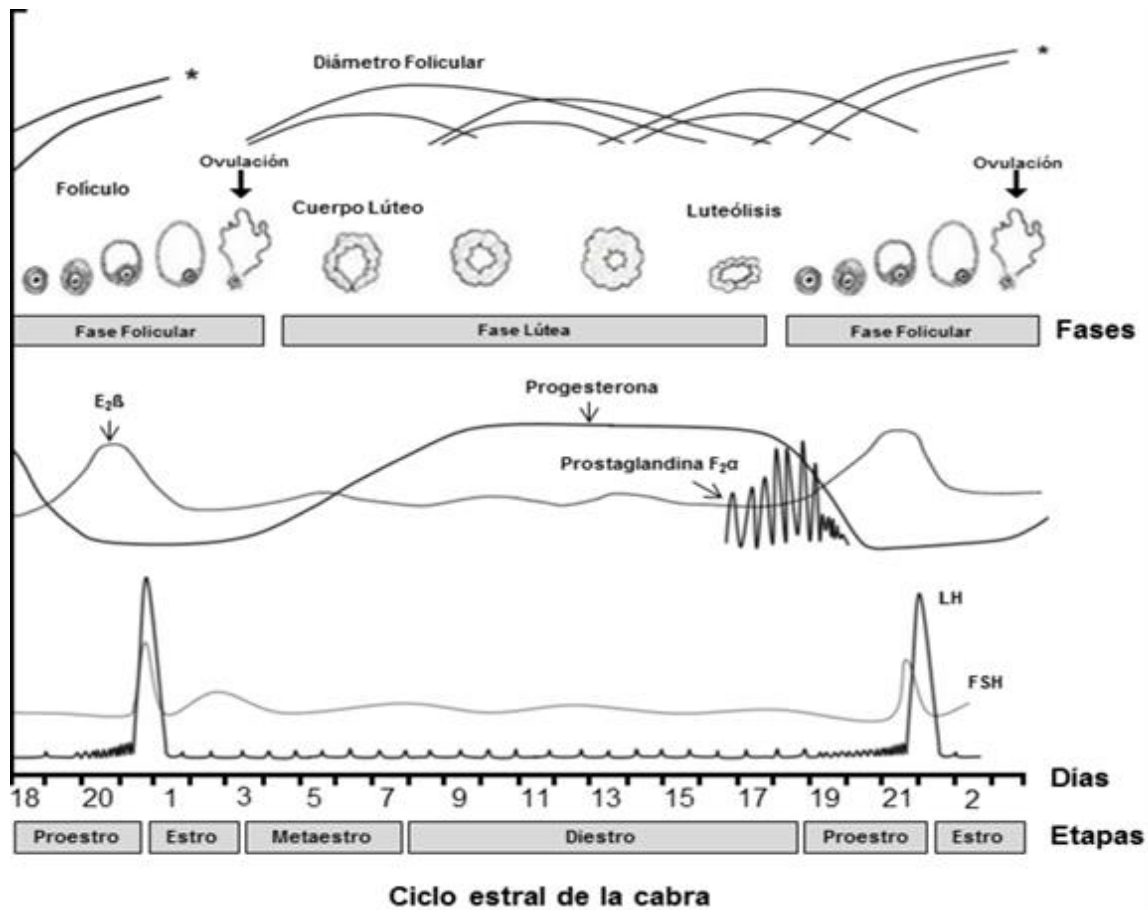


Figura 1 Representación esquemática de los eventos fisiológicos que ocurren en el ciclo estral de la cabra; parte superior: ciclo ovulatorio y diámetro folicular; parte inferior: cambios hormonales (Tomado de Fatet et al., 2011)

El ciclo endocrino persistente en el cual las hormonas esteroideas tienen una influencia directa en la foliculogénesis, que es bastante elaborada y es estimulada por muchos factores de crecimiento y otras hormonas. Numerosos estudios han demostrado la relevancia de los esteroides en el desarrollo del folículo, la maduración del ovocito y la formación del cuerpo lúteo. La fase folicular inicia con la regresión del cuerpo lúteo y la disminución de las concentraciones plasmáticas de progesterona. Este descenso permite un incremento en la frecuencia de pulsos de GnRH y LH, favoreciendo el crecimiento del folículo dominante y el aumento progresivo de las concentraciones de estradiol (Scaramuzzi et al., 2011). El

incremento de estrógenos desencadena la manifestación del comportamiento estral y prepara al tracto reproductor para la cópula o la inseminación artificial. El estro en la cabra suele tener una duración de 24 a 48 horas, aunque puede variar dependiendo de la raza y de la época del año (Menchaca & Rubianes, 2004). Durante este periodo las hembras muestran inquietud, vocalización, movimientos frecuentes de la cola, edema vulvar, descarga mucosa transparente y aceptación de la monta por parte del macho (Evans & Maxwell, 2009).

La ovulación generalmente ocurre entre 24 y 36 horas después del inicio del estro y está precedida por un pico preovulatorio de LH inducido por las elevadas concentraciones de estradiol producidas por el folículo dominante (Ginther et al., 2007). Una vez liberado el ovocito, las células foliculares remanentes experimentan luteinización para formar el cuerpo lúteo. El cuerpo lúteo constituye una estructura endocrina transitoria cuya principal función es producir progesterona. Esta hormona mantiene condiciones uterinas adecuadas para la implantación embrionaria y simultáneamente inhibe nuevos eventos ovulatorios mediante mecanismos de retroalimentación negativa sobre el hipotálamo y la hipófisis (Wiltbank et al., 2012). La progesterona (P4) es una hormona esteroide secretada por el ovario; su secreción depende de la estimulación por gonadotropinas y del estado fisiológico del ovario. La P4, cuando es liberada por el ovario, afecta el eje hipotálamo-hipófisis, permitiendo la secreción de gonadotropinas que regulan el crecimiento folicular, la ovulación en oleadas a lo largo del ciclo estral. La dinámica folicular en cabras ocurre en forma de ondas sucesivas durante el ciclo estral. Diversos estudios han demostrado que normalmente se presentan entre tres y cuatro ondas foliculares por ciclo, siendo la última de ellas la responsable de producir el folículo ovulatorio (Rubianes & Menchaca, 2003). Reclutamiento, selección y dominancia son los tres procesos dependiendo de las gonadotropinas involucradas en cada oleada folicular a medida que experimenta su crecimiento (Uribe-Velásquez et al., 2026). El conocimiento de esta dinámica ha permitido optimizar los protocolos hormonales de sincronización basados en $\text{PGF}_2\alpha$. La sensibilidad del cuerpo lúteo a la acción luteolítica de la $\text{PGF}_2\alpha$ se adquiere aproximadamente entre los días 4 y 5 posteriores a la ovulación, alcanzando su máxima capacidad de respuesta entre los días 7 y 15

del ciclo estral (McCracken et al., 1999). Este aspecto fisiológico constituye el fundamento biológico de los protocolos que utilizan dos aplicaciones de $\text{PGF}_2\alpha$ separadas por intervalos específicos para sincronizar el estro.

4.7 Estacionalidad reproductiva en la cabra

La cabra es considerada una especie poliéstrica estacional de días cortos, lo que significa que su actividad reproductiva se incrementa cuando disminuye la duración del fotoperiodo (Chemineau et al., 2010). Este mecanismo evolutivo permite que los nacimientos ocurran durante épocas favorables para la supervivencia de las crías. El principal regulador de la estacionalidad reproductiva es la melatonina, hormona sintetizada por la glándula pineal durante los periodos de oscuridad. Cuando los días se acortan, aumenta la producción de melatonina, la cual estimula la actividad del eje hipotálamo-hipófisis-ovario favoreciendo la presentación de ciclos estrales fértiles (Abecia et al., 2012). En regiones templadas, las cabras suelen presentar actividad reproductiva durante otoño e invierno y un periodo de anestro durante primavera y verano (Chemineau et al., 2010).

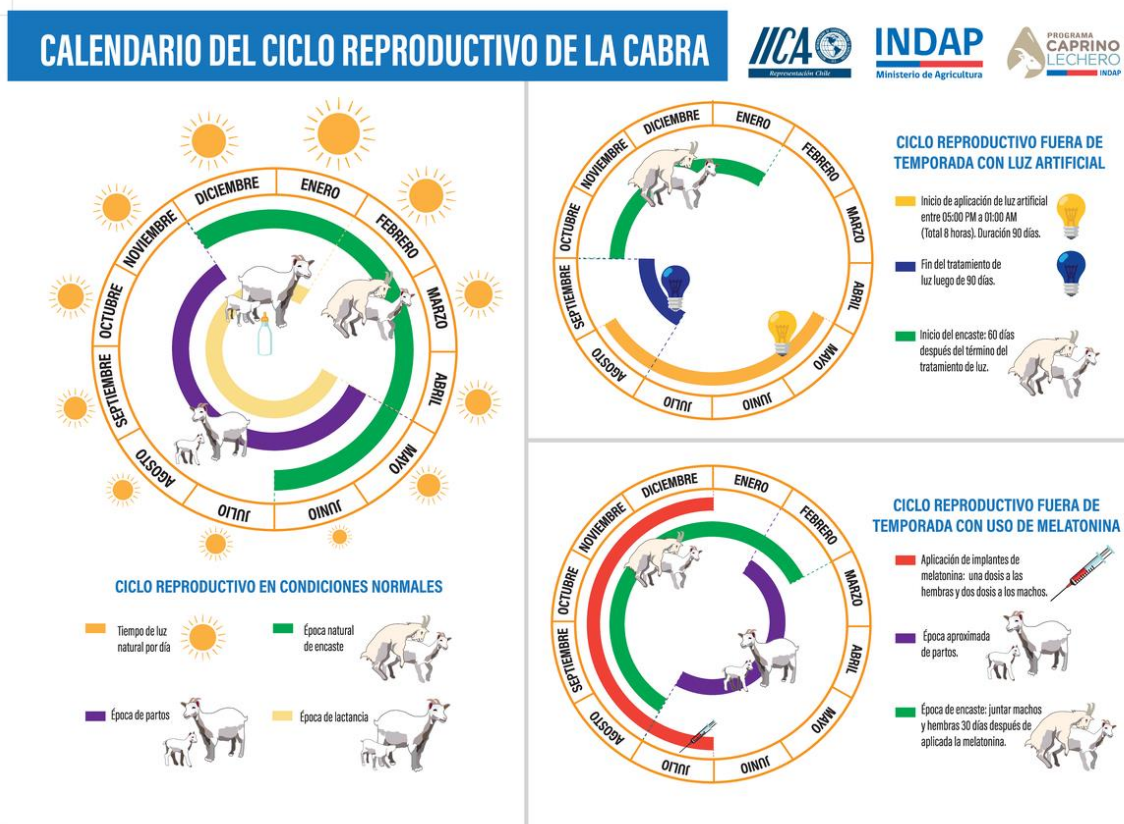


Figura 2 Calendario del ciclo reproductivo de la cabra (Tomaso de INDAP, 2022).

Sin embargo, en regiones semiáridas cercanas a los 26° de latitud norte, como la Región Lagunera, la estacionalidad puede presentar características particulares derivadas de la interacción entre fotoperiodo, temperatura y nutrición (Mellado et al., 2020). La disponibilidad de nutrientes constituye un factor fundamental para la expresión de la actividad reproductiva. Durante periodos de sequía, la reducción en la calidad y cantidad de forraje puede provocar disminución de la condición corporal y alteraciones en la secreción de gonadotropinas, reduciendo la fertilidad del rebaño (Scaramuzzi et al., 2011). Diversos estudios han demostrado que la suplementación nutricional estratégica puede mejorar significativamente la respuesta reproductiva durante el anestro estacional mediante mecanismos relacionados con la producción de insulina, IGF-1 y leptina (Martin et al., 2004). Estas señales metabólicas influyen directamente sobre la actividad ovárica y la competencia folicular. El estrés térmico representa otro factor relevante en zonas semiáridas. Temperaturas elevadas pueden alterar la calidad ovocitaria, disminuir la expresión del estro y afectar la supervivencia embrionaria temprana (Mellado et al., 2014). Estas condiciones

incrementan la importancia de desarrollar protocolos hormonales eficientes capaces de compensar parcialmente las limitaciones ambientales. La sincronización estral mediante $\text{PGF}_2\alpha$ constituye una alternativa particularmente atractiva en sistemas semiáridos debido a su simplicidad de aplicación y bajo costo en comparación con protocolos basados en dispositivos intravaginales de progesterona (Menchaca et al., 2007). Sin embargo, la eficacia de estos tratamientos puede verse afectada por la estacionalidad reproductiva.

4.8 $\text{PGF}_2\alpha$ y luteólisis

La prostaglandina $\text{F}_2\alpha$ es un eicosanoide derivado del ácido araquidónico que desempeña un papel fundamental en la regulación de la función luteal de los mamíferos domésticos (McCracken et al., 1999). Su descubrimiento revolucionó los programas de control reproductivo debido a la posibilidad de inducir luteólisis de manera artificial. Fisiológicamente, la $\text{PGF}_2\alpha$ es sintetizada por el endometrio uterino hacia el final del ciclo estral cuando no existe una señal de reconocimiento materno de la gestación (Wiltbank et al., 2012). Una vez liberada, alcanza el ovario mediante mecanismos locales de transferencia vascular y desencadena la regresión funcional y estructural del cuerpo lúteo. La luteólisis funcional se caracteriza por una rápida disminución en la producción de progesterona, mientras que la luteólisis estructural implica la degeneración progresiva de las células luteales mediante mecanismos apoptóticos (McCracken et al., 1999). Ambos procesos resultan indispensables para permitir el inicio de un nuevo ciclo estral. Los análogos sintéticos de $\text{PGF}_2\alpha$ utilizados en reproducción animal incluyen dinoprost trometamina y cloprostenol sódico, los cuales presentan elevada eficacia para inducir la regresión del cuerpo lúteo cuando este se encuentra en una etapa sensible (Martínez-Alfaro et al., 2014). Su utilización ha permitido desarrollar protocolos simples y económicos para sincronización estral. La respuesta a la $\text{PGF}_2\alpha$ depende principalmente de la edad del cuerpo lúteo. Durante los primeros días posteriores a la ovulación, el cuerpo lúteo es refractario a la acción luteolítica debido a la escasa expresión de receptores específicos (McCracken et al., 1999). Conforme avanza el ciclo, la sensibilidad aumenta progresivamente. Después de la administración de $\text{PGF}_2\alpha$ se observa una disminución significativa de progesterona en las primeras

horas, seguida por un incremento en la frecuencia de pulsos de LH y el crecimiento acelerado del folículo dominante (Ginther et al., 2007). Este proceso culmina con la presentación del estro y la ovulación. Diversos estudios han demostrado que la respuesta reproductiva puede optimizarse mediante la aplicación de dos dosis de $\text{PGF}_2\alpha$ separadas por un intervalo específico, asegurando que la mayoría de las hembras posean un cuerpo lúteo sensible al momento del segundo tratamiento (Fonseca et al., 2005).

4.9 Uso de $\text{PGF}_2\alpha$ en programas reproductivos caprinos

La $\text{PGF}_2\alpha$ se ha convertido en una de las hormonas más utilizadas en reproducción caprina debido a su bajo costo, facilidad de aplicación y resultados satisfactorios bajo condiciones de campo (Fatet et al., 2011). Su empleo permite sincronizar la actividad reproductiva sin necesidad de dispositivos intravaginales o tratamientos prolongados. Los protocolos tradicionales consisten en la aplicación de dos dosis de $\text{PGF}_2\alpha$ con un intervalo de 10 a 14 días, permitiendo que las hembras que no poseían un cuerpo lúteo sensible durante la primera aplicación respondan adecuadamente a la segunda (Martínez-Alfaro et al., 2014). Posteriormente surgieron protocolos de intervalos más cortos orientados a reducir la duración de los programas reproductivos y mejorar la sincronización folicular (Menchaca et al., 2007). Estas modificaciones buscan incrementar la concentración de hembras que presentan estro en un periodo reducido de tiempo. Diversos trabajos han demostrado que los protocolos cortos pueden producir porcentajes de respuesta estral comparables o superiores a los esquemas convencionales, especialmente cuando son aplicados durante la estación reproductiva (Fonseca et al., 2005). La utilización de $\text{PGF}_2\alpha$ resulta particularmente útil en sistemas semiáridos donde la reducción de costos representa una prioridad para los productores. La eliminación de dispositivos intravaginales disminuye significativamente la inversión requerida para implementar programas reproductivos masivos (Mellado et al., 2020). Además, estos protocolos pueden combinarse con inseminación artificial, monta controlada o programas de mejoramiento genético, facilitando la difusión de germoplasma superior en explotaciones comerciales (Menchaca & Rubianes, 2004).

4.10 Factores que afectan la respuesta a $\text{PGF}_{2\alpha}$

La eficacia de los protocolos basados en $\text{PGF}_{2\alpha}$ está influenciada por múltiples factores biológicos y ambientales. Uno de los más importantes es la presencia de un cuerpo lúteo funcional y sensible al momento del tratamiento (McCracken et al., 1999). La raza constituye un factor relevante debido a diferencias genéticas relacionadas con la estacionalidad reproductiva y la sensibilidad hormonal (Chemineau et al., 2010). Algunas razas muestran mayor actividad reproductiva fuera de estación, lo que puede influir sobre la respuesta a la sincronización. La condición corporal tiene una relación directa con la eficiencia reproductiva. Cabras con condición corporal inferior a 2.5 suelen presentar menores porcentajes de respuesta estral y fertilidad debido a alteraciones metabólicas que afectan la función ovárica (Scaramuzzi et al., 2011). La nutrición durante el periodo previo al tratamiento también influye significativamente sobre el crecimiento folicular y la calidad ovocitaria (Martin et al., 2004). Programas de suplementación estratégica pueden incrementar la respuesta reproductiva en sistemas extensivos. La época del año representa otro factor crítico. Durante la estación reproductiva se observan mayores porcentajes de estro y ovulación que durante el anestro estacional (Abecia et al., 2012). Esto explica parte de la variabilidad observada entre estudios. Finalmente, el intervalo entre aplicaciones de $\text{PGF}_{2\alpha}$ constituye una variable de gran interés científico debido a su potencial efecto sobre la sincronización folicular y la expresión del estro (Menchaca et al., 2007).

4.11 Intervalos entre aplicaciones de $\text{PGF}_{2\alpha}$: fundamentos biológicos

La utilización de dos aplicaciones de $\text{PGF}_{2\alpha}$ separadas por un intervalo específico constituye uno de los protocolos más utilizados para sincronizar el estro en pequeños rumiantes. El fundamento fisiológico de esta estrategia radica en la necesidad de asegurar que todas las hembras posean un cuerpo lúteo funcional y sensible a la acción luteolítica de la prostaglandina al momento de recibir la segunda aplicación (McCracken et al., 1999). Debido a que la sensibilidad luteal varía según la etapa del ciclo estral, una única aplicación puede generar respuestas inconsistentes dentro del rebaño. Después de la ovulación, el cuerpo lúteo experimenta una fase inicial de desarrollo durante la cual presenta resistencia

parcial o total a la acción de la $\text{PGF}_2\alpha$. Diversos estudios han demostrado que esta refractariedad ocurre aproximadamente entre los días 1 y 4 posteriores a la ovulación, periodo durante el cual la expresión de receptores específicos para $\text{PGF}_2\alpha$ aún es insuficiente para desencadenar luteólisis completa (Wiltbank et al., 2012). Por esta razón, una proporción de hembras tratadas durante esta fase no responde adecuadamente a una sola aplicación hormonal. La administración de una segunda dosis permite que aquellas hembras que se encontraban en fases tempranas del ciclo durante la primera aplicación desarrollen posteriormente un cuerpo lúteo completamente funcional y sensible. De esta forma, la segunda administración genera una respuesta más uniforme dentro del grupo tratado, aumentando la sincronización del estro y de la ovulación (Menchaca et al., 2007). La duración del intervalo entre aplicaciones puede influir significativamente sobre la dinámica folicular. Los cambios endocrinos inducidos por la luteólisis afectan la emergencia de nuevas ondas foliculares, la selección del folículo dominante y la sincronización de la ovulación (Ginther et al., 2007). Por lo tanto, pequeñas modificaciones en el intervalo podrían tener repercusiones importantes sobre la expresión conductual del estro y la fertilidad subsecuente. En bovinos se ha demostrado que protocolos basados en intervalos más cortos pueden mejorar la sincronización folicular al reducir la variabilidad en la edad de los folículos dominantes presentes al momento de la segunda aplicación hormonal (Pursley et al., 1997). Estos conceptos han sido posteriormente extrapolados a pequeños rumiantes, donde se ha observado una estrecha relación entre la edad folicular y la calidad ovocitaria (Menchaca & Rubianes, 2004). El interés en comparar intervalos de 7 y 8 días surge precisamente de la necesidad de optimizar esta sincronización endocrina. Desde un punto de vista fisiológico, un intervalo excesivamente corto podría no permitir el desarrollo completo del cuerpo lúteo en todas las hembras, mientras que intervalos más prolongados podrían incrementar la variabilidad folicular dentro del lote tratado (Fonseca et al., 2005). Las diferencias de tan solo un día pueden parecer mínimas; sin embargo, considerando que la vida funcional del cuerpo lúteo y la dinámica folicular ocurren en periodos relativamente cortos, cambios de 24 horas pueden modificar significativamente la sincronización de los

eventos reproductivos (Ginther et al., 2007). Este aspecto adquiere especial relevancia en programas de inseminación artificial donde la precisión temporal resulta fundamental para maximizar la fertilidad. Además, en condiciones semiáridas donde existen factores adicionales que afectan la actividad reproductiva, la optimización de los protocolos hormonales podría representar una estrategia de bajo costo para mejorar la eficiencia reproductiva general de los rebaños (Mellado et al., 2020).

4.12 Protocolos de 7 versus 8 días: bases fisiológicas y endocrinas

Los protocolos de 7 y 8 días representan variantes de los esquemas tradicionales de doble aplicación de $\text{PGF}_{2\alpha}$ diseñadas para incrementar la sincronización del estro mediante una mejor coordinación entre la regresión luteal y el desarrollo folicular (Menchaca et al., 2007). Aunque ambos tratamientos comparten el mismo principio fisiológico, existen diferencias potenciales relacionadas con el estado endocrino de las hembras al momento de la segunda aplicación. En los protocolos de 7 días, la segunda administración ocurre cuando la mayoría de las hembras han desarrollado un cuerpo lúteo joven pero funcional derivado de la ovulación inducida tras la primera luteólisis. Este intervalo busca minimizar la dispersión temporal de los eventos ovulatorios dentro del rebaño, favoreciendo una mayor sincronización de la actividad reproductiva (Rubianes & Menchaca, 2003).

Por otra parte, los protocolos de 8 días proporcionan un periodo adicional para la maduración luteal y el desarrollo folicular. Desde una perspectiva endocrina, este día extra podría incrementar la sensibilidad del cuerpo lúteo a la $\text{PGF}_{2\alpha}$ y favorecer la formación de folículos dominantes más avanzados al momento de la luteólisis inducida (Ginther et al., 2007). La edad del folículo dominante constituye uno de los principales factores asociados con la fertilidad posterior. Folículos excesivamente envejecidos pueden producir ovocitos de menor calidad y generar cuerpos lúteos menos funcionales después de la ovulación (Mihm et al., 1999). Por el contrario, folículos demasiado jóvenes podrían no haber completado adecuadamente su maduración final. Desde este punto de vista, el protocolo ideal sería aquel capaz de sincronizar la regresión luteal sin comprometer la calidad del folículo preovulatorio. La comparación entre intervalos de 7 y 8 días pretende precisamente identificar cuál

de estas alternativas produce la mejor combinación entre sincronización y competencia ovocitaria (Menchaca et al., 2007). Diversos estudios realizados en ovinos han mostrado que protocolos cortos pueden generar una mayor concentración de hembras en estro dentro de ventanas de tiempo reducidas, facilitando la implementación de inseminación artificial a tiempo fijo (Menchaca et al., 2004). Sin embargo, la extrapolación directa de estos resultados a cabras debe realizarse con cautela debido a diferencias fisiológicas entre especies. La respuesta final depende además de factores ambientales y nutricionales. En sistemas semiáridos donde la actividad reproductiva puede verse comprometida por limitaciones alimenticias, pequeños ajustes en los protocolos hormonales podrían generar beneficios adicionales sobre la expresión del estro (Scaramuzzi et al., 2011).

4.13 Evidencia científica internacional sobre protocolos de $\text{PGF}_{2\alpha}$

La investigación internacional relacionada con protocolos de $\text{PGF}_{2\alpha}$ en cabras ha demostrado consistentemente que la eficiencia de la sincronización depende tanto de la estación reproductiva como de la estructura folicular presente al momento del tratamiento (Fonseca et al., 2005). Los estudios iniciales se enfocaron principalmente en protocolos convencionales con intervalos de 10 a 14 días, obteniendo tasas de respuesta estral superiores al 80 % durante la estación reproductiva. Rubianes y Menchaca (2003) reportaron que la sincronización basada en $\text{PGF}_{2\alpha}$ permite obtener elevados niveles de sincronía ovulatoria cuando se combina con una adecuada comprensión de la dinámica folicular. Sus observaciones indicaron que la respuesta endocrina posterior a la luteólisis es altamente dependiente del estado del folículo dominante. Menchaca et al. (2007) evaluaron diferentes esquemas de sincronización en pequeños rumiantes y observaron que los protocolos cortos presentan ventajas operativas importantes debido a la reducción del tiempo requerido para completar el tratamiento. Además, reportaron una concentración más estrecha de los eventos ovulatorios en comparación con protocolos tradicionales. En estudios realizados en Europa, Chemineau et al. (2010) documentaron que la respuesta a la $\text{PGF}_{2\alpha}$ puede variar considerablemente dependiendo del fotoperiodo y de la raza utilizada. Las razas

lecheras especializadas mostraron una respuesta más consistente durante la estación reproductiva en comparación con razas adaptadas a sistemas extensivos. Investigaciones desarrolladas en Brasil han demostrado que la utilización de $\text{PGF}_2\alpha$ puede generar porcentajes de estro superiores al 85 % cuando las hembras presentan condición corporal adecuada y actividad cíclica normal (Fonseca et al., 2005). Estos resultados sugieren que las diferencias observadas entre protocolos podrían depender más de factores fisiológicos que de la eficacia intrínseca de la hormona. Estudios recientes han comenzado a explorar intervalos alternativos entre aplicaciones hormonales con el propósito de mejorar la sincronización folicular. Aunque la información específica sobre comparaciones directas entre 7 y 8 días sigue siendo limitada, existe evidencia creciente de que pequeñas modificaciones temporales pueden afectar significativamente la calidad folicular y la fertilidad posterior (Martínez-Alfaro et al., 2014).

4.14 Efecto sobre la respuesta ovulatoria

La respuesta ovulatoria constituye uno de los parámetros reproductivos más importantes para evaluar la eficacia de cualquier protocolo hormonal, ya que la fertilidad depende directamente de la liberación oportuna de ovocitos viables capaces de ser fecundados (Ginther et al., 2007). La sincronización exitosa del estro debe ir acompañada de una adecuada sincronización de la ovulación para maximizar los resultados reproductivos. Después de la administración de $\text{PGF}_2\alpha$, la disminución de progesterona favorece un incremento en la frecuencia de pulsos de LH que estimula el crecimiento acelerado del folículo dominante. Cuando las concentraciones de estradiol alcanzan niveles suficientes, se desencadena el pico preovulatorio de LH responsable de inducir la ovulación (Wiltbank et al., 2012). La edad fisiológica del folículo dominante al momento de la luteólisis representa un factor determinante para la calidad de la respuesta ovulatoria. Folículos envejecidos pueden producir ovocitos con menor capacidad de desarrollo embrionario, mientras que folículos demasiado jóvenes podrían no completar adecuadamente su maduración final (Mihm et al., 1999). En este contexto, los protocolos de 7 y 8 días podrían influir diferencialmente sobre la calidad del folículo ovulatorio. Un intervalo de 7 días podría favorecer la ovulación de folículos relativamente jóvenes y

fisiológicamente activos, mientras que un intervalo de 8 días podría permitir una maduración folicular más avanzada antes de la segunda luteólisis (Menchaca et al., 2007). Diversos estudios realizados en pequeños rumiantes han demostrado que la sincronización eficiente de la dinámica folicular incrementa la tasa de ovulación y reduce la variabilidad en el momento de ocurrencia del evento ovulatorio (Rubianes y Menchaca, 2003). Esta característica resulta especialmente importante cuando se utilizan programas de inseminación artificial a tiempo fijo. La respuesta ovulatoria también está estrechamente relacionada con el estado metabólico de la hembra. Cabras con adecuada condición corporal suelen presentar mayores concentraciones de insulina e IGF-1, factores que favorecen el crecimiento folicular y la competencia ovocitaria (Scaramuzzi et al., 2011).

4.15 Efecto sobre fertilidad y tasa de gestación

El objetivo final de cualquier programa reproductivo es incrementar la fertilidad y maximizar la tasa de gestación del rebaño. Por esta razón, la evaluación de protocolos hormonales no debe limitarse únicamente a la presentación del estro o a la ovulación, sino que debe considerar también los resultados reproductivos posteriores (Abecia et al., 2012). La fertilidad depende de múltiples factores que incluyen la calidad del ovocito, la sincronización entre ovulación e inseminación, la calidad seminal, la función luteal posterior a la ovulación y la supervivencia embrionaria temprana (Evans & Maxwell, 2009). Todos estos procesos pueden verse influenciados indirectamente por el protocolo hormonal utilizado.

Diversas investigaciones han demostrado que la sincronización eficiente de la actividad ovárica puede mejorar significativamente las tasas de fertilidad debido a una mayor precisión en el momento de la inseminación o del empadre controlado (Menchaca y Rubianes, 2004). La reducción de la variabilidad ovulatoria constituye uno de los principales mecanismos responsables de este efecto. En sistemas donde se utiliza inseminación artificial, una sincronización más precisa permite programar el servicio dentro de ventanas temporales óptimas para la fecundación (Fonseca et al., 2005). En consecuencia, incluso pequeñas diferencias en la sincronización ovulatoria pueden reflejarse en cambios importantes en la tasa de gestación. La edad del folículo ovulatorio también puede afectar la calidad del cuerpo lúteo

subsecuente. Folículos fisiológicamente competentes suelen originar cuerpos lúteos con mayor capacidad para producir progesterona durante las primeras semanas de gestación, favoreciendo el establecimiento y mantenimiento de la preñez (Wiltbank et al., 2012).

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Ubicación del estudio

El estudio se realizó durante la estación reproductiva en un hato caprino comercial ubicado en el Ejido La Partida, municipio de Torreón, Coahuila, México (25°37' N; 103°23' O), bajo condiciones climáticas semiáridas características de la Comarca Lagunera. La precipitación anual promedio de la región es inferior a 250 mm, con temperaturas que oscilan entre 5 °C durante el invierno y más de 40 °C durante el verano.

5.2 Animales experimentales

Se utilizaron 17 cabras adultas mestizas de aptitud lechera (Alpina × Saanen × Criolla), con edades entre 18 y 48 meses, peso corporal promedio de 42.8 ± 3.6 kg y condición corporal de 2.5 ± 0.3 unidades (escala de 1 a 5).

Previo al inicio del experimento, todas las hembras fueron sometidas a evaluación clínica general y examen reproductivo mediante ultrasonografía transrectal para descartar patologías reproductivas. Asimismo, se confirmó la presencia de actividad ovárica cíclica mediante la identificación ultrasonográfica de cuerpos lúteos funcionales.

Los animales permanecieron bajo un sistema semi-extensivo de producción, con pastoreo diario durante aproximadamente siete horas y suplementación alimenticia acorde a los requerimientos nutricionales del hato.

5.3 Diseño experimental y tratamientos

Una vez confirmada la actividad ovárica cíclica y descartadas alteraciones reproductivas mediante evaluación clínica y ultrasonográfica, las hembras fueron asignadas aleatoriamente a uno de dos tratamientos experimentales. El grupo PGF-7 ($n = 8$) recibió dos aplicaciones intramusculares de 5 mg de dinoprost trometamina (Lutalyse®, Zoetis, México) con un intervalo de 7 días entre aplicaciones. Por su parte, las hembras del grupo PGF-8 ($n = 9$) recibieron el mismo tratamiento hormonal, pero con un intervalo de 8 días entre la primera y la segunda administración. La asignación de los animales se realizó bajo un diseño completamente al azar. La segunda aplicación de $\text{PGF}_2\alpha$ se consideró como tiempo cero (0 h) y fue utilizada como referencia para el registro y análisis de todas las

variables reproductivas evaluadas, incluyendo la respuesta estral, el momento de aparición del estro, la duración del estro, la respuesta ovulatoria, la ocurrencia de la ovulación, la tasa de gestación y la tasa embrionaria.

5.4 Variables reproductivas evaluadas

La detección del estro se inició inmediatamente después de la segunda administración de $\text{PGF}_2\alpha$ y se realizó a intervalos de 12 h durante un periodo de cinco días. Para la identificación de hembras en celo se utilizaron machos vasectomizados con experiencia previa en detección de estro. Las hembras que aceptaron la monta y permanecieron inmóviles durante el intento de apareamiento fueron consideradas en estro. Con base en estas observaciones se determinó el porcentaje de respuesta estral, el tiempo transcurrido desde la segunda aplicación de $\text{PGF}_2\alpha$ hasta el inicio del estro y la duración del mismo.

Las hembras que manifestaron comportamiento estral fueron sometidas a un seguimiento ultrasonográfico transrectal cada 12 h utilizando un equipo de ultrasonido (Eco 3[®], Chison Medical Imaging Co., Ltd., Jiangsu, China) equipado con un transductor lineal de 7.5 MHz. El monitoreo ovárico se realizó desde la detección del estro hasta la desaparición del folículo preovulatorio previamente identificado. La ovulación fue confirmada mediante la desaparición del folículo dominante en evaluaciones consecutivas y la posterior formación de un cuerpo lúteo. A partir de estas observaciones se registró el momento de ocurrencia de la ovulación, el intervalo estro-ovulación, el porcentaje de hembras ovuladas y la tasa ovulatoria, definida como el número de cuerpos lúteos presentes por hembra.

El diagnóstico de gestación se efectuó mediante ultrasonografía transrectal a los 35 y 45 días posteriores al servicio natural utilizando el mismo equipo descrito anteriormente. Se consideraron gestantes aquellas hembras en las que se identificaron estructuras embrionarias viables dentro de la cavidad uterina. Adicionalmente, se determinó el porcentaje de gestación y la tasa embrionaria, calculada como el número de embriones observados por hembra gestante.

5.5 Análisis estadístico

Previo al análisis estadístico, los datos fueron sometidos a pruebas de normalidad mediante el procedimiento de Shapiro-Wilk. Las variables continuas fueron analizadas mediante modelos lineales generalizados (GLM), considerando el tratamiento experimental como efecto fijo. Las variables expresadas en proporciones fueron evaluadas mediante modelos lineales generalizados con distribución binomial y función de enlace logit. Los resultados se presentan como media $\pm$ error estándar de la media (EEM), y las diferencias entre tratamientos fueron consideradas significativas cuando $P < 0.05$. Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software RStudio® (R Foundation for Statistical Computing, Viena, Austria).

VI. RESULTADOS

6.1 Respuesta estral

Los parámetros reproductivos obtenidos en ambos tratamientos se presentan en el cuadro 1. La proporción de hembras que manifestaron estro fue similar entre grupos ($P > 0.05$), observándose una respuesta estral de 87.5% (7/8) en el grupo PGF-7 y de 88.9% (8/9) en el grupo PGF-8.

La distribución del estro difirió entre tratamientos (Figura 1). El protocolo PGF-8 concentró un mayor porcentaje de hembras en estro a las 48 h postratamiento (55 %), siendo superior ($P < 0.05$) al grupo PGF-7 (12.5 %). Por el contrario, en PGF-7 la respuesta estral fue más dispersa y se extendió de las 24 a las 72 h. Sin embargo, el tiempo promedio a la presentación del estro no difirió entre grupos ($P > 0.05$).

La duración del estro tampoco fue afectada por el intervalo entre aplicaciones de $\text{PGF}_{2\alpha}$ ($P > 0.05$), aunque las hembras sincronizadas con el protocolo PGF-8 presentaron valores numéricamente superiores respecto al grupo PGF-7 (36.0 ± 1.8 vs. 25.7 ± 2.9 h).

6.2 Respuesta ovulatoria

El porcentaje de hembras que ovularon fue de 75.0% (6/8) en el grupo PGF-7 y de 88.9% (8/9) en el grupo PGF-8, sin detectarse diferencias estadísticas entre tratamientos ($P > 0.05$). De manera similar, la tasa ovulatoria no fue modificada por el protocolo de sincronización ($P > 0.05$), observándose promedios de 1.50 ± 0.19 y 1.75 ± 0.15 cuerpos lúteos por hembra para los grupos PGF-7 y PGF-8, respectivamente.

La ocurrencia de la ovulación tendió a presentarse más tempranamente en las hembras tratadas con el protocolo PGF-8 (69.0 ± 5.1 h) en comparación con las sincronizadas mediante PGF-7 (84.0 ± 6.9 h); sin embargo, estas diferencias no fueron significativas ($P > 0.05$).

Por el contrario, el intervalo entre la manifestación del estro y la ocurrencia de la ovulación fue afectado por el tratamiento ($P < 0.05$). Las hembras del grupo PGF-8 presentaron un intervalo estro-ovulación menor que las hembras del grupo PGF-7 (22.66 ± 3.7 vs. 34.28 ± 2.9 h, respectivamente).

6.3 Gestación y tasa embrionaria

La tasa de gestación evaluada a los 35 días posteriores al servicio fue de 75.0% (6/8) para las hembras sincronizadas con el protocolo PGF-7 y de 88.9% (8/9) para aquellas tratadas con PGF-8, sin observarse diferencias estadísticas entre tratamientos ($P > 0.05$). A los 45 días de gestación, los porcentajes registrados fueron de 50.0% (4/8) y 44.4% (4/9) para los grupos PGF-7 y PGF-8, respectivamente ($P > 0.05$).

La tasa embrionaria tampoco mostró diferencias entre tratamientos ($P > 0.05$), aunque las hembras del grupo PGF-8 presentaron valores numéricamente superiores en comparación con las sincronizadas mediante el protocolo PGF-7 (1.75 ± 0.15 vs. 1.50 ± 0.19 embriones por hembra gestante).

Cuadro 1 Comparación de los parámetros reproductivos de cabras sincronizadas con dos aplicaciones de PGF₂ α administradas con intervalos de 7 o 8 días.

Variable	PGF-7	PGF-8
<i>Ocurrencia del estro (h)</i>	49.7 ± 6.6^a	43.5 ± 3.6^a
<i>Respuesta estral (%)</i>	87.5 (7/8) ^a	88.9 (8/9) ^a
<i>Duración del estro (h)</i>	25.7 ± 2.9^a	36.0 ± 1.8^a
<i>Ovulación (%)</i>	75.0 (6/8) ^a	88.9 (8/9) ^a
<i>Tasa ovulatoria (cuerpos lúteos/hembra)</i>	1.50 ± 0.19^a	1.75 ± 0.15^a
<i>Ocurrencia de la ovulación (h)</i>	84.0 ± 6.9^a	69.0 ± 5.1^a
<i>Intervalo estro–ovulación (h)</i>	34.28 ± 2.9^a	22.66 ± 3.7^b
<i>Gestación a 35 días (%)</i>	75.0 (6/8) ^a	88.9 (8/9) ^a
<i>Tasa embrionaria (embriones/hembra gestante)</i>	1.50 ± 0.19^a	1.75 ± 0.15^a
<i>Gestación a 45 días (%)</i>	50.0 (4/8) ^a	44.4 (4/9) ^a

a,b Literales diferentes dentro de la misma fila indican diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0.05$).

Los valores se expresan como media $\pm$ error estándar de la media (EEM) o porcentaje (número de hembras positivas/número total de hembras evaluadas).

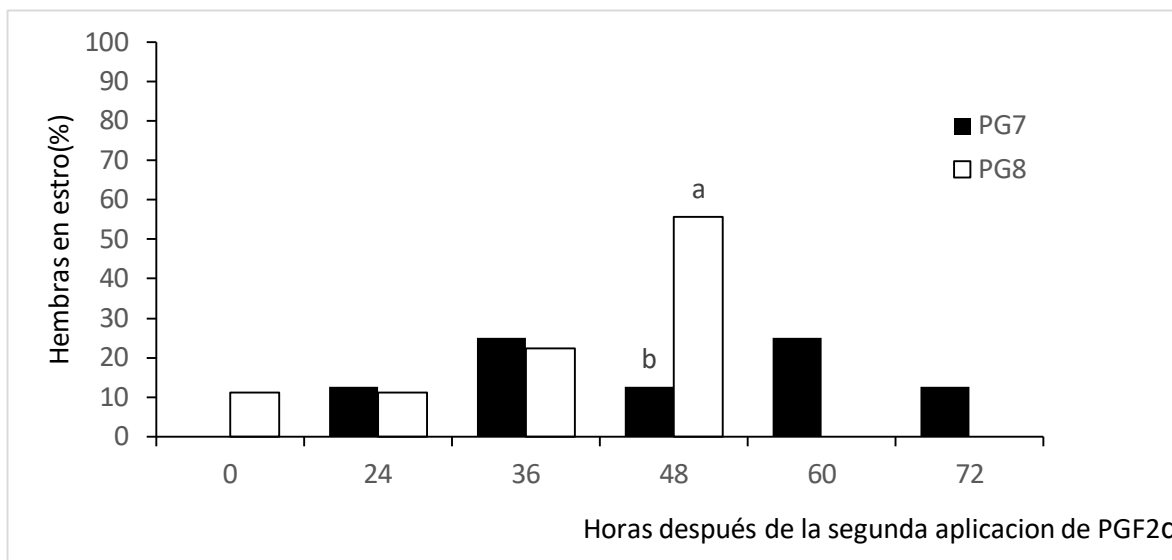


Figura 3 Porcentaje de ovejas en estro a diferentes tiempos después de la segunda aplicación de PGF₂α en los tratamientos PG7 y PG8. El protocolo PG8 presentó una mayor concentración de hembras en estro a las 48 h postratamiento en comparación con PG7 ($P < 0.05$). ^{a,b} Literales diferentes dentro de la misma fila indican diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0.05$).

VII.DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en el presente estudio demuestran que tanto el protocolo basado en dos aplicaciones de $\text{PGF}_2\alpha$ con un intervalo de 7 días como el protocolo con un intervalo de 8 días fueron capaces de inducir elevadas respuestas estrales en cabras cíclicas mantenidas bajo condiciones semiáridas. Sin embargo, el protocolo PGF-8 mostró una mejor sincronización de la presentación del estro y una tendencia favorable en la respuesta ovulatoria y reproductiva, lo que sugiere que pequeñas modificaciones en el intervalo entre aplicaciones pueden influir sobre la eficiencia reproductiva del tratamiento.

La respuesta estral observada en ambos grupos (87.5 y 88.9%) coincide con los porcentajes reportados en protocolos basados exclusivamente en prostaglandinas durante la estación reproductiva. Guillen-Muñoz et al. (2025) reportaron una respuesta estral del 87.5% utilizando dos aplicaciones de dinoprost con un intervalo de 7 días en cabras cíclicas, resultados prácticamente idénticos a los encontrados en el presente estudio. Asimismo, Ahmed et al. (1998) y Fonseca et al. (2005) mencionan que cuando las hembras presentan cuerpos lúteos funcionales al momento de la segunda aplicación de $\text{PGF}_2\alpha$, las respuestas estrales suelen superar el 80%, independientemente del protocolo utilizado.

Aunque el porcentaje total de hembras en estro fue similar entre tratamientos, la distribución temporal del celo mostró diferencias importantes. En el grupo PGF-8, más del 55% de las hembras presentaron estro a las 48 h posteriores a la segunda aplicación, mientras que en PGF-7 la respuesta se distribuyó entre las 36 y 60 h. Este comportamiento sugiere una sincronización más precisa de los eventos reproductivos cuando el intervalo entre aplicaciones se extiende un día adicional. Fierro et al. (2013) señalan que la respuesta al tratamiento con $\text{PGF}_2\alpha$ depende directamente de la edad y funcionalidad del cuerpo lúteo al momento de la administración. En consecuencia, un intervalo de 8 días podría favorecer que una mayor proporción de hembras presente cuerpos lúteos completamente sensibles a la luteólisis inducida por la prostaglandina.

El tiempo de ocurrencia del estro también mostró una tendencia favorable para PGF-8 (43.5 h) respecto a PGF-7 (49.7 h). Este resultado puede explicarse por una regresión luteal más homogénea y una disminución más sincronizada de las concentraciones de progesterona circulante. Romano et al. (2017) demostraron que la regresión funcional del cuerpo lúteo ocurre entre 6 y 24 horas después de la aplicación de $\text{PGF}_2\alpha$, permitiendo el crecimiento final del folículo dominante y la aparición del estro. Cuando la luteólisis ocurre de forma uniforme entre los animales, la presentación del celo tiende a concentrarse dentro de una ventana temporal más estrecha.

Uno de los hallazgos más relevantes del presente estudio fue la reducción significativa del intervalo estro-ovulación en las hembras tratadas con PGF-8. Mientras que las cabras sincronizadas con PGF-7 presentaron un intervalo promedio de 34.28 horas, aquellas tratadas con PGF-8 mostraron un intervalo de solamente 22.66 horas. Desde el punto de vista práctico, esta reducción posee una gran importancia para programas de inseminación artificial a tiempo fijo, ya que disminuye la variabilidad individual y permite establecer con mayor precisión el momento óptimo para realizar la inseminación. Menchaca y Rubianes (2004) mencionan que una de las principales limitantes de los protocolos basados exclusivamente en prostaglandinas es precisamente la amplia dispersión del momento de la ovulación.

La ocurrencia de la ovulación también tendió a presentarse más tempranamente en las hembras del grupo PGF-8 (69 h) respecto al grupo PGF-7 (84 h). Este resultado sugiere una mayor sincronización del desarrollo folicular preovulatorio. De acuerdo con Letelier et al. (2011), los folículos preovulatorios mayores de 5 mm presentan una elevada capacidad esteroidogénica, incrementando la producción de estradiol y favoreciendo la liberación preovulatoria de LH. En consecuencia, una sincronización más uniforme del crecimiento folicular conduce a una ovulación más concentrada y predecible.

Aunque no se observaron diferencias estadísticas en el porcentaje de ovulación entre tratamientos, el grupo PGF-8 presentó una respuesta numéricamente superior

(88.9 vs 75%). Del mismo modo, la tasa ovulatoria fue mayor en las cabras sincronizadas con un intervalo de 8 días (1.75 vs 1.50 cuerpos lúteos por hembra). Estos resultados sugieren que el protocolo PGF-8 podría favorecer un ambiente endocrino más adecuado para el crecimiento y maduración folicular. Resultados similares han sido descritos por Olivera-Muzante et al. (2020) y Burutaran et al. (2024), quienes encontraron que una mejor sincronización ovulatoria se asocia con una mayor eficiencia reproductiva posterior.

La tasa de gestación a los 35 días fue superior en el grupo PGF-8 (88.9%) comparada con PGF-7 (75%). Aunque el tamaño de muestra limita la detección de diferencias estadísticas, biológicamente este resultado resulta relevante. Diversos estudios han demostrado que la sincronización precisa entre el momento de la ovulación y el servicio constituye uno de los factores más importantes que determinan el éxito reproductivo en pequeños rumiantes (Fatet et al., 2011; Yu et al., 2022). Cuando la fertilización ocurre dentro del intervalo óptimo posterior a la ovulación, aumentan las probabilidades de desarrollo embrionario temprano y establecimiento de la gestación.

Las condiciones ambientales semiáridas de la Comarca Lagunera representan un desafío constante para la reproducción caprina debido a las variaciones estacionales en disponibilidad de forraje y estrés térmico. En este contexto, los protocolos basados únicamente en $\text{PGF}_2\alpha$ representan una alternativa económica y fácilmente aplicable para pequeños productores. Los resultados obtenidos indican que extender el intervalo entre aplicaciones de 7 a 8 días puede mejorar la sincronización de los eventos reproductivos sin incrementar los costos asociados al tratamiento hormonal.

En conjunto, los hallazgos del presente estudio sugieren que el protocolo PGF-8 genera una respuesta reproductiva más uniforme, disminuye el intervalo estro-ovulación y presenta una tendencia favorable sobre la fertilidad temprana. Sin embargo, se requieren estudios con un mayor número de animales y diferentes épocas del año para confirmar estos resultados y establecer recomendaciones

definitivas para su implementación en programas de inseminación artificial a tiempo fijo en cabras bajo condiciones semiáridas.

VIII. CONCLUSIÓN

Bajo las condiciones de este estudio, ambos protocolos basados en dos aplicaciones de $\text{PGF}_2\alpha$ produjeron elevadas respuestas estrales. No obstante, el intervalo de 8 días mostró una mejor sincronización del estro y la ovulación, un menor intervalo estro-ovulación, una mayor tasa ovulatoria y una tendencia hacia mejores porcentajes de gestación. Estos resultados sugieren que el protocolo $\text{PGF}_2\alpha$ con intervalo de 8 días podría representar una alternativa más eficiente para programas reproductivos en cabras manejadas bajo condiciones semiáridas.

IX. LITERATURA CITADA

- Ahmed, M. M., Makawi, E., & Jubara, S. (1998). Synchronization of oestrus in Nubian goats. *Small Ruminant Research*, 30(2), 113–120. [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(98\)00091-5](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(98)00091-5)
- Abecia, J. A., Forcada, F., & González-Bulnes, A. (2012). Hormonal control of reproduction in small ruminants. *Animal Reproduction Science*, 130(3–4), 173–179. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2012.01.011>
- Amoah, E. A., Gelaye, S., Guthrie, P., & Rexroad, C. E. (1996). Breeding season and aspects of reproduction in female goats. *Journal of Animal Science*, 74(4), 723–728. <https://doi.org/10.2527/1996.744723x>
- Baril, G., Chemineau, P., Cognié, Y., Guérin, Y., Leboeuf, B., Orgeur, P., & Vallet, J. C. (1993). Manuel de formation pour l'insémination artificielle chez les ovins et les caprins. FAO.
- Bartlewski, P. M. (2019). Applications of Doppler ultrasonography in reproductive health and physiology of small ruminants. *Revista Brasileira de Reprodução Animal*, 43, 122–125.
- Bretzlaff, K. N., Elmore, R. G., Ott, R. S., & Ferguson, J. D. (1983). Synchronization of estrus in dairy goats using prostaglandin F2 α . *Theriogenology*, 19(4), 621–629. [https://doi.org/10.1016/0093-691X\(83\)90046-7](https://doi.org/10.1016/0093-691X(83)90046-7)
- Burutaran, M., Fierro, S., Negrín, F., Minteguiaga, J., Gil, J., & Olivera-Muzante, J. (2024). Estrous, ovulation and reproductive responses of ewes synchronized with a long interval prostaglandin-based protocol for timed AI. *Theriogenology*, 214, 187–191. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2023.10.022>

- Chemineau, P. (1987). Possibilities for using bucks to stimulate ovarian and oestrous cycles in anovulatory goats. *Animal Reproduction Science*, 14(2), 135–147. [https://doi.org/10.1016/0378-4320\(87\)90058-7](https://doi.org/10.1016/0378-4320(87)90058-7)
- Chemineau, P., Bodin, L., Migaud, M., Thiéry, J. C., & Malpaux, B. (2010). Neuroendocrine and genetic control of seasonal reproduction in sheep and goats. *Reproduction in Domestic Animals*, 45(Suppl. 3), 42–49. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2010.01681.x>
- Chemineau, P., Pellicer-Rubio, M. T., Lassoued, N., Khaldi, G., & Monniaux, D. (2006). Male-induced short oestrous and ovarian cycles in sheep and goats: A working hypothesis. *Reproduction Nutrition Development*, 46(4), 417–429. <https://doi.org/10.1051/rnd:2006022>
- De Castro, T., Rubianes, E., Menchaca, A., & Rivero, A. (1999). Ovarian dynamics, serum estradiol and progesterone concentrations during the interovulatory interval in goats. *Theriogenology*, 52(3), 399–411. [https://doi.org/10.1016/S0093-691X\(99\)00146-1](https://doi.org/10.1016/S0093-691X(99)00146-1)
- Delgadillo, J. A., Flores, J. A., Véliz, F. G., Hernández, H., Duarte, G., Vielma, J., Poindron, P., & Chemineau, P. (2006). Importance of the signals provided by the buck for the success of the male effect in goats. *Reproduction Nutrition Development*, 46(4), 391–400. <https://doi.org/10.1051/rnd:2006019>
- Devendra, C. (2013). Investments on pro-poor development projects on goats: Ensuring success for improved livelihoods. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 26(1), 1–18. <https://doi.org/10.5713/ajas.2012.12515>
- Escareño, L., Salinas-González, H., Wurzinger, M., Iñiguez, L., Sölkner, J., & Meza-Herrera, C. (2013). Dairy goat production systems in dry areas: Sustainability and perspectives. *Tropical Animal Health and Production*, 45(1), 17–24. <https://doi.org/10.1007/s11250-012-0181-5>

- Escareño-Sánchez, L. M., Wurzinger, M., Pastor-López, F., Salinas, H., Sölkner, J., & Iñiguez, L. (2011). La cabra y los sistemas de producción caprina de los pequeños productores de la Comarca Lagunera, en el norte de México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 17(Especial), 235–246. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.10.087>
- Evans, G., & Maxwell, W. M. C. (2009). *Salamon's artificial insemination of sheep and goats* (2nd ed.). Butterworth-Heinemann.
- Fatet, A., Pellicer-Rubio, M. T., & Leboeuf, B. (2011). Reproductive cycle of goats. *Animal Reproduction Science*, 124(3–4), 211–219. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2010.08.029>
- Fierro, S., Gil, J., Viñoles, C., & Olivera-Muzante, J. (2013). The use of prostaglandins in controlling estrous cycle of the ewe: A review. *Theriogenology*, 79(3), 399–408. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2012.10.022>
- Fierro, S., Viñoles, C., & Olivera-Muzante, J. (2016). Concentrations of steroid hormones, estrous, ovarian and reproductive responses in sheep synchronized with different prostaglandin-based protocols. *Animal Reproduction Science*, 167, 74–82. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2016.02.008>
- Fonseca, J. F., Bruschi, J. H., Santos, I. C. C., Viana, J. H. M., & Magalhães, A. C. M. (2005). Induction of estrus in non-lactating dairy goats with different estrous synchrony protocols. *Animal Reproduction Science*, 85(1–2), 117–124. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2004.04.013>
- Freitas, V. J. F., Baril, G., & Saumande, J. (1997). Estrus synchronization in dairy goats: Use of PGF₂ α and artificial insemination. *Theriogenology*, 48(5), 721–735. [https://doi.org/10.1016/S0093-691X\(97\)00289-7](https://doi.org/10.1016/S0093-691X(97)00289-7)

- Ginther, O. J., & Kot, K. (1994). Follicular dynamics during the ovulatory season in goats. *Theriogenology*, 42(6), 987–1001. [https://doi.org/10.1016/0093-691X\(94\)90121-X](https://doi.org/10.1016/0093-691X(94)90121-X)
- González-Bulnes, A., Menchaca, A., Martin, G. B., & Martínez-Ros, P. (2020). Seventy years of progestagen treatments for management of the sheep oestrous cycle: Where we are and where we should go. *Reproduction, Fertility and Development*, 32, 441–452. <https://doi.org/10.1071/RD18484>
- Guillen-Muñoz, J. M., Ortiz-Contreras, O., Hashem, N. M., Luna-García, L. A., Morales-Cruz, J. L., Guerrero-Gallego, H. Z., Sánchez-Dávila, F., & Santos-Jiménez, Z. (2025). Ovulation synchronization in eCG-treated goats after a PGF₂α-based short time protocol during the breeding season. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*, 41(3), 557–565. <https://doi.org/10.29393/CHJAAS41-48SYGS80048>
- Greyling, J. P. C., & Van Niekerk, C. H. (1990). Synchronization of oestrus in goats: Dose effect of prostaglandin in the breeding season. *Small Ruminant Research*, 3(5), 457–464. [https://doi.org/10.1016/0921-4488\(90\)90053-Y](https://doi.org/10.1016/0921-4488(90)90053-Y)
- Holtz, W. (2005). Recent developments in assisted reproduction in goats. *Small Ruminant Research*, 60(1–2), 95–110. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2005.06.032>
- Husein, M. Q., Kridli, R. T., Humphrey, W. D., & Alnimer, M. A. (2007). Estrus synchronization and pregnancy rate in goats treated with two injections of prostaglandin F₂α. *Theriogenology*, 67(4), 833–839. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2006.10.012>
- Leboeuf, B., Restall, B., & Salamon, S. (2000). Production and storage of goat semen for artificial insemination. *Animal Reproduction Science*, 62(1–3), 113–141. [https://doi.org/10.1016/S0378-4320\(00\)00156-1](https://doi.org/10.1016/S0378-4320(00)00156-1)

- López-Sebastián, A., González-Bulnes, A., Carrizosa, J. A., Urrutia, B., Díaz-Delfa, C., Santiago-Moreno, J., & Gómez-Brunet, A. (2007). New estrus synchronization and artificial insemination protocols for goats. *Theriogenology*, 68(9), 1259–1265. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2007.08.003>
- Malpaux, B., Migaud, M., Tricoire, H., & Chemineau, P. (2001). Biology of seasonal reproduction and photoperiodism in mammals. *Reproduction Nutrition Development*, 41(6), 509–526. <https://doi.org/10.1051/rnd:2001108>
- Martin, G. B., Rodger, J., & Blache, D. (2004). Nutritional and environmental effects on reproduction in small ruminants. *Reproduction, Fertility and Development*, 16(4), 491–501. <https://doi.org/10.1071/RD04012>
- Martínez-Alfaro, J. C., Hernández-Cerón, J., González-Padilla, E., Perera-Marín, G., & Valencia, J. (2014). Synchronization protocols using PGF₂α in goats. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 5(4), 459–472.
- McCracken, J. A., Custer, E. E., & Lamsa, J. C. (1999). Luteolysis: A neuroendocrine-mediated event. *Physiological Reviews*, 79(2), 263–323. <https://doi.org/10.1152/physrev.1999.79.2.263>
- Mellado, M. (2016). *Goat production systems and reproductive management in arid environments*. Springer.
- Mellado, M., Gaytán, L., Macías-Cruz, U., Avendaño-Reyes, L., & García, J. E. (2014). Heat stress and reproductive performance in goats. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology*, 2(4), 125–132. <https://doi.org/10.14269/2318-1265.v02n04a05>
- Mellado, M., Hernández, R., & Meza-Herrera, C. (2020). Reproductive management of goats in arid and semi-arid regions. *Animals*, 10(6), 987. <https://doi.org/10.3390/ani10060987>

- Mellado, M., Meza-Herrera, C. A., Arévalo, J. R., & Rodríguez, A. (2011). Factors affecting reproductive performance of goats under extensive conditions. *Tropical Animal Health and Production*, 43(2), 381–387. <https://doi.org/10.1007/s11250-010-9713-5>
- Menchaca, A., Miller, V., Salveraglio, V., & Rubianes, E. (2007). Endocrine, luteal and follicular responses after prostaglandin treatment in goats. *Theriogenology*, 67(5), 960–966. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2006.10.011>
- Meza-Herrera, C. A., Ross, T., Hallford, D. M., Hawkins, D. E., & González-Bulnes, A. (2007). Body condition and reproduction in goats. *Animal Reproduction Science*, 99(1–2), 24–31. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2006.03.015>
- Mihm, M., Curran, N., Hyttel, P., Knight, P. G., Boland, M. P., & Roche, J. F. (1999). Effect of dominant follicle persistence on follicular fluid estrogen and oocyte competence. *Journal of Reproduction and Fertility*, 116(2), 293–304. <https://doi.org/10.1530/jrf.0.1160293>
- Motlomelo, K. C., Greyling, J. P. C., & Schwalbach, L. M. J. (2002). Synchronization of oestrus in goats: The use of different prostaglandin treatments. *Small Ruminant Research*, 45(1), 45–49. [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(02\)00089-2](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(02)00089-2)
- Nogueira, D. M., Lopes Júnior, E. S., Teixeira, P. P. M., & Rodrigues, L. F. S. (2015). Reproductive biotechnology in goats. *Acta Scientiae Veterinariae*, 43, 1305.
- Pursley, J. R., Wiltbank, M. C., Stevenson, J. S., Ottobre, J. S., Garverick, H. A., & Anderson, L. L. (1997). Pregnancy rates after synchronization of ovulation in cattle. *Journal of Dairy Science*, 80(2), 301–306. [https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302\(97\)75938-0](https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302(97)75938-0)

- Restall, B. J. (1992). Seasonal variation in reproductive activity in goats. *Animal Reproduction Science*, 28(1–4), 185–194. [https://doi.org/10.1016/0378-4320\(92\)90065-D](https://doi.org/10.1016/0378-4320(92)90065-D)
- Rubianes, E., & Menchaca, A. (2003). The pattern and manipulation of ovarian follicular growth in goats. *Animal Reproduction Science*, 78(3–4), 271–287. [https://doi.org/10.1016/S0378-4320\(03\)00095-2](https://doi.org/10.1016/S0378-4320(03)00095-2)
- Scaramuzzi, R. J., Martin, G. B., & Blache, D. (2011). Nutrition and reproduction in small ruminants. *Animal Reproduction Science*, 130(1–2), 39–49. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2011.12.006>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2024). Anuario estadístico de la producción pecuaria. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/siap>
- Simões, J. (2015). Recent advances on synchronization of ovulation in goats. *Animal Reproduction*, 12(3), 377–384.
- Wildeus, S. (2000). Current concepts in synchronization of estrus in goats. *Journal of Animal Science*, 77(E-Suppl.), 1–14.
- Wiltbank, M. C., Souza, A. H., Carvalho, P. D., Cunha, A. P., Giordano, J. O., Fricke, P. M., Baez, G. M., & Diskin, M. G. (2012). Physiological and practical effects of progesterone on reproduction. *Animal Reproduction*, 9(3), 224–230.
- Zarazaga, L. A., Guzmán, J. L., Domínguez, C., Pérez, M. C., & Prieto, R. (2011). Nutrition and reproductive performance in goats. *Animal Reproduction Science*, 125(1–4), 83–89. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2011.02.017>