

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



Evaluación de dos protocolos hormonales de sincronización y su influencia en la tasa de gestación de ovejas inseminadas a tiempo fijo por laparoscopia

Por:

Maricela Denisse Martínez Torres

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Torreón, Coahuila, México
Junio 2026

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

Evaluación de dos protocolos hormonales de sincronización y su influencia en la
tasa de gestación de ovejas inseminadas a tiempo fijo por laparoscopia

Por:

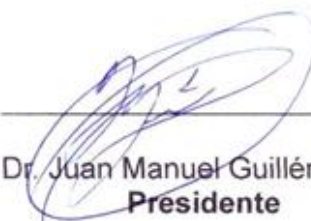
Maricela Denisse Martínez Torres

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. Ramiro González Avalos
Vocal


Dr. Hugo Zuriel Guerrero Gallego
Vocal suplente


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


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
COORDINACIÓN DE LA
DIVISIÓN REGIONAL
DE CIENCIA ANIMAL

Torreón, Coahuila, México
Junio 2026

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS MÉDICO VETERINARIAS

Evaluación de dos protocolos hormonales de sincronización y su influencia en la
tasa de gestación de ovejas inseminadas a tiempo fijo por laparoscopia

Por:

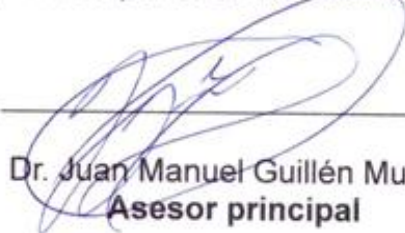
Maricela Denisse Martínez Torres

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. Zurisaday Santos Jiménez
Coasesor


Dr. Ramiro González Avalos
Coasesor


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

Torreón, Coahuila, México
Junio 2026



Agradecimientos

A mi madre Maricela Torres Orozco, por todo el esfuerzo y sacrificios que hizo para que yo pudiera seguir adelante y culminar mis estudios.

A mis padres y abuelos Estela Daher Rentería y Gerardo Martinez González, por siempre haberme apoyado a lo largo de mi vida estudiantil y nunca dejarme sola

A mi novio Francisco Medina Robles, por todo su amor y apoyarme a no rendirme en el camino por más difícil que se pusiera.

A mis asesores de tesis, Dr. Juan Manuel Guillen Muñoz y la Dra. Zurisday Santos Jiménez, por todos los conocimientos adquiridos en este tiempo, por todo el apoyo y siempre impulsarnos a seguir adelante.

A mi amiga Sofia Magdalena Ramírez Pérez, por nunca dejarme sola e impulsarme a seguir.

Gracias por todo.

Dedicatoria

La presente tesis se la dedico a mi madre Maricela Torres Orozco, por creer en mi y darme la oportunidad de poder superarme académicamente, por todos los sacrificios que implicaban solo para que yo pudiera cumplir este sueño y por siempre demostrarme que nosotras podemos con todo.

Te quiero mami.

Índice general

INDICE DE FIGURAS.....	v
INDICE DE CUADROS.....	vi
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT.....	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. HIPOTESIS.....	4
III. OBJETIVO GENERAL.....	4
IV. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
4.1 Importancia de la reproducción en sistemas de producción ovina.....	5
4.2 Bases fisiológicas de la reproducción en la oveja.....	6
4.2.1 Anatomía del aparato reproductor de la hembra ovina.....	8
4.2.2 Eje hipotálamo-hipófisis-ovario.....	8
4.2.3 Dinámica folicular en ovinos.....	10
4.2.4 Regulación hormonal del ciclo estral.....	11
4.2.5 Ovulación y formación del cuerpo lúteo.....	12
4.2.6 Estacionalidad reproductiva y anestro.....	13
4.3 Sincronización del ciclo estral en ovinos.....	15
4.3.1 Concepto y objetivos de la sincronización.....	16
4.3.2 Tipos de protocolos hormonales en ovinos.....	17
4.3.3 Factores que afectan la respuesta a la sincronización.....	18
4.3.4 Importancia del momento de la ovulación en programas reproductivos.....	19
4.4 Uso de progesterona en protocolos de sincronización (CIDR).....	20
4.4.1 Mecanismo de acción de los dispositivos intravaginales.....	21
4.4.2 Duración del tratamiento (5, 7, 9, 12 días) y sus efectos.....	22
4.4.3 Respuesta ovárica y control del folículo dominante.....	23
4.4.4 Ventajas y desventajas del uso de CIDR.....	24
4.4.5 Resultados reproductivos reportados en ovejas.....	25
4.5 Uso de prostaglandinas ($\text{PGF}_2\alpha$) en sincronización.....	26
4.5.1 Mecanismo luteolítico de la $\text{PGF}_2\alpha$	27
4.5.2 Protocolos de doble aplicación.....	28
4.5.3 Tipos de inseminación artificial en ovejas y cabras.....	28
V. MATERIALES Y MÉTODOS.....	31

5.1	Localización del estudio	31
5.2	Animales experimentales.....	31
5.3	Diseño experimental.....	32
5.4	Obtención y manejo del semen.....	32
5.5	Inseminación artificial laparoscópica.....	32
5.6	Variables reproductivas evaluadas	33
5.6.1	Tasa de ovulación y tamaño del cuerpo lúteo	33
5.6.2	Diagnóstico de gestación.....	33
5.6.3	Prolificidad.....	34
5.6.4	Fecundidad	34
5.7	Análisis estadístico.....	34
VI.	Resultados.....	35
VII.	Discusión	37
VIII.	Conclusión.....	39
IX.	Revisión de literatura.....	40

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Aparato reproductor de la (Hafez, 1986).....	8
Figura 2 Estacionalidad reproductiva (Tomado de Uribe et al., 2002)	15

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1 Parámetros reproductivos obtenidos en ovejas Dorper inseminadas por laparoscopia.	36
--	----

RESUMEN

La investigación se llevó a cabo en una unidad de producción ovina comercial ubicada en Gómez Palacio, Durango, México. Se utilizaron 20 ovejas multíparas de raza Dorper, con edades comprendidas entre 2 y 4 años y una condición corporal promedio de 3.0 en una escala de 1 a 5. Previo al inicio del estudio, todas las hembras fueron sometidas a una evaluación clínica y reproductiva mediante ultrasonografía para verificar la ausencia de alteraciones reproductivas y confirmar actividad ovárica cíclica. Las ovejas fueron distribuidas aleatoriamente en dos grupos experimentales. El primer grupo (CIDR-eCG; n= 10) recibió un dispositivo intravaginal liberador de progesterona (CIDR® Ovis) durante siete días; al momento del retiro se administraron 5 mg de prostaglandina $F_{2\alpha}$ ($PGF_{2\alpha}$) y 200 UI de gonadotropina coriónica equina (eCG). El segundo grupo ($PGF_{2\alpha}$ -eCG; n= 10) recibió dos aplicaciones intramusculares de 5 mg de $PGF_{2\alpha}$ con un intervalo de siete días entre dosis, además de 200 UI de eCG administradas junto con la segunda aplicación. Todas las ovejas fueron inseminadas entre las 54 y 56 horas posteriores a la finalización de los tratamientos hormonales utilizando semen fresco obtenido de sementales Dorper con fertilidad comprobada. Las variables evaluadas fueron tasa de ovulación, tamaño del cuerpo lúteo, tasa de gestación, prolificidad y fecundidad. Los resultados mostraron una respuesta ovulatoria elevada en ambos tratamientos, registrándose una tasa de ovulación del 100 % (10/10) en el grupo CIDR-eCG y del 90 % (9/10) en el grupo $PGF_{2\alpha}$ -eCG. El tamaño promedio del cuerpo lúteo fue similar entre tratamientos (10.61 ± 0.46 mm vs. 11.02 ± 0.34 mm; $P > 0.05$). En cuanto a la tasa de gestación, el grupo CIDR-eCG alcanzó un 70% (7/10), mientras que el grupo $PGF_{2\alpha}$ -eCG obtuvo un 40% (4/10), sin observarse

diferencias estadísticas significativas ($P > 0.05$). La prolificidad fue de 1.86 y 2.75 embriones por oveja gestante para los grupos CIDR-eCG y $\text{PGF}_{2\alpha}$ -eCG, respectivamente. Asimismo, la fecundidad alcanzó valores de 130 % y 110 % para los tratamientos CIDR-eCG y $\text{PGF}_{2\alpha}$ -eCG, respectivamente. Se concluye que ambos protocolos hormonales permitieron obtener respuestas reproductivas dentro de los rangos reportados para programas de inseminación artificial a tiempo fijo en ovinos. Aunque el protocolo basado en CIDR más eCG presentó una mayor tasa de gestación, ambas estrategias constituyen alternativas viables para programas reproductivos en ovejas sometidas a inseminación artificial por laparoscopia.

Palabras clave: *Sincronización del estro, CIDR, Prostaglandina $F_{2\alpha}$, eCG, IATF Laparoscopia, Ovinos, Tasa de gestación*

ABSTRACT

The study was conducted on a commercial sheep farm located in Gómez Palacio, Durango, Mexico. Twenty multiparous Dorper ewes between 2 and 4 years of age and with an average body condition score of 3.0 (1–5 scale) were used. Prior to the experiment, all females underwent clinical and reproductive examinations by ultrasonography to confirm the absence of reproductive disorders and verify cyclic ovarian activity. The ewes were randomly assigned to two experimental groups. The first group (CIDR-eCG; $n = 10$) received an intravaginal controlled internal drug release device containing progesterone (CIDR® Ovis) for seven days. At device removal, ewes received 5 mg of prostaglandin $F_{2\alpha}$ ($PGF_{2\alpha}$) and 200 IU of equine chorionic gonadotropin (eCG). The second group ($PGF_{2\alpha}$ -eCG; $n = 10$) received two intramuscular injections of 5 mg $PGF_{2\alpha}$ administered seven days apart, with 200 IU of eCG given simultaneously with the second $PGF_{2\alpha}$ injection. All ewes were inseminated with fresh semen between 54 and 56 hours after completion of the synchronization treatments. Semen was collected from proven fertile Dorper rams and deposited directly into both uterine horns by laparoscopy. The evaluated variables included ovulation rate, corpus luteum size, pregnancy rate, prolificacy, and fecundity. Both protocols produced a high ovulatory response, with ovulation rates of 100% (10/10) and 90% (9/10) for the CIDR-eCG and $PGF_{2\alpha}$ -eCG groups, respectively. Mean corpus luteum size did not differ between treatments (10.61 ± 0.46 mm vs. 11.02 ± 0.34 mm; $P > 0.05$). Pregnancy rate was numerically higher in the CIDR-eCG group (70%; 7/10) compared to the $PGF_{2\alpha}$ -eCG group (40%; 4/10), although no statistical differences were detected ($P > 0.05$). Prolificacy averaged

1.86 and 2.75 embryos per pregnant ewe in the CIDR-eCG and PGF₂α-eCG groups, respectively. Fecundity reached 130% and 110% for the CIDR-eCG and PGF₂α-eCG treatments, respectively. In conclusion, both synchronization protocols produced reproductive outcomes within the ranges commonly reported for fixed-time artificial insemination programs in sheep. Although the CIDR-eCG protocol achieved a numerically higher pregnancy rate, both hormonal strategies may be considered viable alternatives for reproductive programs involving laparoscopic fixed-time artificial insemination in ewes.

Keywords: *Estrus synchronization, CIDR, Prostaglandin F₂α, eCG, FTAI Laparoscopy, Sheep, Pregnancy rate*

I. INTRODUCCIÓN

La producción ovina constituye una actividad pecuaria de gran importancia en diversas regiones del mundo debido a su contribución en la producción de carne, leche, lana y otros productos de origen animal. En México, la ovinocultura representa una alternativa productiva relevante para pequeños y medianos productores, particularmente en zonas áridas y semiáridas, donde los ovinos destacan por su capacidad de adaptación y aprovechamiento de recursos forrajeros limitados (Pérez-Hernández et al., 2011).

La eficiencia reproductiva es uno de los principales factores que determinan la rentabilidad de los sistemas de producción ovina, ya que influye directamente sobre indicadores como fertilidad, prolificidad, fecundidad e intervalo entre partos (Noakes et al., 2018). Sin embargo, la reproducción en la oveja se encuentra regulada por diversos factores fisiológicos y ambientales, siendo el fotoperiodo uno de los más importantes debido a su influencia sobre la actividad ovárica y la estacionalidad reproductiva (Arroyo, 2011). Estas características pueden limitar la manifestación del estro y la ovulación, reduciendo la eficiencia de los programas reproductivos.

Con el objetivo de mejorar el desempeño reproductivo de los rebaños, se han desarrollado diversas biotecnologías reproductivas, entre las que destacan la sincronización del ciclo estral y la inseminación artificial a tiempo fijo (IATF). La sincronización permite controlar la presentación del estro y la ovulación mediante el uso de hormonas exógenas, facilitando la programación de los servicios y concentrando los partos en épocas específicas del año (Menchaca y Rubianes, 2004; Arroyo-Ledezma et al., 2013).

Entre los protocolos más utilizados se encuentran aquellos basados en dispositivos intravaginales liberadores de progesterona (CIDR) y los tratamientos que emplean prostaglandina $F_{2\alpha}$ ($PGF_{2\alpha}$). Los dispositivos CIDR permiten simular una fase lútea artificial mediante la liberación controlada de progesterona, favoreciendo el control de las ondas foliculares y la sincronización de la ovulación (Carlson et al., 1989; Barrett et al., 1998). Por otra parte, la $PGF_{2\alpha}$ induce la regresión del cuerpo lúteo funcional, permitiendo el reinicio del ciclo estral y la sincronización de la actividad ovárica en hembras cíclicas (Liu et al., 2006). En ambos casos, la administración complementaria de gonadotropina coriónica equina (eCG) contribuye a estimular el crecimiento folicular y mejorar la respuesta ovulatoria (Abecia et al., 2012).

La sincronización del estro adquiere especial relevancia cuando se combina con programas de inseminación artificial a tiempo fijo, ya que elimina la necesidad de detectar el celo individualmente y permite un uso más eficiente de material genético proveniente de sementales de alto valor productivo (Wildeus, 2000). En ovinos, la inseminación artificial por laparoscopia ha demostrado ser una de las técnicas más eficientes para depositar semen directamente en los cuernos uterinos, obteniendo tasas de gestación superiores a las logradas mediante la inseminación cervical convencional (Sathe, 2018).

Aunque ambos protocolos hormonales son utilizados ampliamente en programas reproductivos, existen diferencias en sus mecanismos de acción, costos de implementación y resultados reproductivos reportados. Por ello, resulta necesario evaluar su desempeño bajo condiciones de producción comercial. En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo comparar la respuesta reproductiva de

ovejas Dorper sincronizadas mediante un protocolo basado en CIDR más eCG y un protocolo basado en dos aplicaciones de $\text{PGF}_{2\alpha}$ más eCG, inseminadas a tiempo fijo por laparoscopia.

II. HIPOTESIS

El protocolo basado en dos aplicaciones de $\text{PGF}_{2\alpha}$ más eCG produce resultados reproductivos similares a los obtenidos con un protocolo basado en CIDR más eCG en ovejas inseminadas a tiempo fijo por laparoscopia.

III. OBJETIVO GENERAL

Comparar el efecto de dos protocolos hormonales de sincronización del estro, uno basado en la utilización de un dispositivo intravaginal liberador de progesterona (CIDR) más eCG y otro basado en dos aplicaciones de prostaglandina $\text{F}_{2\alpha}$ más eCG, sobre la respuesta reproductiva de ovejas Dorper inseminadas a tiempo fijo por laparoscopia.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Importancia de la reproducción en sistemas de producción ovina

Los Sistemas de Producción Ovina (SPO) se caracterizan principalmente por su nivel de intensificación, clasificándose en extensivos, semi-intensivos e intensivos según la tecnología. Adicionalmente, se categorizan por su finalidad productiva (laneros, carneros, carne o leche) y por el tamaño del rebaño, insumos y tecnología, determinando su autonomía como tradicionales, transicionales y empresariales. Más allá de lo técnico-productivo, se consideran aspectos socioeconómicos del productor, como la participación familiar, escolaridad, asociacionismo, tenencia de tierra, acceso a crédito y comercialización, para una caracterización completa. (Pérez et al., 2011). La reproducción representa el principal motor biológico de los sistemas pecuarios debido a que determina la capacidad de reemplazo, expansión y mejoramiento genético de las poblaciones animales. En ovinos, pequeños cambios en los parámetros reproductivos pueden generar impactos significativos sobre la rentabilidad de las explotaciones, especialmente en sistemas orientados a la producción de carne, leche o genética (Fogarty, 2009). La productividad reproductiva suele evaluarse mediante indicadores como fertilidad, prolificidad, fecundidad, intervalo entre partos y supervivencia neonatal. Estos parámetros influyen directamente en la eficiencia biológica y económica de los sistemas de producción (Notter, 2012). Diversos estudios han demostrado que el incremento de la fertilidad anual puede aumentar significativamente la producción de corderos comercializables, reduciendo simultáneamente los costos asociados al mantenimiento de hembras improductivas (Kenyon et al., 2014). La aplicación de

programas reproductivos basados en sincronización e inseminación artificial permite concentrar los partos en periodos estratégicos, facilitar el manejo sanitario y nutricional, así como incrementar la uniformidad de los lotes destinados al mercado (Menchaca et al., 2017).

4.2 Bases fisiológicas de la reproducción en la oveja

La reproducción en la oveja está regulada por complejos mecanismos neuroendocrinos que coordinan la actividad del eje hipotálamo-hipófisis-ovario. La interacción entre hormonas gonadotrópicas y esteroides ováricos permite controlar el crecimiento folicular, la ovulación y el mantenimiento de la gestación (Evans et al., 2020). Las ovejas son especies poliéstricas estacionales de días cortos. Esta característica determina que la actividad reproductiva se concentre principalmente durante el otoño e invierno, cuando disminuye la duración del fotoperiodo (Chemineau et al., 2008). La fisiología reproductiva de la oveja, particularmente en razas estacionales, está ligada a factores ambientales, siendo el fotoperiodo el principal inductor de la estacionalidad. Se aborda la optimización de sistemas de inducción reproductiva para maximizar la productividad, detallando el anestro estacional y de lactación como periodos de inhibición. Se explica el reinicio de la actividad cíclica ovárica posparto y se resaltan avances recientes en la regulación del desarrollo folicular, ovulación, luteólisis y reconocimiento maternal, fundamentales para mejorar la eficiencia reproductiva en estas razas (González et al., 2003). La actividad ovárica está caracterizada por la presencia continua de ondas foliculares durante el ciclo estral. Cada onda comprende fases de reclutamiento, selección y dominancia folicular reguladas principalmente por la

hormona foliculoestimulante (FSH) y la hormona luteinizante (LH) (Bartlewski et al., 2011). Los cambios endocrinos asociados al desarrollo folicular permiten la producción progresiva de estradiol, hormona responsable de la manifestación del comportamiento estral y de la inducción del pico preovulatorio de LH (Scaramuzzi et al., 2013).

La aplicación de tratamientos para inducir el celo en ovejas constituye una práctica fundamental en la gestión reproductiva de tambos ovinos. Su objetivo principal es acortar el anestro estacional y posibilitar el servicio durante la primavera-verano. Consecuentemente, esto permite que los partos y la producción de leche se concentren en los meses de otoño e invierno, optimizando así la estacionalidad productiva del rebaño y asegurando un flujo constante de leche fuera de las temporadas naturales (Catalano et al., 2005).

4.2.1 Anatomía del aparato reproductor de la hembra ovina

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

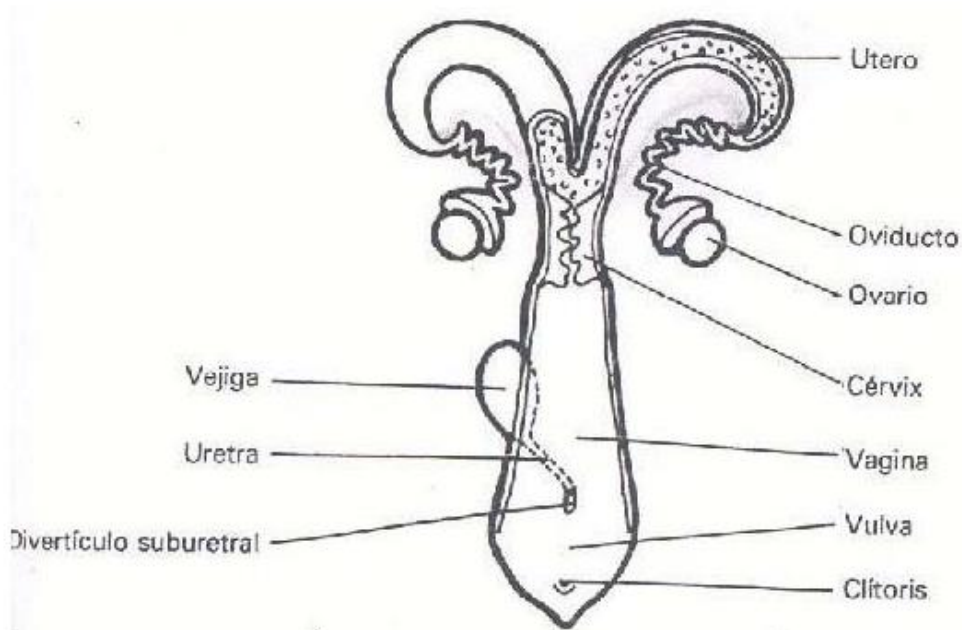


Figura 1 Aparato reproductor de la (Hafez, 1986).

4.2.2 Eje hipotálamo-hipófisis-ovario

los aspectos reproductivos de las especies domésticas y las que involucran las funciones del útero y los ovarios durante el ciclo estral y la preñez, indican la necesidad de conocer más profundamente la anatomía vascular del aparato genital femenino.

La fisiología reproductiva de la hembra depende de la estrecha relación entre la anatomía vascular y la regulación hormonal, donde el útero y los ovarios actúan como ejes centrales del ciclo estral. La producción de prostaglandina f2a(PGF2a) en el útero, junto con la acción de los estrógenos, regula procesos críticos como la

fertilidad, la ovulación y la función del cuerpo lúteo. Estructuralmente, la irrigación proviene de la arteria ovárica, la cual presenta variaciones anatómicas según la especie: mientras que en ovejas y vacas forma un complejo ovillo arterial tortuoso, en equinos, suinos y caninos se distribuye a través del ligamento ancho para irrigar también la tuba uterina (Vilá Valls et al., 2007). El eje hipotálamo-hipófisis-ovario constituye el principal sistema regulador de la función reproductiva femenina. La liberación pulsátil de hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH) desde el hipotálamo estimula la secreción de FSH y LH por parte de la hipófisis anterior (Goodman et al., 2014). La FSH promueve el crecimiento y desarrollo de los folículos antrales, mientras que la LH participa en la maduración final del folículo dominante, la ovulación y la luteinización de las células foliculares (Campbell et al., 2003). Los folículos ováricos producen estradiol e inhibina, hormonas responsables de regular mediante retroalimentación negativa la secreción hipofisaria de FSH. Este mecanismo permite la selección del folículo dominante y evita el crecimiento simultáneo de múltiples folículos durante cada onda folicular (Scaramuzzi et al., 2013). Posteriormente, la ovulación genera la formación del cuerpo lúteo, estructura endocrina temporal encargada de secretar progesterona, hormona esencial para el mantenimiento de la gestación y la regulación del ciclo estral (Wiltbank et al., 2015).

4.2.3 Dinámica folicular en ovinos

La dinámica folicular ovina se caracteriza por la presencia de dos a cuatro ondas foliculares durante cada ciclo estral. Cada onda inicia con un incremento transitorio de FSH que estimula el reclutamiento de una cohorte de pequeños folículos antrales (Bartlewski et al., 2011). Posteriormente ocurre un proceso de selección mediante el cual uno o varios folículos adquieren ventajas fisiológicas para continuar su crecimiento, mientras que los restantes sufren atresia. La supervivencia del folículo dominante depende de su capacidad para responder a concentraciones decrecientes de FSH y mayores niveles de LH (Evans et al., 2020). La calidad del folículo ovulatorio constituye un factor determinante para la competencia ovocitaria, la fertilización y el desarrollo embrionario temprano. Por esta razón, los protocolos hormonales modernos buscan sincronizar la emergencia de una nueva onda folicular antes de la inseminación artificial (Menchaca y Rubianes, 2004). Diversos estudios han demostrado que la edad del folículo preovulatorio puede afectar significativamente la fertilidad, siendo los folículos persistentemente dominantes asociados con menores tasas de concepción y desarrollo embrionario (Viñoles et al., 2001).

La condición corporal es un indicador crítico de las reservas energéticas que afecta directamente la función reproductiva; una condición baja puede suprimir el estro y reducir tanto el número como el tamaño de los folículos en desarrollo. Por el contrario, una condición corporal óptima favorece la presencia de folículos preovulatorios de mejor calidad, lo que se traduce directamente en una mayor tasa ovulatoria para el rebaño (Autor y año). Los periodos de agosto a noviembre, considerado como el de mayor actividad reproductiva, y febrero–mayo, como el de

menor actividad reproductiva. A lo largo del ciclo estral, la población de folículos varía diariamente, observándose un mayor número de folículos superiores a 4 mm en ovejas con condición corporal alta, especialmente durante el periodo de agosto a noviembre. Por el contrario, en animales con baja condición corporal, una menor proporción de folículos logra superar dicha talla, lo cual afecta el reclutamiento folicular previo a la ovulación. Aunque otros estudios asocian la buena condición con un mayor diámetro folicular máximo, en este análisis no se hallaron diferencias significativas en el tamaño, posiblemente debido a que la inclusión de ovejas con ovulación múltiple tiende a reducir el diámetro individual de los folículos preovulatorios en comparación con aquellas de ovulación sencilla (Isla et al., 2010).

4.2.4 Regulación hormonal del ciclo estral

El ciclo estral en la oveja tiene una duración promedio de 16 a 17 días y se divide en proestro, estro, metaestro y diestro. Durante el proestro, los niveles de estrógenos aumentan debido al crecimiento folicular. El estro corresponde al periodo de receptividad sexual, donde ocurre el pico de LH que desencadena la ovulación. (Noakes et al., 2009). Durante la fase folicular predominan las concentraciones elevadas de estradiol, mientras que durante la fase lútea la progesterona constituye la hormona dominante (Abecia et al., 2012). La elevación progresiva del estradiol estimula el comportamiento estral y desencadena el pico preovulatorio de LH mediante un mecanismo de retroalimentación positiva sobre el hipotálamo y la hipófisis (Goodman et al., 2014).

Después de la ovulación se desarrolla el cuerpo lúteo, el cual secreta progesterona durante aproximadamente 12 a 14 días. Esta hormona inhibe la liberación pulsátil

de GnRH y previene la aparición de nuevos eventos ovulatorios (Wiltbank et al., 2015). En el metaestro y diestro se desarrolla el cuerpo lúteo, el cual secreta progesterona, hormona encargada de mantener un ambiente uterino adecuado para la gestación (Noakes et al., 2009). En ausencia de gestación, el endometrio uterino produce prostaglandina $F_{2\alpha}$ ($PGF_{2\alpha}$), responsable de inducir la luteólisis y permitir el reinicio de un nuevo ciclo reproductivo (McCracken et al., 1999).

4.2.5 Ovulación y formación del cuerpo lúteo

La ovulación es un proceso fisiológico complejo desencadenado por el pico preovulatorio de LH. Este evento induce una serie de cambios bioquímicos y estructurales (Evans et al., 2020). La ovulación en la oveja ocurre como resultado del pico preovulatorio de LH, que induce la ruptura del folículo dominante y la liberación del ovocito. Posteriormente, las células foliculares se transforman en el cuerpo lúteo, estructura encargada de la secreción de progesterona. (Abecia et al., 2012).

El cuerpo lúteo es esencial para el establecimiento y mantenimiento de la gestación. Su funcionalidad depende de una adecuada vascularización y regulación hormonal. En ausencia de fecundación, este sufre luteólisis mediada por prostaglandinas, reiniciando el ciclo estral (Abecia et al., 2012). Posteriormente ocurre la luteinización de las células de la granulosa y de la teca, dando origen al cuerpo lúteo funcional. Esta estructura produce progesterona en cantidades suficientes para preparar el útero para la implantación embrionaria (Wiltbank et al., 2015). La funcionalidad del cuerpo lúteo constituye uno de los principales factores asociados al establecimiento y mantenimiento de la gestación temprana. Deficiencias en la producción de

progesterona han sido relacionadas con pérdidas embrionarias tempranas y disminución de la fertilidad (Spencer y Bazer, 2004).

4.2.6 Estacionalidad reproductiva y anestro

Los ovinos son considerados reproductores estacionales de días cortos, lo que significa que su actividad reproductiva se encuentra estrechamente relacionada con la disminución de la duración del fotoperiodo. Este mecanismo adaptativo permite que los partos ocurran durante épocas del año con mejores condiciones ambientales para la supervivencia de las crías (Chemineau et al., 2008; Abecia et al., 2012). La regulación de la estacionalidad reproductiva está mediada principalmente por la melatonina, hormona sintetizada por la glándula pineal durante los periodos de oscuridad. El incremento en la duración de la secreción de melatonina durante los días cortos estimula la actividad reproductiva mediante modificaciones en la liberación hipotalámica de GnRH (Malpaux et al., 1997; Chemineau et al., 2008). Durante el anestro estacional se produce una reducción significativa en la frecuencia de pulsos de LH, lo que limita el crecimiento folicular terminal y la ovulación. Como consecuencia, las ovejas presentan ausencia de estro y disminución de la fertilidad, afectando negativamente la productividad de los sistemas de producción (Goodman et al., 2014). La intensidad del anestro puede variar dependiendo de factores como raza, latitud geográfica, nutrición, edad y condición corporal. Razas originarias de regiones templadas suelen presentar una estacionalidad más marcada que aquellas adaptadas a zonas tropicales o subtropicales (Rosa y Bryant, 2003; Abecia et al., 2012).

La estación reproductiva de la oveja se activa con los días cortos (agosto a enero en el hemisferio norte) y se manifiesta en ciclos estrales de aproximadamente 17 días, divididos en dos fases hormonales críticas. Durante la fase lútea, el cuerpo lúteo secreta progesterona, la cual ejerce una retroalimentación negativa que inhibe la secreción de GnRH y LH mediante la activación de neuronas GABA en el hipotálamo, impidiendo así una nueva ovulación. Por el contrario, en la fase folicular, la lisis del cuerpo lúteo reduce la progesterona y permite el crecimiento de folículos que elevan los niveles de estradiol; esta hormona genera una retroalimentación positiva que dispara el pico preovulatorio de GnRH/LH, provocando finalmente la ovulación (Arroyo, 2011).

El anestro estacional en las ovejas ocurre durante los días largos (febrero a agosto en el hemisferio norte) debido a una menor secreción de melatonina, lo que detiene los ciclos estrales y la ovulación. Durante esta fase, el estradiol basal ejerce una retroalimentación negativa inusual que inhibe la hormona GnRH a través del núcleo dopaminérgico A15. Investigaciones recientes indican que el estradiol logra esto suprimiendo la liberación del neurotransmisor GABA; al reducirse el GABA, se activan las neuronas dopaminérgicas que liberan dopamina, la cual frena la frecuencia de los pulsos de GnRH y LH, manteniendo así la inactividad reproductiva (Arroyo, 2011).

La presencia del macho puede modificar parcialmente esta situación mediante el denominado “efecto macho”, capaz de inducir actividad ovulatoria en hembras anéstricas a través de estímulos olfativos, visuales y conductuales que incrementan la secreción de GnRH y LH (Ungerfeld, 2007).

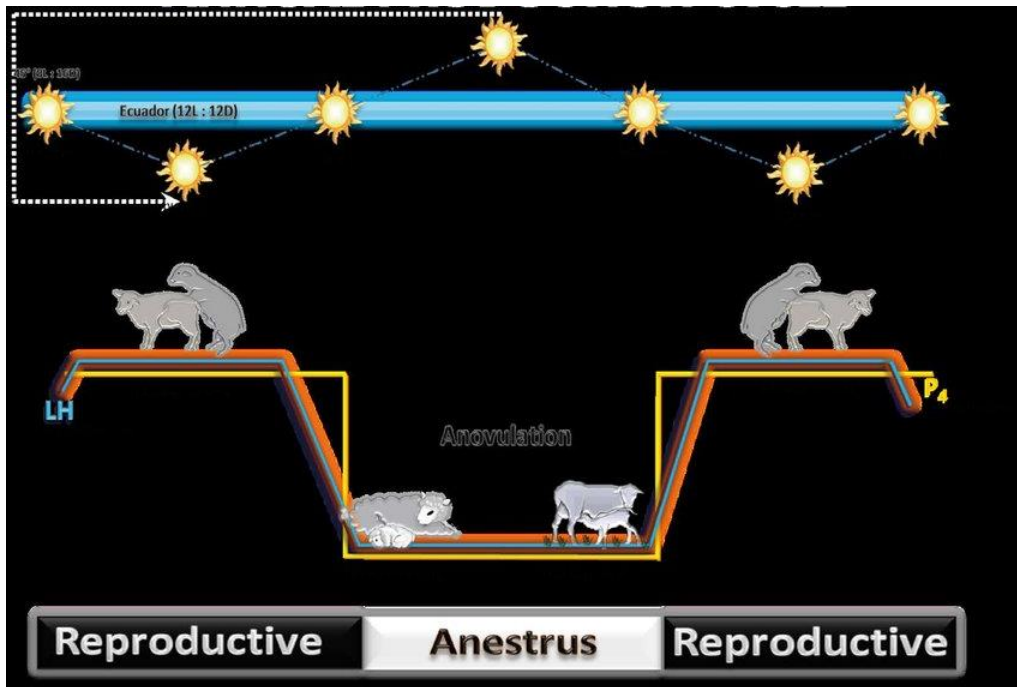


Figura 2 Estacionalidad reproductiva (Tomado de Uribe et al., 2002)

4.3 Sincronización del ciclo estral en ovinos

La sincronización del estro consiste en la manipulación farmacológica del ciclo reproductivo con el propósito de controlar el momento de la presentación del celo y la ovulación en grupos de hembras. Esta tecnología permite programar servicios, partos y otras actividades reproductivas dentro de un calendario productivo previamente establecido (Menchaca y Rubianes, 2004). La sincronización hormonal ha adquirido gran relevancia debido a que facilita la implementación de programas de inseminación artificial a tiempo fijo, eliminando la necesidad de detectar estros individualmente y permitiendo una utilización más eficiente de la mano de obra y los recursos disponibles (Gordon, 2017). Además de incrementar la eficiencia operativa, la sincronización favorece la difusión de material genético superior mediante el uso de semen congelado

proveniente de sementales élite. Esto permite acelerar el progreso genético dentro de los rebaños comerciales (Salamon y Maxwell, 2000).

La sincronización ajusta los estros a tiempos específicos y permite usar tecnologías reproductivas. Éi es evaluar la respuesta reproductiva de ovejas sincronizadas con progesterona (P4) o prostaglandinas. En regiones tropicales más de 60 % de los ovinos de pelo muestran actividad ovulatoria todo el año), lo que representa un potencial productivo alto para estas razas. El manejo reproductivo de las ovejas se puede mejorar con tratamientos hormonales. La sincronización del ciclo estral en esta especie es una biotecnología reproductiva que, asociada a esquemas de inseminación artificial, es una herramienta útil para mejorar la eficiencia reproductiva, la productividad de los rebaños, concentrar partos en épocas preestablecidas, favorecer la difusión de genotipos específicos y mejorar la genética (Arroyo et al., 2013). Los protocolos modernos buscan sincronizar no solamente el comportamiento estral sino también la dinámica folicular y el momento exacto de la ovulación, factores fundamentales para maximizar las tasas de fertilización y gestación (Viñoles et al., 2023).

4.3.1 Concepto y objetivos de la sincronización

El objetivo principal de los programas de sincronización es lograr que un grupo de hembras presente ovulación dentro de una ventana temporal reducida. Esta sincronía permite optimizar la aplicación de tecnologías reproductivas como la inseminación artificial, transferencia de embriones y monta controlada (Menchaca et al., 2017). Entre los objetivos específicos destacan la concentración de partos, la

reducción del intervalo entre generaciones, el incremento del número de hembras gestantes al inicio de la temporada reproductiva y la mejora en la eficiencia de los programas de selección genética (Abecia et al., 2020).

La sincronización del estro en cabras y ovejas se fundamenta en el control de la fase lútea mediante el uso de progesterona exógena o la inducción de la luteólisis, siendo la primera opción indispensable durante el anestro estacional. Debido a la limitada disponibilidad de fármacos específicos para pequeños rumiantes, especialmente en Estados Unidos, la investigación se ha centrado en adaptar productos diseñados para bovinos y porcinos, como las esponjas intravaginales con progestágenos, los dispositivos CIDR y el acetato de melengestrol, frecuentemente combinados con gonadotropinas para ajustar los tiempos de inseminación. Además de estos métodos farmacológicos, se han validado estrategias complementarias como el "efecto macho" y la manipulación nutricional para inducir y aumentar la tasa de ovulación de manera más natural (Wildevus, 2000). La sincronización también contribuye a mejorar la uniformidad de los lotes de corderos, facilitando las estrategias de alimentación, manejo sanitario y comercialización (Kenyon et al., 2014).

4.3.2 Tipos de protocolos hormonales en ovinos

Las esponjas intravaginales representan el método tradicional más utilizado para la sincronización del estro en pequeños rumiantes, siendo efectivas tanto en la

temporada de cría como en el anestro gracias al uso de progestágenos como el FGA o el MAP, los cuales requieren dosis menores que la progesterona natural. Estos dispositivos suelen permanecer insertados entre 9 y 19 días y se combinan frecuentemente con la administración de PMSG (al momento de retirarlas o 48 horas antes) para potenciar la respuesta reproductiva fuera de temporada. Con una alta tasa de retención superior al 90%, este sistema logra que la mayoría de las hembras manifiesten el celo en un periodo de 24 a 48 horas tras finalizar el tratamiento. El uso de gonadotropinas se integra de manera rutinaria en los protocolos de sincronización que emplean dispositivos intravaginales, con el objetivo principal de inducir la ovulación en ovejas y cabras que se encuentran en fase anovulatoria (Wildeus, 2000).

4.3.3 Factores que afectan la respuesta a la sincronización

La respuesta a los tratamientos hormonales depende de múltiples factores fisiológicos y de manejo. Uno de los más importantes es el estado reproductivo de la hembra al inicio del protocolo, debido a que la presencia o ausencia de actividad luteal influye sobre la respuesta endocrina posterior (Ungerfeld y Rubianes, 2018). La condición corporal constituye otro factor determinante. Ovejas con condición corporal inferior a 2.5 suelen presentar menores tasas de ovulación y fertilidad debido a alteraciones metabólicas que afectan la función reproductiva (Scaramuzzi et al., 2013). La nutrición, la raza, la edad, la estación del año, el estrés, el manejo sanitario y la calidad seminal también pueden modificar significativamente los resultados reproductivos obtenidos tras la sincronización (Abecia et al., 2020).

El uso de progestágenos puede contaminar el medio ambiente y el tejido animal, por lo que el uso de prostaglandinas $F2\alpha$ ($PGF2\alpha$) y hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH) pueden representar una alternativa viable. Aunque se han desarrollado protocolos de corta duración con resultados aceptables, la tendencia actual favorece el uso de prostaglandinas por su rápida metabolización y bajo costo; sin embargo, dado que una dosis única de prostaglandinas suele ser insuficiente para una sincronía precisa, se ha optado por asociarlas con la hormona liberadora de gonadotropina (GnRH). Esta combinación permite controlar la dinámica folicular, eliminando folículos dominantes e induciendo nuevas ondas de crecimiento, lo que optimiza la precisión del estro y la ovulación durante la temporada reproductiva sin los inconvenientes de los dispositivos intravaginales tradicionales. (Ávila et al., 2019).

4.3.4 Importancia del momento de la ovulación en programas reproductivos

El éxito de la inseminación artificial depende en gran medida de la sincronización entre la ovulación y la disponibilidad de espermatozoides viables dentro del tracto reproductivo femenino. Cuando existe una descoordinación temporal entre ambos eventos disminuyen significativamente las probabilidades de fertilización (Salamon y Maxwell, 2000). La fertilidad máxima suele obtenerse cuando la inseminación se realiza entre 8 y 16 horas antes de la ovulación. Por esta razón, los protocolos hormonales modernos buscan reducir la variabilidad en el momento de la ovulación posterior al retiro de los dispositivos intravaginales (Menchaca et al., 2017).

La dinámica folicular en ovejas ha cobrado relevancia tanto para mejorar la fertilidad y la precisión de la ovulación mediante gonadotropinas exógenas, como por su valor como modelo experimental para entender el reclutamiento y la dominancia folicular debido a la variabilidad genética en su prolificidad. Los tratamientos hormonales no solo sincronizan el estro, sino que potencian el desarrollo de los folículos en la primera onda folicular, destacando el uso de la prostaglandina como una alternativa clave. Este factor luteolítico permite interrumpir la fase progestacional al provocar la regresión del cuerpo lúteo, facilitando el inicio de un nuevo ciclo estral y consolidándose como un método eficaz para las técnicas de reproducción asistida en especie ovina (Uribe et al., 2010). Estudios ultrasonográficos han demostrado que pequeñas diferencias en la dinámica folicular pueden modificar el intervalo entre el retiro del dispositivo y la ovulación, afectando directamente la tasa de gestación (Viñoles et al., 2001).

4.4 Uso de progesterona en protocolos de sincronización (CIDR)

La progesterona constituye la hormona más utilizada para la sincronización reproductiva en ovinos. Su administración exógena simula la presencia de un cuerpo lúteo funcional e inhibe temporalmente la liberación de GnRH y LH, evitando la ovulación durante el tratamiento (Menchaca y Rubianes, 2004). El uso de dispositivos intravaginales CIDR para la liberación de progesterona es un pilar estratégico en la reproducción asistida de pequeños rumiantes, ya que permite un control preciso sobre el ciclo estral de las ovejas. Al regular hormonalmente la actividad reproductiva, estos dispositivos facilitan la sincronización de los grupos de

hembras, lo que resulta indispensable para optimizar la logística y el éxito de técnicas avanzadas como la inseminación artificial a tiempo fijo (IATF) (Menchaca et al., 2004). Los dispositivos intravaginales liberadores de progesterona (CIDR) han reemplazado progresivamente a las antiguas esponjas impregnadas con progestágenos debido a su mayor eficiencia, menor incidencia de infecciones vaginales y mejor control endocrino (Ungerfeld y Rubianes, 2018). La utilización de CIDR permite sincronizar la emergencia de una nueva onda folicular y generar un ambiente endocrino favorable para la ovulación de folículos fisiológicamente competentes (González-Bulnes et al., 2019).

4.4.1 Mecanismo de acción de los dispositivos intravaginales

Los CIDR liberan progesterona de manera continua hacia la circulación sistémica a través de la mucosa vaginal. Las concentraciones plasmáticas alcanzadas inhiben la frecuencia de pulsos de LH y previenen la ovulación durante el periodo de tratamiento (Menchaca et al., 2017). El estudio sobre el dispositivo CIDR-S en ovejas determinó que la liberación de progesterona disminuye progresivamente tras la inserción, alcanzando un pico inicial de 2,8 ng/ml en ovejas ovariectomizadas que cae a 0,3 ng/ml hacia el día 30, mientras que en ovejas cíclicas los niveles son superiores debido al aporte lúteo natural. Esta carga hormonal exógena es capaz de inhibir el estro y la ovulación de forma efectiva durante un periodo de 27 a 31 días; sin embargo, a partir de ese momento la eficacia disminuye, permitiendo primero ovulaciones silenciosas y, finalmente, el retorno del estro con ovulación normal entre los días 38 y 45 del experimento (Carlson et al., 1989). Tras el retiro

del dispositivo se produce una caída abrupta de progesterona que permite la reactivación del eje hipotálamo-hipófisis-ovario. Como consecuencia aumenta la frecuencia de pulsos de LH, favoreciendo el crecimiento final del folículo dominante y la posterior ovulación (Viñoles et al., 2023). La administración simultánea de eCG al retiro del CIDR estimula el crecimiento folicular y mejora la sincronía ovulatoria, particularmente durante el anestro estacional (Abecia et al., 2020).

4.4.2 Duración del tratamiento (5, 7, 9, 12 días) y sus efectos

Tradicionalmente los protocolos de sincronización utilizaban tratamientos de 12 a 14 días. Sin embargo, investigaciones recientes han demostrado que tratamientos prolongados pueden favorecer el desarrollo de folículos persistentes asociados con menor fertilidad (Viñoles et al., 2001). Los protocolos cortos de 5 a 7 días permiten una mejor sincronización folicular, reducen el tiempo de exposición a progesterona y mejoran la calidad ovocitaria. Como consecuencia, suelen generar tasas de gestación iguales o superiores a las observadas con protocolos largos (Menchaca et al., 2017). Para sincronizar el celo en ovejas de carne, se ha comprobado que el uso de dispositivos intravaginales (CIDR) durante cinco días funciona de forma excelente tanto si se complementa con la hormona tradicional (eCG) como con una alternativa (GnRH). Aunque las ovejas que reciben la hormona tradicional suelen entrar en celo un poco antes, el tratamiento con dos dosis de GnRH logra que el grupo ovule de manera mucho más agrupada y uniforme. En definitiva, ambos métodos son igual de fiables para asegurar que casi todas las hembras (alrededor del 90%) estén listas para la reproducción al mismo tiempo. (Martinez et al., 2019).

Los protocolos cortos de 5 a 7 días con dispositivos CIDR permiten sincronizar la reproducción de las ovejas sin necesidad de recurrir a hormonas adicionales como la eCG. El uso del dispositivo por sí solo induce la limpieza de los ovarios al eliminar los folículos viejos y estimular el crecimiento de otros nuevos y sanos que están listos para la ovulación justo al terminar el tratamiento. De esta manera, se confirma que es posible lograr que las hembras entren en celo y sean fértiles de forma natural y eficiente tras retirar el inserto (Martinez et al., 2019). Los tratamientos intermedios de 7 y 9 días representan actualmente una de las estrategias más utilizadas debido a su equilibrio entre control endocrino y eficiencia reproductiva (Ungerfeld y Rubianes, 2018). Diversos estudios reportan tasas de gestación superiores al 60 % mediante inseminación laparoscópica cuando se utilizan protocolos cortos combinados con eCG (González-Bulnes et al., 2020).

4.4.3 Respuesta ovárica y control del folículo dominante

Uno de los principales beneficios de los protocolos basados en progesterona es el control de la dinámica folicular. La supresión temporal de LH provoca la regresión de folículos envejecidos y favorece la emergencia de nuevas ondas foliculares (Bartlewski et al., 2011). La sincronización de una nueva onda folicular permite que la mayoría de las hembras ovulen folículos de edad similar, reduciendo la variabilidad en el momento de la ovulación y mejorando la fertilidad posterior (Viñoles et al., 2001). La calidad del folículo preovulatorio se encuentra estrechamente relacionada con la producción de estradiol, la competencia ovocitaria y la posterior funcionalidad del cuerpo lúteo (Scaramuzzi et al., 2013).

Durante el uso de los dispositivos CIDR, los ovarios de las ovejas mantienen una actividad constante, aunque bajo un control hormonal específico. La progesterona liberada impide que la oveja ovule antes de tiempo al frenar la señal necesaria para este proceso, lo que provoca que los folículos que estaban creciendo se detengan o se renueven. Así, mientras el dispositivo está colocado, el sistema reproductivo se mantiene en una especie de pausa controlada donde los folículos viejos dejan paso a otros nuevos, esperando el momento justo de la retirada para completar su desarrollo de forma sincronizada. (Barrett et al., 1998).

4.4.4 Ventajas y desventajas del uso de CIDR

Entre las principales ventajas del CIDR destacan su alta eficacia reproductiva, facilidad de aplicación, baja incidencia de vaginitis y excelente sincronización de la ovulación (Menchaca et al., 2017). Asimismo, estos dispositivos permiten trabajar tanto durante la estación reproductiva como en periodos de anestro, especialmente cuando se combinan con eCG (Abecia et al., 2020). Entre las desventajas se encuentran su costo relativamente elevado, la necesidad de manejo individual de las hembras y la posible reducción de la respuesta cuando se reutilizan excesivamente (Ungerfeld y Rubianes, 2018). Los dispositivos CIDR de cinco días son una herramienta clave para activar el ciclo reproductivo en ovejas, especialmente en épocas donde naturalmente no entrarían en celo o durante los periodos de transición estacional. Dado que los métodos convencionales a veces solo funcionan en hembras que ya están ciclando, el uso de progesterona combinada con otras hormonas (como GnRH y PG) ayuda a "despertar" el sistema

reproductivo de todo el grupo. El objetivo de aplicar estos protocolos es agrupar los celos de forma más rápida y asegurar mejores resultados en cuanto a embarazos, partos y número de corderos nacidos, facilitando así una producción constante de animales durante todo el año.

El uso del dispositivo CIDR durante cinco días demostró ser efectivo para adelantar la aparición del celo y concentrar las fechas de parto, tanto en la temporada de transición como en la reproductiva. Sin embargo, añadir hormonas adicionales como GnRH y PG a este protocolo de corta duración no supuso una mejora real en los resultados finales. En definitiva, aunque el dispositivo cumple su función de agrupar los eventos reproductivos, no parece cambiar de forma significativa los indicadores de rendimiento que más interesan a los productores comerciales. (Jackson et al., 2014)

4.4.5 Resultados reproductivos reportados en ovejas

Diversos estudios han reportado tasas de gestación entre 50 y 80 % mediante inseminación laparoscópica utilizando protocolos basados en CIDR y eCG. Estas diferencias dependen de factores relacionados con la raza, estación reproductiva, calidad seminal y experiencia del operador (Salamon y Maxwell, 2000). En ovejas sincronizadas con CIDR durante 5 a 7 días, la fertilidad frecuentemente supera la obtenida mediante tratamientos tradicionales de 12 a 14 días debido a una mejor calidad folicular (Menchaca et al., 2017). Investigaciones realizadas en razas de aptitud cárnica y lechera han demostrado que la sincronización eficiente de la ovulación constituye uno de los factores más importantes para alcanzar tasas elevadas de gestación (González-Bulnes et al., 2020).

Los protocolos de sincronización del estro basados en el uso de dispositivos intravaginales de progesterona (CIDR) mejoran significativamente la eficiencia reproductiva en ovinos, registrando elevados índices de fertilidad, preñez y manifestación de celo cuando se implementan de forma correcta. Particularmente, los tratamientos de corta duración —como los de seis días— logran que entre el 93 % y el 100 % de las hembras entren en estro y alcancen tasas de gestación próximas al 80 %, efectividad que se mantiene incluso al emplear dispositivos reutilizados. De este modo, estas estrategias hormonales no solo garantizan un óptimo rendimiento reproductivo en el rebaño, sino que también se consolidan como una alternativa económicamente rentable para los sistemas de producción ovina (López et al.,2023)

4.5 Uso de prostaglandinas ($\text{PGF}_2\alpha$) en sincronización

La $\text{PGF}_2\alpha$ es ampliamente utilizada para inducir la regresión del cuerpo lúteo en ovejas cíclicas. Su aplicación permite reducir las concentraciones de progesterona endógena y promover el reinicio de una nueva fase folicular (McCracken et al., 1999). Los protocolos basados exclusivamente en $\text{PGF}_2\alpha$ presentan la ventaja de evitar el uso de dispositivos intravaginales, reduciendo costos y simplificando el manejo (Gordon, 2017).

La actividad reproductiva en las ovejas está regulada por dos patrones de secreción de la hormona luteinizante (LH): uno tónico y continuo que maneja las fases folicular y lútea, y otro que genera un pico preovulatorio responsable de inducir la ovulación y la luteinización, destacando además que la progesterona actúa como un potente

inhibidor de dicha secreción tónica. Para controlar y sincronizar el estro en hembras cíclicas dentro de los programas de asistencia reproductiva, los tratamientos hormonales resultan claves, siendo el uso de prostaglandina f2a(PGF₂a) una de las alternativas más comunes debido a su capacidad para provocar la regresión del cuerpo lúteo e interrumpir la fase progestacional. Esta inducción de la luteólisis imita el proceso natural y restablece el ciclo estral en diversas especies como la ovina, la bovina y la caprina, consolidándose como un método eficiente para coordinar el celo en los rebaños (Velásquez et al., 2025). Sin embargo, su eficacia depende de la presencia de un cuerpo lúteo funcional sensible a la acción luteolítica de la prostaglandina, por lo que no son adecuados para hembras en anestro profundo (Abecia et al., 2012).

4.5.1 Mecanismo luteolítico de la PGF₂α

La PGF₂α induce vasoconstricción y apoptosis de las células luteales, provocando una disminución progresiva en la producción de progesterona. Como consecuencia se reactiva la liberación de GnRH y LH, permitiendo el crecimiento folicular y la ovulación posterior (McCracken et al., 1999). Este mecanismo constituye la base fisiológica de numerosos protocolos de sincronización utilizados en pequeños rumiantes (Wiltbank et al., 2015). Los análogos de la prostaglandina PGF₂α se emplean de manera habitual para sincronizar el estro e inducir la ovulación en ovejas cíclicas, ya que esta hormona provoca la regresión o luteólisis del cuerpo lúteo (CL) entre los días 3 y 13 posteriores a la ovulación. No obstante, este tratamiento pierde efectividad entre los días 0 y 2 del ciclo debido a la falta de

respuesta del CL, así como del día 14 al 17, etapa en la que el cuerpo lúteo ya experimenta una luteólisis espontánea. Por este motivo, con el fin de asegurar una sincronización óptima del celo y la ovulación en el rebaño, el protocolo estándar consiste en administrar dos dosis luteolíticas de $\text{PGF}_2\alpha$ espaciadas por un intervalo aproximado de 9 días (Liu et al., 2006)

4.5.2 Protocolos de doble aplicación

Debido a que no todas las ovejas poseen un cuerpo lúteo funcional al momento de la primera aplicación, los protocolos de doble dosis de $\text{PGF}_2\alpha$ administradas con intervalos de 7 a 11 días permiten aumentar la proporción de hembras susceptibles a la luteólisis (Gordon, 2017). La segunda aplicación garantiza que la mayoría de las ovejas se encuentren en una etapa sensible del ciclo estral, mejorando la sincronización del estro y la ovulación (Menchaca et al., 2017).

4.5.3 Tipos de inseminación artificial en ovejas y cabras

La eficiencia de esta técnica depende en gran medida del sitio de deposición del semen, el tipo de semen utilizado (fresco, refrigerado o congelado) y las características anatómicas del tracto reproductor de la hembra (Aigl et al., 2011).

La inseminación artificial cervical es la técnica más sencilla y económica, ya que consiste en depositar el semen en la entrada o en los primeros anillos del cérvix mediante el uso de un espéculo vaginal. Este método es ampliamente utilizado cuando se emplea semen fresco o refrigerado, debido a que presenta menores requerimientos técnicos y de equipamiento. Sin embargo, en la especie ovina su

eficiencia suele verse limitada por la anatomía compleja del cérvix, caracterizada por múltiples anillos cervicales irregulares que dificultan el avance de la pipeta de inseminación y reducen el transporte espermático hacia el sitio de fecundación (Gibbons et al., 2019). Como consecuencia, las tasas de gestación obtenidas con semen congelado suelen ser bajas y variables.

Con el propósito de superar estas limitaciones, se desarrolló la inseminación artificial transcervical, técnica que busca atravesar parcial o totalmente el cérvix para depositar el semen en la porción más profunda del canal cervical o directamente en el útero. Esta metodología ha mostrado resultados prometedores principalmente en cabras, donde la anatomía cervical es menos restrictiva que en ovejas. Los avances en el diseño de instrumental especializado y en las técnicas de manipulación cervical han permitido incrementar la profundidad de penetración y mejorar las tasas de gestación, convirtiéndola en una alternativa menos invasiva que la laparoscopia (Fonseca y Rodrigues, 2024; Sringam et al., 2026). No obstante, en ovejas la técnica continúa presentando dificultades debido a la complejidad anatómica del cérvix.

Por otra parte, la inseminación artificial laparoscópica es considerada actualmente el método de referencia o “gold standard” para la utilización de semen congelado en pequeños rumiantes. Esta técnica consiste en depositar directamente el semen en los cuernos uterinos mediante el uso de un laparoscopio y equipo quirúrgico especializado. Al evitar completamente la barrera cervical, se obtienen mayores tasas de fertilidad y gestación en comparación con las técnicas cervicales y transcervicales. Diversos estudios han reportado porcentajes de gestación que oscilan entre 60 y 75 % cuando se utiliza semen congelado-descongelado, lo que

ha favorecido su adopción en programas intensivos de mejoramiento genético ovino y caprino (Sathe, 2018; Gibbons et al., 2019; Kang et al., 2025). Sin embargo, su principal limitante radica en el costo del equipo, la necesidad de personal capacitado y la realización de un procedimiento mínimamente invasivo.

En conjunto, las técnicas cervical, transcervical y laparoscópica representan alternativas válidas para la aplicación de programas de inseminación artificial en ovejas y cabras. La elección de una u otra dependerá de factores como el tipo de semen disponible, los recursos económicos, la capacitación del personal y los objetivos productivos de cada sistema de producción.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Localización del estudio

La investigación se realizó en una unidad de producción ovina comercial ubicada en el municipio de Gómez Palacio, Durango, México (25°37'2" N, 103°23'7" O), región caracterizada por un clima seco semicálido con una precipitación media anual inferior a 250 mm y temperaturas que oscilan entre 5 y 42 °C.

Todos los procedimientos experimentales fueron evaluados y aprobados por el Cuerpo Colegiado de Investigación de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro-Unidad Laguna, bajo el número de aprobación 38111-425501002-2786-2024. Asimismo, se siguieron los lineamientos establecidos por la Norma Oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999 para el uso y cuidado de animales de laboratorio y las recomendaciones internacionales para el bienestar animal.

5.2 Animales experimentales

Se utilizaron 20 ovejas multíparas de raza Dorper con edades comprendidas entre 2 y 4 años y condición corporal promedio de 3.0 ± 0.5 puntos en una escala de 1 a 5.

Previo al inicio del experimento, todas las hembras fueron sometidas a una evaluación clínica general y reproductiva mediante ultrasonografía transrectal para descartar alteraciones uterinas u ováricas y verificar la presencia de actividad ovárica cíclica. Los animales permanecieron bajo las mismas condiciones de manejo, alimentación y sanidad durante todo el periodo experimental.

5.3 Diseño experimental

Las ovejas fueron distribuidas en dos grupos experimentales. Un primer grupo (CIDR-eCG; $n = 10$) recibió un dispositivo intravaginal liberador de progesterona (CIDR® Ovis, Zoetis, Ciudad de México, México) durante siete días. Tras la retirada del dispositivo, las hembras fueron tratadas con una dosis intramuscular de 5 mg de $\text{PGF}_2\alpha$ (Lutalyse®, Zoetis, Ciudad de México, México) y 200 UI de eCG (GonActive®, Virbac, Zapopan, México). Un segundo grupo ($\text{PGF}_2\alpha$ -eCG; $n = 10$) recibió dos dosis intramusculares de 5 mg de $\text{PGF}_2\alpha$ administradas con siete días de intervalo; adicionalmente, el día de la segunda aplicación se administraron 200 UI de eCG. Todas las ovejas fueron inseminadas por laparoscopia entre las 54 y 56 h posteriores a la finalización de los tratamientos hormonales.

3.4 Obtención y evaluación seminal.

5.4 Obtención y manejo del semen

El semen fue colectado mediante vagina artificial de sementales Dorper previamente entrenados y con fertilidad comprobada. Únicamente se utilizaron eyaculados que cumplieron los siguientes parámetros mínimos: Volumen ≥ 0.75 mL. Concentración $\geq 3 \times 10^9$ espermatozoides/mL. Motilidad masal $\geq 70\%$. Posteriormente las muestras fueron diluidas en proporción 2:1 utilizando diluyente comercial Optydil® 2 y mantenidas a 37 °C hasta su utilización.

5.5 Inseminación artificial laparoscópica

Previo a la inseminación, las ovejas fueron sometidas a ayuno de alimento y agua durante 12 horas. Las hembras fueron sedadas y colocadas en posición

Trendelenburg (40–45°). Posteriormente se realizó la preparación quirúrgica de la región abdominal y se administró anestesia local infiltrativa con lidocaína. Mediante laparoscopia se introdujeron dos trocares laterales a la línea media abdominal, aproximadamente 5 cm craneales a la glándula mamaria. La cavidad peritoneal fue insuflada con dióxido de carbono para facilitar la visualización de los cuernos uterinos. El semen fresco fue depositado directamente en la luz de ambos cuernos uterinos utilizando una pipeta de inseminación conectada a una jeringa de 1 mL.

5.6 Variables reproductivas evaluadas

5.6.1 Tasa de ovulación y tamaño del cuerpo lúteo

La evaluación de la respuesta ovulatoria se realizó mediante ultrasonografía transrectal utilizando un equipo de tiempo real equipado con un transductor lineal multifrecuencia de 7.5 MHz. La presencia de uno o más cuerpos lúteos funcionales en los ovarios fue considerada como evidencia de ovulación. Durante la misma exploración ultrasonográfica se registró el número de cuerpos lúteos presentes por oveja y se determinó el diámetro del cuerpo lúteo de mayor tamaño mediante la medición de su diámetro transversal utilizando las herramientas de medición incorporadas en el equipo de ultrasonido. Los resultados fueron expresados como porcentaje de ovejas ovuladas y tamaño promedio del cuerpo lúteo (mm).

5.6.2 Diagnóstico de gestación

La tasa de gestación fue determinada mediante ultrasonografía transrectal a los 35 días posteriores a la inseminación artificial a tiempo fijo. Se consideró como oveja gestante aquella en la que se observó la presencia de una o más vesículas embrionarias viables con estructuras fetales identificables y actividad cardíaca

positiva. Los resultados fueron expresados como porcentaje de ovejas gestantes respecto al total de hembras inseminadas.

5.6.3 Prolificidad

La prolificidad se determinó durante el diagnóstico de gestación mediante el conteo del número total de embriones observados en cada oveja gestante. Posteriormente, se calculó el promedio de embriones por oveja gestante para cada tratamiento experimental mediante la siguiente fórmula: Prolificidad = Número total de embriones / Número de ovejas gestantes.

5.6.4 Fecundidad

La fecundidad se utilizó como un indicador de la eficiencia reproductiva global de cada tratamiento y fue calculada considerando el número total de embriones obtenidos respecto al número total de ovejas inseminadas. Para ello se utilizó la siguiente ecuación: Fecundidad (%) = (Número total de embriones / Número total de ovejas inseminadas) $\times$ 100.

Este parámetro permitió integrar simultáneamente la capacidad de gestación y la prolificidad obtenida en cada uno de los protocolos hormonales evaluados.

5.7 Análisis estadístico

Los datos fueron analizados mediante estadística descriptiva. Las variables porcentuales fueron comparadas mediante prueba de Chi-cuadrada y las variables continuas mediante prueba t de Student. Las diferencias fueron consideradas significativas cuando $P < 0.05$.

VI. Resultados

La respuesta ovulatoria fue elevada en ambos tratamientos. El grupo CIDR presentó una tasa de ovulación del 100% (10/10), mientras que el grupo $\text{PGF}_2\alpha$ registró una respuesta del 90% (9/10).

No se observaron diferencias significativas en el tamaño del cuerpo lúteo entre tratamientos ($P > 0.05$). Las ovejas tratadas con CIDR presentaron cuerpos lúteos de 10.61 ± 0.46 mm, mientras que las tratadas con $\text{PGF}_2\alpha$ mostraron un promedio de 11.02 ± 0.34 mm.

En relación con la tasa de gestación, el protocolo basado en CIDR produjo una respuesta numéricamente superior, alcanzando un 70% (7/10) de ovejas gestantes, comparado con el 40% (4/10) observado en el grupo $\text{PGF}_2\alpha$. Sin embargo, estas diferencias no fueron estadísticamente significativas ($P > 0.05$).

Respecto a la prolificidad, las ovejas sincronizadas con $\text{PGF}_2\alpha$ presentaron un promedio de 2.75 embriones por oveja gestante, mientras que el grupo CIDR obtuvo 1.86 embriones por oveja gestante. La fecundidad fue de 130% para el tratamiento CIDR y de 110% para el tratamiento $\text{PGF}_2\alpha$.

Cuadro 1 Parámetros reproductivos obtenidos en ovejas Dorper inseminadas por laparoscopia.

Grupos	CIDR	PGF
Ovulación (%)	100 (10/10)	90 (9/10)
Tamaño del cuerpo lúteo (mm)	10.61±0.46	11.02±0.34
Gestación (%)	70 (7/10)	40(4/10)
Embriones (n)	13	11
*Prolificidad (n)	1.86	2.75
**Fecundidad (%)	130.00	110.00

*(número de embriones/número de ovejas gestantes).

** (número de embriones/hembras inseminadas X 100).

VII. Discusión

Los resultados obtenidos demuestran que ambos protocolos fueron efectivos para inducir la actividad ovárica, alcanzando tasas de ovulación de 100 % y 90 % para los tratamientos CIDR-eCG y PGF₂α-eCG, respectivamente. Estos resultados coinciden con lo reportado por Menchaca y Rubianes (2004), quienes señalan que la combinación de tratamientos hormonales con eCG favorece el crecimiento folicular y la sincronización de la ovulación.

La elevada respuesta observada en el grupo PGF₂α-eCG puede atribuirse a la capacidad luteolítica de la prostaglandina F₂α, la cual provoca la regresión del cuerpo lúteo y el reinicio de la actividad folicular. Piper et al. (1970) demostraron que la PGF₂α es rápidamente metabolizada durante su paso por la circulación pulmonar, razón por la cual se requieren protocolos de doble aplicación para garantizar una luteólisis efectiva. Asimismo, Maia et al. (2017) reportaron que dos aplicaciones de PGF₂α separadas por siete días sincronizan eficientemente el estro y la ovulación en hembras cíclicas.

Aunque no se detectaron diferencias estadísticas en la tasa de gestación, el grupo CIDR-eCG presentó una respuesta numéricamente superior (70 vs. 40 %). Este comportamiento coincide con lo reportado por Cueto et al. (2020), quienes observaron mayores tasas de gestación en ovejas sincronizadas con progestágenos más eCG en comparación con protocolos basados únicamente en prostaglandinas. La mayor eficiencia del CIDR se atribuye al mejor control de las ondas foliculares y a una sincronización más precisa de la ovulación.

Por otra parte, la mayor prolificidad observada en el grupo $\text{PGF}_2\alpha$ -eCG (2.75 vs. 1.86 embriones por oveja gestante) podría estar relacionada con el efecto estimulante de la eCG sobre el crecimiento de múltiples folículos preovulatorios. Bukar et al. (2012) reportaron que la inclusión de eCG incrementa la respuesta estral y favorece un desarrollo folicular más uniforme, mientras que Guillén-Muñoz et al. (2025) demostraron que la administración de eCG al final de protocolos cortos con $\text{PGF}_2\alpha$ mejora la sincronización folicular y concentra la ovulación en un periodo más reducido.

En conjunto, los resultados indican que ambos protocolos constituyen alternativas viables para programas de inseminación artificial laparoscópica en ovejas. El protocolo CIDR-eCG mostró una tendencia hacia mayores tasas de gestación, mientras que el protocolo $\text{PGF}_2\alpha$ -eCG destacó por su mayor prolificidad y menor costo operativo. Sin embargo, debido al reducido número de animales utilizados, se requieren estudios con un mayor tamaño de muestra para confirmar estas diferencias.

VIII. Conclusión

De acuerdo con nuestros resultados podemos observar que los tratamientos de sincronización basados en la administración de CIDR vs PGF2, se encuentran dentro de los resultados obtenidos por otros investigadores, cuando se utiliza IATF. Sin embargo, es importante mencionar que en el tratamiento basado en la inserción de un dispositivo por 7 días más 200 UI de eCG al momento del retiro, se obtuvieron mayores porcentajes de ovejas gestantes, aunque la diferencia es solo numérica, puede significar una mayor ganancia en los productores de ganado ovino. Por lo cual es necesario realizar este tratamiento en un número mayor de ovejas para constatar dichos resultados.

IX. Revisión de literatura

- 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>
- Abecia, J. A., Palacín, I., Forcada, F., & Valares, J. A. (2020). Reproductive management in sheep and goats. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 36(1), 53–68. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2019.11.003>
- Aigl, V., Vass, N., Jávör, A., Kulcsár, M., Miridis, G., & Solti, L. (2011). Artificial insemination of small ruminants: A review. *Acta Veterinaria Hungarica*, 59(1), 115–129. <https://doi.org/10.1556/AVet.59.2011.1.11>
- Arroyo, J. (2011). Estacionalidad reproductiva de la oveja en México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(3), 829–845.
- Arroyo-Ledezma, J., De la Torre-Barrera, J., & Ávila-Serrano, N. Y. (2013). Respuesta reproductiva de ovejas de pelo sincronizadas con progesterona o prostaglandinas. *Agrociencia*, 47(7), 661–670.
- Ávila-Castillo, B. R., García-Flores, E. O., Molina-Mendoza, P., Peralta-Ortiz, J. J. G., & Sánchez-Torres-Esqueda, M. T. (2019). Sincronización del estro en ovejas de pelo mediante protocolo basado en prostaglandinas + GnRH. *CienciaUAT*, 13(2), 141–151.
- Barrett, D. M. W., Bartlewski, P. M., Batista-Arteaga, M., Symington, A., & Rawlings, N. C. (1998). Characterization of endocrine events after CIDR synchronization in sheep. *Domestic Animal Endocrinology*, 15(2), 87–100. [https://doi.org/10.1016/S0739-7240\(97\)00073-1](https://doi.org/10.1016/S0739-7240(97)00073-1)
- Bartlewski, P. M., Baby, T. E., & Giffin, J. L. (2011). Reproductive cycles in sheep. *Animal Reproduction Science*, 124(3–4), 259–268. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2011.02.024>
- Bukar, M. M., Yusoff, R., Haron, A. W., Dhaliwal, G. K., Goriman Khan, M. A., & Omar, M. A. (2012). Estrus response and follicular development in Boer does synchronized with flugestone acetate and PGF2 α or their combination with eCG or FSH. *Tropical animal health and production*, 44(7), 1505-1511.
- Campbell, B. K., Souza, C. J. H., & Webb, R. (2003). Control of follicular development and selection in sheep and cattle. *Journal of Reproduction and Fertility Supplement*, 61, 335–350.

- Carlson, K. M., Pohl, H. A., Marcek, J. M., Muser, R. K., & Wheaton, J. E. (1989). Evaluation of progesterone controlled internal drug release dispensers for synchronization of estrus in sheep. *Animal Reproduction Science*, 18(1–3), 205–218. [https://doi.org/10.1016/0378-4320\(89\)90078-9](https://doi.org/10.1016/0378-4320(89)90078-9)
- Catalano, R., González, C., Teruel, M., Cabodevila, J., & Callejas, S. (2005). Efecto del estado fisiológico y del porcentaje de raza Frisona sobre la respuesta reproductiva de ovejas en servicio de primavera. *InVet*, 7(1), 99–105.
- Cueto, M. I., Bruno-Galarraga, M. M., Fernandez, J., Fierro, S., & Gibbons, A. E. (2020). Addition of eCG to a 14 d prostaglandin treatment regimen in sheep FTAI programs. *Animal reproduction science*, 221, 106597.
- Driancourt, M. A. (2001). Regulation of ovarian follicular dynamics in farm animals: Implications for manipulation of reproduction. *Theriogenology*, 55(6), 1211–1239. [https://doi.org/10.1016/S0093-691X\(01\)00479-4](https://doi.org/10.1016/S0093-691X(01)00479-4)
- Fogarty, N. M. (2009). Genetic improvement of reproductive performance in sheep. *Animal Reproduction Science*, 112(1–2), 10–21. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2008.05.018>
- Forcada, F., González-Bulnes, A., Abecia, J. A., & Palacín, I. (2019). Current status of reproductive technologies in sheep. *Animals*, 9(12), 1037. <https://doi.org/10.3390/ani9121037>
- Gibbons, A. E., Cueto, M. I., & Wolff, M. (2019). Technical recommendations for artificial insemination in sheep. *Animal Reproduction*, 16(4), 803–809. <https://doi.org/10.21451/1984-3143-AR2019-0055>
- González-Bulnes, A., Menchaca, A., Martin, G. B., & Martínez-Ros, P. (2020). Seventy years of progestagen treatments for management of reproduction in sheep and goats. *Animals*, 10(1), 66. <https://doi.org/10.3390/ani10010066>
- González-Stagnaro, C., & Madrid-Bury, N. (2003). Aspectos característicos de la fisiología reproductiva de la oveja. *Revista Científica FCV-LUZ*, 13(2), 123–133.
- Gordon, I. (2017). *Controlled reproduction in sheep and goats* (2nd ed.). CABI Publishing.
- Guillen-Muñoz, J. M., Ortiz-Contreras, O., Hashem, N. M., Luna-García, L. A., Morales-Cruz, J. L., Guerrero-Gallego, H. Z., ... & Santos-Jimenez, 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.

Hafez, E. S. E., & Hafez, B. (2008). *Reproduction in farm animals* (7th ed.). Wiley-Blackwell.

Isla-Herrera, G., Aké-López, J. R., Ayala-Burgos, A., & González-Bulnes, A. (2010). Efecto de la condición corporal y la época del año sobre el ciclo estral, estro, desarrollo folicular y tasa ovulatoria en ovejas Pelibuey mantenidas en condiciones de trópico. *Veterinaria México*, 41(3), 167–175.

Jackson, C. G., Neville, T. L., Mercadante, V. R. G., Waters, K. M., Lamb, G. C., Dahlen, C. R., & Redden, R. R. (2014). Efficacy of various five-day estrous synchronization protocols in sheep. *Small Ruminant Research*, 120(1), 100–107. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2014.05.007>

Kenyon, P. R., Maloney, S. K., & Blache, D. (2014). Review of sheep body condition score and reproductive performance. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 57(1), 38–64. <https://doi.org/10.1080/00288233.2013.857698>

Liu, X., Dai, Q., Hart, E. J., Duggavathi, R., Barrett, D. M. W., Rawlings, N. C., & Bartlewski, P. M. (2006). Ovarian and endocrine responses to prostaglandin F2α given at the expected time of the endogenous FSH peak at mid-cycle in ewes. *Theriogenology*, 66(4), 811–821. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2006.01.057>

López-G., S., Sánchez-Torres, M. T., Cordero-Mora, J., Figueroa, J., Martínez-Aispuro, J., & Ríos, T. (2023). Sincronización de estros en ovejas mediante protocolo de 6 días con CIDR de primera, segunda y tercera reutilización. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 14(3), 610–621. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v14i3.6309>

Maia, A. L. R. S., Brandão, F. Z., Souza-Fabjan, J. M. G., Balaro, M. F. A., Oliveira, M. E. F., Facó, O., & Fonseca, J. F. (2017). Reproductive parameters of dairy goats after receiving two doses of d-cloprostenol at different intervals. *Animal Reproduction Science*, 181, 16-23.

Martínez-Ros, P., & González-Bulnes, A. (2019). Efficiency of CIDR-based protocols including GnRH instead of eCG for estrus synchronization in sheep. *Animals*, 9(4), 146. <https://doi.org/10.3390/ani9040146>

- Menchaca, A., & Rubianes, E. (2004). New treatments associated with timed artificial insemination in small ruminants. *Reproduction, Fertility and Development*, 16(4), 403–413. <https://doi.org/10.1071/RD04037>
- Noakes, D. E., Parkinson, T. J., & England, G. C. W. (2018). *Veterinary reproduction and obstetrics* (10th ed.). Elsevier.
- Pérez-Hernández, P., Vilaboa-Arroniz, J., Chalate-Molina, H., Martínez-Castro, B. C., Díaz-Rivera, P., & López-Ortiz, S. (2011). Análisis descriptivo de los sistemas de producción con ovinos en el estado de Veracruz, México. *Revista Científica*, 21(4), 327–334.
- Piper, P. J., Vane, J. R., & Wyllie, J. H. (1970). Inactivation of prostaglandins by the lungs. *Nature*, 225(5233), 600-604.
- Rosa, H. J. D., & Bryant, M. J. (2003). Seasonality of reproduction in sheep. *Small Ruminant Research*, 48(3), 155–171. [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(03\)00038-5](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(03)00038-5)
- Salamon, S., & Maxwell, W. M. C. (2000). Artificial insemination of sheep and goats. *Animal Reproduction Science*, 62(1–3), 211–232. [https://doi.org/10.1016/S0378-4320\(00\)00157-1](https://doi.org/10.1016/S0378-4320(00)00157-1)
- Sathe, S. R. (2018). Laparoscopic artificial insemination technique in small ruminants: A procedure review. *Frontiers in Veterinary Science*, 5, 266. <https://doi.org/10.3389/fvets.2018.00266>
- Uribe-Velásquez, L. F., Oba, E., Lenz-Souza, M. I., Vélez-Marín, M., & Correa-Orozco, A. (2010). Desarrollo folicular en ovejas durante el ciclo estral natural e inducido con prostaglandinas. *Revista Científica*, 20(4), 417–421.
- Viñoles, C., Forsberg, M., Banchemo, G., & Rubianes, E. (2001). Effect of long-term and short-term progestagen treatment on follicular development and pregnancy rate in cyclic ewes. *Theriogenology*, 55(4), 993–1004. [https://doi.org/10.1016/S0093-691X\(01\)00466-8](https://doi.org/10.1016/S0093-691X(01)00466-8)
- Wildeus, S. (2000). Current concepts in synchronization of estrus: Sheep and goats. *Journal of Animal Science*, 77(E-Suppl.), 1–14.
- Zelege, M., Greyling, J. P. C., Schwalbach, L. M. J., Muller, T., & Erasmus, J. A. (2005). Effect of progestagen and eCG treatment on fertility in sheep. *Small Ruminant Research*, 56(1–3), 47–53. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2004.04.01>

