



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

GANADERÍA

SINCRONIZACIÓN DE ESTROS MEDIANTE PROTOCOLOS LARGOS USANDO CIDR REUTILIZADOS Y DIFERENTES DOSIS DE eCG EN OVEJAS

SUSANA LÓPEZ GARCÍA

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

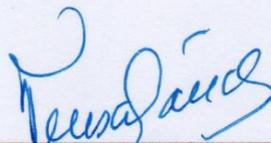
2020

La presente tesis titulada: **Sincronización de estros mediante protocolos largos usando CIDR reutilizados y diferentes dosis de eCG en ovejas** realizada por la alumna: **Susana López García** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GANADERÍA

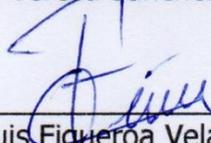
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERA



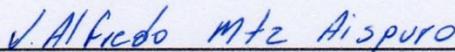
Dra. María Teresa Sánchez-Torres Esqueda

ASESOR



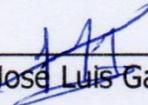
Dr. José Luis Figueroa Velasco

ASESOR



Dr. José Alfredo Martínez Aispuro

ASESOR



Dr. José Luis García Cué

Montecillo, Texcoco, Estado de México, 22 julio de 2020

SINCRONIZACIÓN DE ESTROS MEDIANTE PROTOCOLOS LARGOS USANDO CIDR REUTILIZADOS Y DIFERENTES DOSIS DE eCG EN OVEJAS

Susana López García, M. en C.

Colegio de Postgraduados, 2020

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue determinar el efecto de protocolos largos de sincronización de estros con dispositivos liberadores de progesterona CIDR reutilizados asociados a diferentes dosis de gonadotropina coriónica equina (eCG) sobre las variables reproductivas en ovejas primaras (Suffolk × Kathadin × Dorset). Los CIDR fueron utilizados en un estudio previo durante 11 días en ovejas del mismo rebaño, fueron lavados y desinfectados antes de su reutilización. Se utilizaron 64 ovejas en época reproductiva asignadas aleatoriamente en cuatro grupos experimentales (n=16). Los tratamientos fueron: CIDR10-300:10 días con CIDR reutilizado y 300 UI de eCG; CIDR10-400:10 días con CIDR reutilizado y 400 UI de eCG; CIDR12-300: 12 días con CIDR reutilizado y 300 UI de eCG; CIDR12-400:12 días con CIDR reutilizado y 400 UI de eCG. Se utilizó un diseño completamente al azar. El porcentaje de presentación de estro fue del 100% en los cuatro tratamientos. En cuanto al inicio del estro, índice de prolificidad, porcentaje de gestación, tasa de fertilidad y tipo de parto no presentaron diferencias entre tratamientos ($P>0.05$). La concentración de progesterona fue mayor ($P<0.05$) en ovejas del tratamiento CIDR10-300. En conclusión, los CIDR reutilizados por segunda vez asociados a 300 y 400 UI de eCG para la sincronización del estro en ovejas son efectivos para obtener buenos porcentajes de presentación de estros y de gestación. Así mismo, la adición de diferentes dosis de eCG al momento del retiro del CIDR causa efecto positivo en las principales variables reproductivas (presencia de estro, inicio de estro, índice de prolificidad y tipo de parto), es decir, con dosis de 400 UI mejoran los resultados en dichas variables, acortan el inicio de estro, aumentan el índice de prolificidad, y aumentan el porcentaje de partos dobles.

Palabras clave: CIDR reutilizado, estros, variables reproductivas.

ESTRUS SYNCHRONIZATION THROUGH LONG PROTOCOLS USING REUSED CIDR AND DIFFERENT DOSES OF eCG IN SHEEP

Susana López García, M en C.

Colegio de Postgraduados, 2020

ABSTRACT

The objective of the present study was to determine the effect of long estrous synchronization protocols with reused progesterone-releasing devices CIDR associated with different doses of equine chorionic gonadotropin (eCG) on the reproductive variables in primale ewes (Suffolk × Kathadin × Dorset). CIDRs were used in a previous study for 11 days in ewes from the same herd, CIDR were washed and disinfected before reuse. Sixty four ewes were used in the reproductive season, and were randomly assigned in four experimental groups (n = 16). The treatments were: CIDR10-300: 10 days with CIDR and 300 IU of eCG; CIDR10-400: 10 days with CIDR and 400 IU of eCG; CIDR12-300: 12 days reused CIDR and 300 IU of eCG; CIDR12-400: 12 days with CIDR and 400 IU of eCG. A completely randomized design was used. The estrus presentation percentage was 100% in the four treatments. Regarding the start of estrus, prolificacy index, pregnancy rate, fertility rate and type of delivery, there were no differences between treatments ($P > 0.05$). The progesterone concentration was higher ($P < 0.05$) in sheep from the CIDR10-300 treatment. In conclusion, the CIDR reused for the second time associated with 300 and 400 IU of eCG for the synchronization of estrus in sheep are effective in obtaining higher percentages of estrous presentation and gestation. Likewise, the addition of different doses of eCG at the time of CIDR withdrawal causes a positive effect on the main reproductive variables (presence of oestrus, onset of oestrus, prolificity index and type of delivery), that is, with doses of 400 IU of eCG improve the results in these variables, shorten the onset of estrus, increase the prolificacy index, and increase the percentage of twin births.

Key words: reused CIDR, estrus, reproductive variables

A Dios

A mis amados padres **Eusebio** y **Susana** que han sido un ejemplo de vida, amor y apoyo.

Con amor a mi esposo **Roy** y a mis hijas **Ámbar** y **Jade** por ser quienes me impulsan a seguir mis metas brindadome todo el apoyo, paciencia y comprensión en cada momento.

A mis hermanas **Norma** y **Eugenia** por estar al pendiente, porque cada alegría en la familia es compartida.

AGRADECIMIENTOS

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT)** por haber financiado mis estudios de maestría y al **Colegio de Postgraduados** por creer en mí y darme la oportunidad de estar en una excelente institución que no únicamente contribuyó a mi formación profesional, sino que me deja experiencias muy gratas.

A mi consejera, la **Dra. María Teresa Sánchez-Torres Esqueda**; Por compartir su conocimiento, por su paciencia y por que a pesar de las adversidades ha invertido tiempo y dedicación a la realización de la presente investigación y por apoyarme en cada momento de mi formación académica hasta culminar mis estudios de maestría.

A mi asesor, el **Dr. José Luis Figueroa Velasco**; por formar parte de mi consejo, por el tiempo dedicado en la revisión del escrito, sus valiosos consejos y aportaciones que contribuyeron a mejorar el contenido de la presente tesis.

A mi asesor, el **Dr. José Luis García Cué**; por ser parte de mi consejo, por el tiempo de trabajo invertido y por toda su paciencia al guiarme durante el desarrollo de los análisis estadísticos, por que me enseñó que no debo dudar en hacer lo correcto y por animarme a seguir adelante.

A mi asesor, el **Dr. José Alfredo Martínez Aispuro**; por estar en mi consejo particular, por estar dispuesto a ayudar y estar al pendiente del desarrollo de esta investigación, por sus puntuales observaciones respecto a la mejora del escrito y dedicar tiempo a la revisión del mismo.

A la **Dra. Ma. Guadalupe Bravo Vinaja** sinodal de mi consejo particular, por su tiempo y apoyo brindado.

Al **MVZ. José Luis Cordero Mora**; por su compromiso, dedicación y paciencia durante el desarrollo de la fase experimental de la presente investigación. Por sus consejos y sus enseñanzas.

Al **Biol. Mario Cárdenas** por su importante aportación en los análisis hormonales y por dedicar tiempo a una parte muy importante de este trabajo.

Al **Dr. Royman Montejo Córdova** por ser mi compañero y apoyo en los momentos difíciles, por su paciencia, desvelos y por su inestimable contribución en este trabajo.

A **Israel Martínez Cruz, Sofi, Yaina Ivanova y Mariam**; por su amistad y su valiosa colaboración y compañerismo durante el trabajo de campo.

A todos los profesores del Colegio de Postgraduados que están dispuestos a compartir sus conocimientos en aulas, a brindarnos sus consejos, anécdotas y amistad.

CONTENIDO

RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
LISTA DE CUADROS	xi
LISTA DE FIGURAS	xii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Generalidades.....	3
2.1.1 Situación global de la producción ovina	3
2.1.2 Producción ovina en México.....	4
2.2 Razas ovinas en México	6
2.3 El ciclo reproductivo en ovejas.....	8
2.3.1 Ciclo estral	8
2.3.2 Hormonas reproductivas en el ciclo estral	9
2.3.2.1 Hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH)	9
2.3.2.2 Gonadotropinas.....	10
2.3.2.3 Estradiol (E ₂).....	11
2.3.2.4 Progesterona (P ₄).....	11
2.3.2.5 Prostaglandina F _{2α} (PGF _{2α}).....	12
2.3.3 Foliculogénesis.....	12
2.3.4 Dinámica folicular.....	14
2.3.5 Ovulación	16
2.3.6 Cuerpo lúteo.....	17
2.3.7 Estacionalidad en ovejas	18
2.3.8 Fotoperiodo y melatonina	18
2.4 Métodos hormonales para sincronización de estros	20
2.4.1 Progesterona y análogos.....	21
2.4.1.1 Esponjas vaginales.....	22

2.4.1.2 CIDR (Controlled Internal Drug Release).....	23
2.4.2 Gonadotropina coriónica equina (eCG)	24
2.4.3 Prostaglandinas	25
2.5 Protocolos hormonales de sincronización más utilizados en ovinos	26
2.5.1 Prostaglandina + efecto macho	26
2.5.2 Progesterona + eCG	26
2.5.3 Progesterona + prostaglandina	27
2.5.4 Progesterona + prostaglandina + eCG	27
2.6 Antecedentes del uso de CIDR reutilizado	28
3. OBJETIVOS	30
3.1 Objetivo general.....	30
3.2 Objetivos específicos	30
4. HIPÓTESIS	31
5. JUSTIFICACIÓN	32
6. MATERIALES Y MÉTODOS.....	34
6.1 Localización del área de estudio.....	34
6.2 Grupo experimental	34
6.3 Tratamientos	34
6.4 Procedimiento de sincronización de estros.....	35
6.5 Detección de estros	36
6.6 Diagnóstico de gestación y partos	36
6.7 Perfil hormonal	36
6.8 Variables de respuesta	37
6.9 Análisis estadístico	38
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	41
7.1 Presencia de estro.....	41
7.2 Inicio de estro.....	41
7.3 Tasa de gestación y tasa de fertilidad	43
7.5 Índice de prolificidad y Tipo de parto	45
7.6 Concentración de Progesterona (P ₄) en plasma.....	46
7.6.1 Análisis mixto	46

7.6.2 Análisis mixto con arreglo factorial 2×2.....	50
8. CONCLUSIONES.....	52
9. IMPLICACIONES Y RECOMENDACIONES.....	53
10. LITERATURA CITADA.....	54
ANEXOS.....	66
Anexo A.....	66
Anexo D. Comportamiento de la concentración de P4 en suero sanguíneo en los animales muestreados.....	69

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Designación de tratamientos de acuerdo a los días de permanencia intravaginal de CIDR reutilizado y dosis de eCG.....	34
Cuadro 2. Respuesta tasa de gestación y tasa de fertilidad	44
Cuadro 3. Resultados obtenidos en las variables índice de prolificidad y tipo de parto	45
Cuadro 4. Test error tipo 3 de efectos fijos del análisis mixto.....	47
Cuadro 5. Medias de mínimos cuadrados aplicando la prueba de Tukey- Kramer ajustada y errores estándar de la variable niveles de progesterona (P ₄).....	48
Cuadro 6. Test error tipo 3 de efectos fijos del análisis mixto con arreglo factorial 2×2	50

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Resumen de la producción nacional de carne en canal producción pecuaria 2019.....	4
Figura 2. Principales estados productores de canal de ovino en México.	5
Figura 3. Predominio de razas ovinas en las regiones productoras de México.	7
Figura 4. Ilustración de un modelo de crecimiento folicular.	13
Figura 5. Oleadas foliculares que ocurren durante el ciclo estral de la oveja.....	15
Figura 6. Protocolo de sincronización de estros	35
Figura 7. Proporción de ovejas con presencia de estro a partir de 24 horas posteriores al retiro de CIDR y aplicación de eCG.	42
Figura 8. Comportamiento de los niveles de P ₄ a través del tiempo, análisis de medidas repetidas.	49

1. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas la reproducción en pequeños rumiantes puede ser controlada por diversos protocolos de sincronización. Algunos de estos métodos involucran la administración de hormonas que modifican la cadena de eventos durante el ciclo estral (Lozano-González *et al.*, 2012). El uso de progesterona o sus análogos simulan la fase lútea del ciclo estral de la oveja, en donde el cuerpo lúteo produce progesterona. Los niveles de progesterona circulante imitan la presencia del cuerpo lúteo, de esta manera, al ser retirado el estímulo de progesterona o progestágeno, los niveles de esta hormona bajan, se elevan los niveles de estradiol eliminando la retroalimentación negativa en hipófisis y aumentando los niveles de LH que estimula la presencia de estro y ovulación. Por otra parte, la eCG o gonadotropina coriónica equina mejora el rendimiento reproductivo mediante la inducción de la superovulación, provocando altas tasas de gestación, así como una reducción del intervalo a estro posterior al retiro de la progesterona (Hasani *et al.*, 2018).

Uno de los métodos más eficientes para sincronización e inducción a estro es el dispositivo intravaginal a base de progesterona CIDR (Swelum *et al.*, 2018a) diseñado en Nueva Zelanda en la década de los 90's, construido con un elastómero de silicona que contiene 0.3 g de progesterona natural (Viñoles *et al.*, 2001). Los protocolos de sincronización de 12 a 14 días a base de CIDR se complementan con una inyección de gonadotropina coriónica equina (eCG) al momento de la retirada de los dispositivos (Abecia *et al.*, 2011).

El alto costo de los CIDR es un factor limitante para su utilización en la sincronización e inducción de estros (Silva *et al.*, 2014) por lo cual se han planteado diversos estudios con CIDR reutilizados; en Brasil, Bazzan *et al.* (2013) y Silva *et al.* (2014) han trabajado con protocolos cortos de 6 días, reutilizando el CIDR hasta tres veces asociados con 0.263 mg de prostaglandina y 250 UI de eCG en ovejas Texel, obteniendo parámetros reproductivos similares en los tres usos (presencia de estros mayor al 90% y tasa de gestación de al menos 60% utilizando monta natural). Pinna *et al.* (2012) utilizaron CIDR hasta 3 veces en protocolos de 5 días y 300 UI de eCG, obteniendo 92.9% de estros en el primer y segundo uso y 100% en el tercero, así como una tasa de gestación variable (42.9-61.5%) inseminando con semen fresco. En Uruguay, Vilariño *et*

al. (2013) utilizaron protocolos de 6 días en ovejas Corriedale, reutilizando los CIDR hasta 3 veces y aplicando 300 UI de eCG al retiro del CIDR. En Arabia Saudita, Swelum *et al.* (2018b) compararon variables reproductivas al utilizar protocolos de 6 días reutilizando CIDR hasta cinco veces, obteniendo resultados satisfactorios hasta la segunda reutilización.

El objetivo de este estudio fue determinar el tratamiento de sincronización que ofrece mejor respuesta sobre variables reproductivas en ovejas a partir de cuatro combinaciones entre los días de permanencia de CIDR reutilizado (10 y 12 días) y las dosis de gonadotropina coriónica equina (300 y 400 UI).

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Generalidades

2.1.1 Situación global de la producción ovina

La oveja doméstica (*Ovis aries*) es descendiente del muflón asiático. Una vez domesticada se diseminó al oeste de África (Aguilar–Martínez *et al*, 2017), posteriormente se extendió a Europa y por último al continente americano. Es una especie con extensa distribución y por lo tanto existe gran diversificación debido a la selección intensiva para su adaptación a ambientes locales y diferentes propósitos de producción. Se estiman aproximadamente 1,400 razas de ovejas alrededor del mundo (FAO, 2015).

La producción mundial de ovino (8.6 millones de toneladas aproximadamente) se centra en unas pocas zonas del mundo: China (24.2%), Australia y Nueva Zelanda (12.9%), el mundo islámico desde Sudán (3.8%), Turquía (3.4%), Argelia (3.3%) hasta la India (2.8%) y el sur de Rusia (2%) (FAOSTAT, 2017).

El consumo de carne de ovino se ha incrementado en China, Argelia, Afganistán y Nigeria, siendo China el principal consumidor de carne de cordero del mundo con alrededor de 4 millones de toneladas al año, lo que representa cerca del 30% del total del consumo mundial, mientras que la Unión Europea, Australia, Nueva Zelanda y Estados Unidos son regiones con tendencia decreciente de la demanda de dicho producto (OCDE/FAO, 2017).

Los principales países exportadores son: Australia, enfocado al mercado chino y de Oriente Medio; en segundo lugar Reino Unido, que muchas veces reexporta a Francia un volumen importante de sus importaciones procedentes de Oceanía; Holanda, debido al intercambio de movimientos que se producen a través del puerto de Rotterdam; Uruguay, cuyo mercado es Estados Unidos; y Nueva Zelanda, que ha estado redirigiendo sus exportaciones a China (FAOSTAT, 2017).

Por otra parte, el principal importador es la Unión Europea, que acapara el 38% de las importaciones mundiales; en segundo lugar está China con una importación anual de

aproximadamente medio millón de toneladas (17% de volumen de carne importada global) (OCDE/FAO, 2017).

América es el continente en el que se concentra la menor cantidad de ovinos, con más de 87 millones de cabezas, que representan 7.2% de la población mundial (OCDE/FAO, 2017). El país que contiene el mayor número de ovejas es Brasil, seguido de Argentina y Perú (SIAP, 2017).

2.1.2 Producción ovina en México

México se encuentra en la quinta posición en producción de carne de ovino en el continente americano, con una producción de 64,031 toneladas en el 2019, lo que representa un crecimiento del 1.5% respecto al 2018; no obstante, esta cifra constituye únicamente el 0.89% de la producción de carne en canal (Figura 1), superando únicamente la producción de carne de caprino y de guajolote (SIAP, 2019).



Figura 1. Resumen de la producción nacional de carne en canal producción pecuaria 2019. Estructura porcentual de la producción en canal de las principales especies de consumo en el país (Fuente: SIAP, 2019).

El centro del país es el que más aporta en la producción de ovinos con 3,167,444 cabezas que representa el 35.57% de total nacional, se sacrifican 1,187,792 borregos y se obtienen 25,300 toneladas de carne en canal lo que contribuye con el 42% de la oferta de carne en canal en el

país, siendo los estados de México e Hidalgo las entidades que aportan el mayor volumen de producción, con un total de 9,289 y 6,770 toneladas, respectivamente (SIAP, 2019).

Producción Nacional de canal de ovino (Toneladas) en el 2019

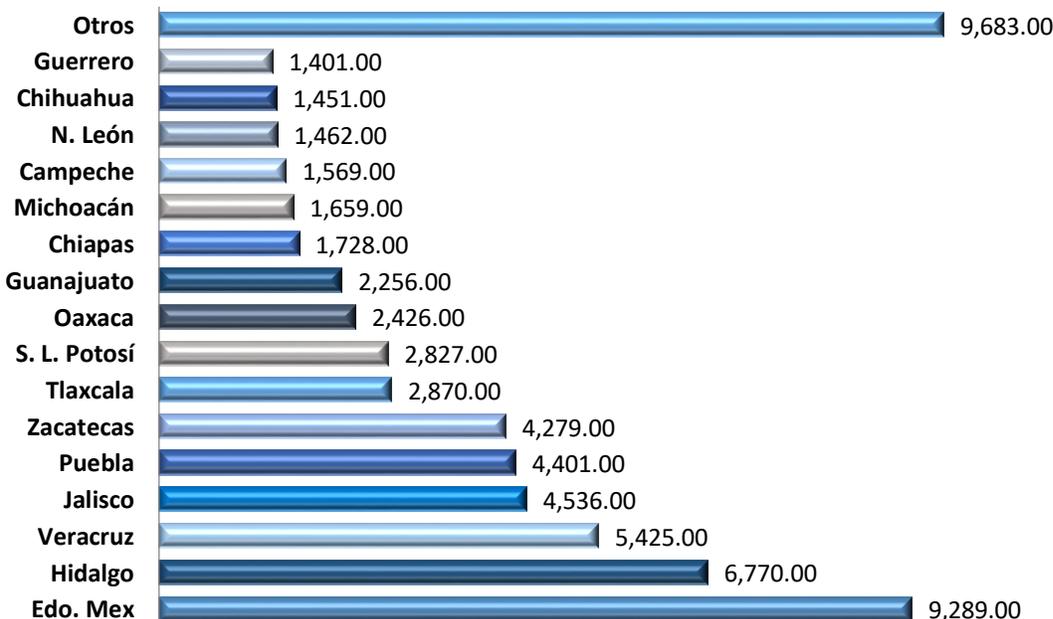


Figura 2. Principales estados productores de canal de ovino en México.

La producción en el 2019 fue de 64,032 toneladas, siendo el mayor productor el estado de México que aportó el 14.5% de la producción total del país, Fuente: (SIAP, 2019).

La moderada contribución de la carne ovina en la canasta alimenticia de los mexicanos se explica por varios factores, entre los que sobresalen: su costo elevado con respecto a otras carnes (pollo y cerdo), el 90% del consumo de carne de borrego se basa en un solo platillo típico (barbacoa) que se come en forma ocasional, y la oferta de carne es cíclica a través del año (con una mayor demanda durante el último trimestre). No obstante, se estima que en el año 2016, además de la producción nacional (~60,000 t) se requirió importar más de 30,000 t de carne en canal para tener una disponibilidad limitada a sólo 750 g/persona (CONAPO, 2016).

El volumen de producción nacional es deficitario ya que las importaciones de carne de ovino se han mantenido elevadas en los últimos años entre el 43.5 al 50% del consumo nacional, lo cual significa que al menos 50 mil toneladas de las 100 mil que se consumen en nuestro país son importadas (Arteaga, 2008), provenientes principalmente de Australia y Nueva Zelanda que

cuentan con más del 90% de la producción ovina mundial, además de Canadá, Estados Unidos y últimamente Uruguay (Mondragón *et al.*, 2010).

Los principales países que exportan a México ovinos para pie de cría son: Australia que en 2006 introdujo el 100% de animales con una cantidad mayor a los 18 mil semovientes, Nueva Zelanda cuya participación fue del 98.3% en 2007 y EUA en algunos años ha colocado el 100% de animales de alto registro al mercado mexicano (Bobadilla-Soto *et al.*, 2015).

2.2 Razas ovinas en México

En México, existe una amplia gama en sistemas de producción ovino que difieren en su modalidad (estabulado, semiestabulado y pastoreo), por su grado de intensidad (intensivo, semi intensivo y extensivo) y por el nivel tecnológico que tienen (tecnificado, semitecnificado y tradicional) (Partida de la Peña *et al.*, 2017). Los sistemas tecnificados son los que tienen un mayor índice de productividad (inventario de animales/toneladas de producción de carne) y estos se encuentran en los Estados de Veracruz, Zacatecas, Edo. De México y Jalisco (Lucas y Arbiza, 2006).

Otra característica importante en la producción ovina en el país, es la diversidad genética, entre la que se encuentran razas puras y cruzamientos entre animales de lana y pelo en grado diverso, lo cual conlleva a fuertes diferencias en las características fenotípicas y la condición corporal de los ovinos (tipo, sexo, peso y edad al faenado) entre sistemas de producción y aún dentro de los mismos sistemas productivos que limitan fuertemente el mercado formal de la carne ovina (Partida de la Peña *et al.*, 2017).

En la región norte todavía prevalece la raza Rambouillet que fue introducida a finales del siglo XIX en los sistemas extensivos de zonas áridas para producción de lana, pero también se pueden identificar razas de pelo más recientemente introducidas como las razas Pelibuey y Katahdin (Partida de la Peña *et al.*, 2017), y la raza de pelo Saint Croix que se ha popularizado en el noreste de México, en los estados de Nuevo León, Tamaulipas y San Luis Potosí (AMCO, 2007).



Figura 3. Predominio de razas ovinas en las regiones productoras de México.
Fuente: Asociación Mexicana de Criadores de Ovinos (AMCO), 2007.

Las razas que se producen en el centro del país son: Pelibuey, Dorper, Katahdin, Blackbelly, Texel, Charollais, Rambouillet, Corriedale y Romanov, la carne se destina para el consumo de barbacoa, mixiote, platillos típicos de la región y en los últimos años se ha incursionado en un nuevo mercado que son los cortes al detalle, empacados al alto vacío como rack francés, rack americano, doble mariposa, filete y medallón de corderos (Martínez, 2018). En los estados de México, Hidalgo, Puebla y Tlaxcala, prevalecen las razas Suffolk, Hampshire y Dorset, y un gran número de cruzamientos (AMCO, 2007). Mientras que en Jalisco se ha desarrollado la raza Pelifolk, dicho estado ha contribuido al mejoramiento de las razas ovinas de pelo, ya que comercializa genética con el resto de los estados que conforman la República Mexicana y exporta genética de pie de cría a Centro y Sudamérica (SADER, 2014).

En la región sur prevalecen las razas de pelo, así como diversos cruzamientos genotipos de reciente introducción como Katahdin y Dorper. Además, se mantienen núcleos de animales criollos que proporcionan lana para prendas artesanales, principalmente en los estados de Chiapas y Oaxaca (Partida de la Peña *et al.*, 2017). En Veracruz, por su clima cálido se utilizan razas enfocadas a la producción de carne como la Pelibuey y Blackbelly que presentan como

características mediana prolificidad, rusticidad y adaptación al medio (Morales, 2004). En los últimos años se han introducido razas como la Dorper, Kathadin, Romanov e Ile de France entre otras, con la finalidad de mejorar la producción de carne, conversión alimenticia y los rendimientos en canal (Pérez-Hernández *et al.*, 2011). El mayor número de partos se concentra en invierno (diciembre-febrero) y primavera (marzo-mayo); todos los productores de sistemas de producción ovina de subsistencia y en transición presentan un índice de partos de 1.5 crías por año mientras que los productores comerciales tienen un índice de 2.0 crías por año (Pérez-Hernández *et al.*, 2011).

Las diferencias productivas y la amplia variedad de razas, ocasiona irregularidad en el tipo y la condición de los animales que se producen, lo que se ve reflejado en la calidad del producto final. Esta situación tiene una fuerte discrepancia con los requerimientos del mercado que demandan regularidad, calidad y uniformidad, colocando a los productores mexicanos en desventaja frente a la competencia internacional, la cual cada vez es más intensa y dinámica (Boari *et al.*, 2014).

2.3 El ciclo reproductivo en ovejas

2.3.1 Ciclo estral

Bartlewski *et al.* (2011) definen el ciclo estral como el periodo comprendido entre la presentación de un estro fisiológico y el siguiente. En ovejas tiene una duración de entre 16 y 18 días, siendo más corto en ovejas jóvenes que en ovejas adultas (Uribe-Velásquez *et al.*, 2009), y está controlado principalmente por la actividad ovárica, de modo que se diferencian dos etapas: una fase lútea dominada por el cuerpo lúteo que produce progesterona (metaestro y diestro) y una fase folicular en la que los folículos en desarrollo producen estradiol (proestro y estro) (Driancourt, 2001; Evans, 2003).

El proestro precede al estro conductual, en este periodo los niveles de progesterona caen como consecuencia de la luteólisis, aumentan las concentraciones de estradiol debido a la emergencia y crecimiento del folículo ovulatorio, aumenta la actividad secretora del sistema reproductivo. El útero se alarga, el endometrio comienza a edematizarse, la mucosa vaginal se

torna hiperémica, el número de capas celulares en el epitelio vaginal aumenta (Abecia *et al.*, 2011).

La siguiente fase es el estro, periodo que involucra la receptividad sexual de la hembra hacia el macho, dura aproximadamente 30-36 horas (López *et al.*, 1993). La hormona dominante es el estradiol y la concentración de progesterona se encuentra a nivel basal, como consecuencia de la lisis del cuerpo lúteo inducida por la prostaglandina $F_{2\alpha}$; los folículos ováricos crecen y maduran hasta alcanzar un estado preovulatorio (Barrell *et al.*, 1992). La síntesis de estradiol en las células de la granulosa aumenta progresivamente, lo cual induce un incremento de esta hormona en la circulación periférica y actúa de manera directa en las neuronas GnRH (hormona liberadora de gonadotropinas) e induce el pico preovulatorio de hormona luteinizante y la hormona folículo estimulante, y 24 horas después, la ovulación (Evans *et al.*, 2000).

Después de la ovulación, se inicia la fase luteal, el periodo más largo, ya que comprende aproximadamente el 80% del ciclo estral (Peter *et al.*, 2009). En el metaestro y diestro ocurre la luteinización de las células de la granulosa y de la teca por la acción de enzimas, cambian la biosíntesis esteroide de los estrógenos a las progestinas, generando un cuerpo lúteo (Franco y Uribe-Velásquez, 2012). La concentración de progesterona alcanza valores superiores a 1 ng/ml; esta hormona se sintetiza y libera a partir de un cuerpo lúteo maduro y funcional. La progesterona ejerce un efecto de retroalimentación negativa a nivel hipotalámico e inhibe la secreción pulsátil de GnRH y por lo tanto de hormona luteinizante. De manera específica, la progesterona actúa a nivel del área preóptica (APO), en donde activa las neuronas ácido gamma aminobutírico (GABA) e induce la síntesis de este neurotransmisor, el cual actúa en las neuronas productoras de GnRH e inhibe la síntesis de esta hormona (Arroyo, 2011).

2.3.2 Hormonas reproductivas en el ciclo estral

2.3.2.1 Hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH)

La GnRH es un decapeptido producido por las neuronas del hipotálamo y es secretada a los capilares del sistema portal hipotalámico-hipofisiario. En la hipófisis, la GnRH se une a receptores específicos y mediante reacciones en cascada estimula la liberación de FSH y LH induciendo la ovulación del folículo dominante (Thatcher *et al.*, 2001).

La liberación de las gonadotropinas FSH y LH dependen de los pulsos de GnRH en el hipotálamo, y del tipo de receptor (I o II) GPCRs rodopsina que se sintetice. Cuando los pulsos de GnRH son de frecuencia lenta se estimula la síntesis de receptores de tipo I que favorecen principalmente la liberación de LH sobre la de FSH, y cuando los pulsos son más frecuentes se sintetizan los receptores de tipo II que inducen predominantemente la secreción de FSH que de LH (Soriano *et al.*, 2017).

2.3.2.2 Gonadotropinas

Las gonadotropinas pertenecen a una familia de hormonas glicoprotéicas, que comparten características estructurales, entre las que se encuentran la hormona folículo estimulante (FSH) y la hormona luteinizante (LH) (Kaiser, 2011). Cada hormona consiste en dos subunidades diferentes; una subunidad- α y una subunidad- β . Mientras que la subunidad- α es común entre ambas hormonas, cada subunidad- β tiene una secuencia diferente de aminoácidos, conteniendo 111 y 121 aminoácidos, la FSH y la LH, respectivamente, confiriendo así la especificidad biológica (Bernard *et al.*, 2010).

La FSH es una hormona producida en las células gonadotropas de la adenohipófisis; posee un bajo contenido de ácido siálico, lo que hace que su vida media en la circulación sea de sólo 3 a 5 horas (Simonetti, 2008). Es necesaria para el crecimiento folicular, ya que promueve la proliferación de las células de la granulosa (Franco y Uribe-Velásquez, 2012). El pico de FSH en plasma se asocia con el surgimiento de la oleada folicular; en ovejas se han reportado picos de FSH entre 3 y 4 ng/ml y niveles basales de 1 a 2 ng/ml en plasma sanguíneo (Franco y Uribe-Velásquez, 2012).

La LH es la principal hormona luteotrófica en los rumiantes que estimula la síntesis de progesterona por parte de las células lúteas (López *et al.*, 1993). Cuando el folículo dominante adquiere un diámetro de 3 a 5 mm en ovejas, expresa receptores de LH en las células de la granulosa y de la teca, y además, inicia la producción de inhibina y estradiol entre otros factores intrafoliculares; es en este momento cuando se transfiere la dependencia gonadotrófica del folículo de la FSH a la LH (Franco y Uribe-Velásquez, 2012).

El patrón de secreción de la LH tiene concentración, amplitud y frecuencia variables durante el ciclo estral, ya que son altamente dependientes de las concentraciones circulantes de P₄ y E₂, es decir, altas concentraciones de P₄ producidas por un cuerpo lúteo funcional suprimen la frecuencia de los pulsos de LH, mientras que la presencia de altas concentraciones de estradiol (y baja concentración de P₄) induce la liberación de GnRH desde el hipotálamo, lo que resulta en un pico de LH de amplitud y frecuencia suficiente para estimular la maduración final del folículo dominante y la posterior ovulación (Forde *et al.*, 2011).

2.3.2.3 Estradiol (E₂)

El E₂ es una hormona esteroidea derivada del colesterol. Su aumento en la concentración periférica es la característica principal del estro llegando a niveles de 13-16 pg/ml, se observan leves incrementos periódicos durante la fase luteal, derivados de los cambios en la población folicular (Uribe-Velásquez *et al.*, 2009). El E₂ ejerce un sistema de retroalimentación positiva en el eje hipotálamo-hipofisario influyendo sobre la secreción de gonadotropinas (Roelofs *et al.*, 2010) que favorecen el crecimiento de las células de la granulosa en los folículos ováricos (Peter *et al.*, 2009), estimulan la secreción de sialomucina y sulfomucina en el cérvix, tornando el moco más líquido, facilitando el transporte de los espermatozoides (Roelofs *et al.*, 2010), induce los cambios que se presentan en el tracto genital para facilitar la fertilización y la futura implantación del embrión (Fatet *et al.*, 2011).

2.3.2.4 Progesterona (P₄)

La P₄ es una hormona esteroide de 21 átomos de carbono que ejerce una retroalimentación negativa en el eje hipotalámico-hipofisiario-ovárico disminuyendo la frecuencia y aumentando la amplitud de los pulsos de LH suprimiendo el crecimiento folicular y bloqueando la ovulación por actuar directamente en el ovario e inhibir el folículo dominante (Uribe-Velásquez *et al.*, 2008).

La P₄ induce la quietud del miometrio bloqueando el efecto inductor de receptores α -adrenérgicos del E₂, cuya estimulación causa contracciones (Mann, 2009), promueve la proliferación de las células del endometrio para soportar la implantación del embrión y el desarrollo a término del feto (Fatet *et al.*, 2011), es esencial en el mantenimiento de la gestación, de modo que si no ocurre o falla en establecerse, hay regresión del CL en respuesta a la

prostaglandina $F_{2\alpha}$ secretada por el útero (Franco y Uribe-Velásquez, 2012). Durante la gestación en hembras rumiantes domésticas, se observa que la concentración de P_4 se mantiene entre 5 y 15 ng/mL, aproximadamente (Nicolo *et al.*, 2009).

2.3.2.5 Prostaglandina $F_{2\alpha}$ ($PGF_{2\alpha}$)

La $PGF_{2\alpha}$, un ácido graso insaturado de 20 átomos de carbono secretada por el endometrio (Cunningham, 2003), es un agente vasoconstrictor capaz de finalizar una gestación temprana y regular varios fenómenos fisiológicos, entre los que se encuentran: La contracción del músculo liso del aparato reproductor de la hembra, la formación del CL, el parto y la eyección de leche, así mismo, controla la erección, eyaculación y transporte de espermatozoides en el macho (Hafez y Hafez, 2002).

En forma natural induce la luteólisis en todas las hembras de mamíferos, incluyendo la especie ovina. Entre los días 13 a 15 del ciclo estral de la oveja se produce la luteólisis y la caída dramática de los niveles de P_4 por acción de la $PGF_{2\alpha}$ sintetizada por el endometrio cuando no existe el reconocimiento de la gestación (Simonetti, 2008). La capacidad de la $PGF_{2\alpha}$ para lisar el CL se ha aprovechado para manipular el ciclo estral logrando sincronización en hembras cíclicas (Hafez y Hafez, 2002).

2.3.3 Foliculogénesis

La foliculogénesis es un proceso durante el cual ocurre el crecimiento y desarrollo folicular desde el "pool" de folículos primordiales (100 μm de diámetro), hasta el estadio preantral y antral, culminando con la atresia y en limitadas ocasiones con la ovulación, en la oveja tiene una duración de 180 días aproximadamente (López *et al.*, 1993). La foliculogénesis depende del equilibrio entre los factores de supervivencia, proliferación y muerte celular, que determina el inicio y continuación del crecimiento del folículo (Rosales-Torres *et al.*, 2012) mediante una comunicación endócrina compleja entre el sistema nervioso central con el ovario, y varios reguladores parácrinos intraováricos (Fabre *et al.*, 2006).

Durante el llamado desarrollo folicular basal, los folículos primarios, pre-antrales y antrales pequeños son poco sensibles a las gonadotropinas pituitarias FSH y LH, las células de la

granulosa adquieren receptores de FSH y las de la teca receptores de LH, por lo que la síntesis de esteroides se presenta en la fase preantral, pero se expresa hasta la fase antral (Abecia *et al.*, 2011). El siguiente estadio es el de folículos dependientes de gonadotropinas, conocidos como folículos terciarios o antrales, producen andrógenos y estradiol y a partir de este estadio se convierten en la fuente más importante de síntesis de esteroides ováricos durante el ciclo estral; esta capacidad aumenta conforme aumenta el tamaño y funcionalidad de los folículos (Bartlewski *et al.*, 2011).

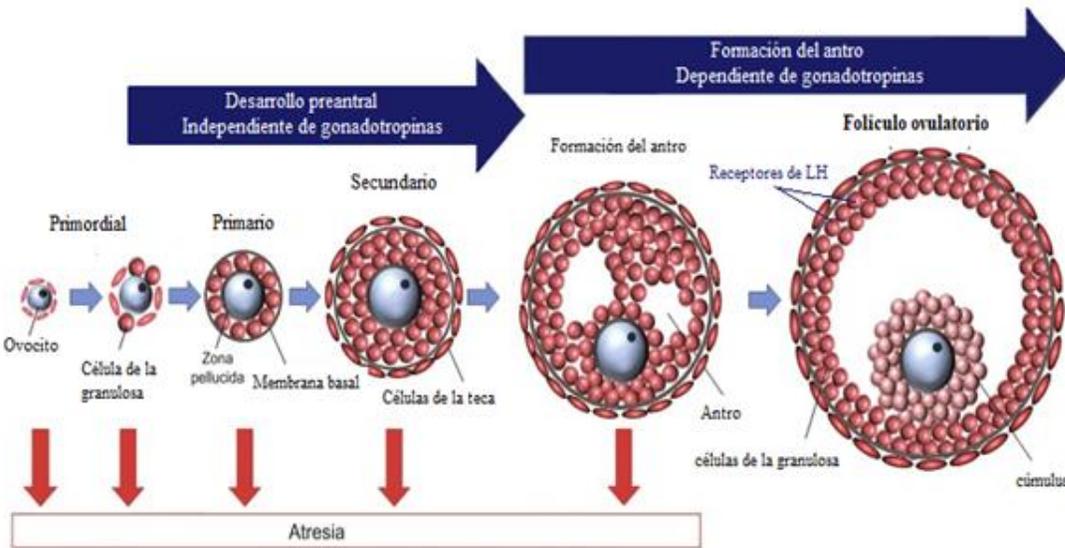


Figura 4. Ilustración de un modelo de crecimiento folicular.

La foliculogénesis se ilustra como una cascada de desarrollo durante la cual los folículos emergen de un conjunto de folículos primordiales para ingresar a un proceso de crecimiento y desarrollo que es continuo y termina en atresia u ovulación (fuente: Adaptado de Findlay *et al.*, 2019).

El crecimiento del folículo dominante y la producción acelerada de estradiol se caracteriza por las bajas concentraciones de inhibina, activina y proteínas de unión a IGF, y tal vez altas concentraciones de IGF (factor de crecimiento parecido a la insulina). En contraste, el inicio de la atresia y la pérdida de capacidad de los folículos para producir estradiol se caracteriza por concentraciones relativamente altas de inhibina, activina y proteínas de unión IGF (Roche, 1996).

En la fase final del desarrollo, la oveja puede presentar entre 1 y 8 folículos preovulatorios (2-5 mm) que aumentan el número de receptores a LH en las células de la teca (Abecia *et al.*,

2011), no obstante, cambios sutiles en la frecuencia del pulso de LH puede ser suficiente para provocar la pérdida de receptores para LH en este folículo, que puede sufrir atresia (baja frecuencia de pulso de LH) o luteinización (alta frecuencia de pulso LH) (Roche, 1996).

Al final emerge un folículo dominante con un diámetro entre 5 y 6 mm destinado a ovular siempre y cuando se encuentre en la fase folicular y se produzca paralelamente un pico preovulatorio de LH (Campbell, 2009).

2.3.4 Dinámica folicular

La dinámica folicular es un proceso continuo de crecimiento y regresión de folículos antrales; puede finalizar en ovulación o atresia folicular. Cada una de estas oleadas están compuestas por las fases de reclutamiento, selección y dominancia (Lucy *et al.*, 1992). El reclutamiento es la capacidad de un grupo de folículos de responder a la acción de la FSH (Ungerfeld y Rubianes, 2002); la selección es el proceso por el que algunos folículos reclutados son capaces de continuar su crecimiento hasta estadios preovulatorios mientras la mayoría sufren atresia; y la dominancia es la etapa en la que culmina el proceso de selección; durante este proceso pocos folículos adquieren mayor tamaño e inhiben el crecimiento de otros (Webb y Armstrong, 1998). La selección y el dominio están acompañados por aumentos progresivos en la capacidad de las células tecales para producir andrógenos y células de la granulosa para aromatizar andrógenos a estradiol (Fortune, 1994).

Las oleadas de crecimiento folicular se presentan durante el ciclo estral, y en menor magnitud durante el anestro estacional y la gestación (Uribe-Velásquez *et al.*, 2009). La dinámica folicular de las ovejas tiene un patrón de 3-4 oleadas foliculares durante cada ciclo estral; cada una dura de 4 a 5 días y se caracteriza por el crecimiento sincrónico de un grupo de folículos (Evans *et al.*, 2000).

Los folículos subordinados regresan por inhibición de su desarrollo, mientras que uno (o un número especie-específico) de ellos continúa creciendo, terminan en folículos dominantes que miden 5-7 mm de diámetro y persistencia 2-3 días dependiendo de la etapa del ciclo ovárico. Los

folículos ovulatorios se desarrollan a partir de un grupo de folículos desde la última o penúltima oleada folicular (Evans *et al.*, 2004; Uribe-Velásquez *et al.*, 2009).

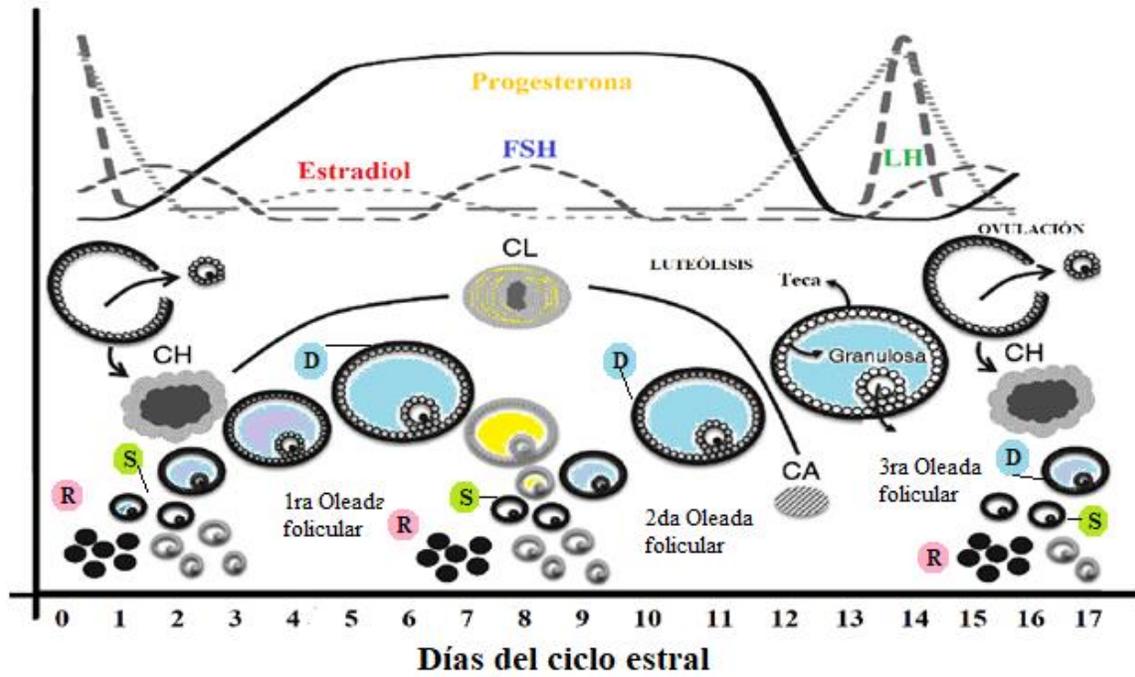


Figura 5. Oleadas foliculares que ocurren durante el ciclo estral de la oveja.

Durante cada oleada se reclutan algunos folículos (R), algunos se seleccionan (S) y otros se tornan dominantes (D). Finalmente, la mayoría de los folículos sufren atresia. Solo los folículos reclutados después de la tercera oleada serán elegibles para la ovulación (fuente: Adaptado de Donadeu *et al.*, 2012).

Cada oleada de crecimiento folicular está precedida de un incremento en la concentración de FSH; tras el reclutamiento, dos o tres folículos continúan creciendo, mientras que los más pequeños sufren atresia. La producción de altas concentraciones de E_2 es una característica distintiva del folículo dominante (Ireland y Roche, 1983) y antes de que aparezcan diferencias visibles en el diámetro folicular, el futuro folículo dominante tiene mayores concentraciones de E_2 en el líquido folicular comparado con los demás folículos en su cohorte (Fortune, 1994; Sunderland *et al.*, 1994).

La síntesis de E_2 es dependiente de la producción de andrógenos en las células de la teca y su subsecuente aromatización en las células de la granulosa; a este mecanismo donde dos células participan conjuntamente en la producción de andrógenos se le denomina, teoría de dos

células/dos gonadotrofinas (Fortune y Quirk, 1988). Cuando las concentraciones de P_4 son bajas, las altas concentraciones de E_2 producidas por el folículo dominante inducen un pico de GnRH desde el hipotálamo que estimula un pico de LH hipofisario de amplitud y frecuencia suficiente para estimular la maduración final y la ovulación de este folículo dominante (Sunderland *et al.*, 1994). Las concentraciones elevadas de E_2 también inducen la expresión de manifestaciones de estro necesarias para un apareamiento exitoso (Ireland, 1987).

El folículo dominante y el folículo subordinado mayor alcanzan diámetros máximos de 5-7 y 3-5 mm, respectivamente; el folículo más grande ovula o regresa, y una nueva oleada de crecimiento emerge con intervalo de 5 días entre oleada (Menchaca *et al.*, 2010).

2.3.5 Ovulación

Se define como ovulación la culminación de una serie de mecanismos complejos desencadenados por el incremento en estradiol proveniente del folículo dominante que detona la liberación de GnRH con la subsecuente elevación de LH, se inicia con el incremento de la vascularización de la pared folicular, a excepción del ápice, el cual por acción enzimática se romperá liberando al ovocito y a su vez los niveles de $PGF_{2\alpha}$ y de PGE_2 aumentan notablemente, lo cual incrementa el tono de las fibras musculares lisas que contribuye a la ruptura del folículo y a la expulsión del ovocito (Gigli *et al.*, 2006).

El ovario se somete a una serie de eventos estrechamente regulados. Los folículos pequeños deben madurar hasta la etapa preovulatoria, tiempo durante el cual los ovocitos, las células de la granulosa y las células de la teca, adquieren una característica funcional específica de preparación para la ovulación (Richards *et al.*, 2002).

Normalmente, es la última oleada del ciclo estral la que contiene los folículos ovulatorios. Sin embargo, en ovejas con ovulaciones dobles, los folículos ovulatorios también se originan en la penúltima oleada del ciclo (Viñoles *et al.*, 2001). El número de ovulaciones es el resultado de un proceso de selección en una cohorte de folículos en desarrollo simultáneo, que está regulado por el eje hipotálamo-hipófisis-ovarios (Scaramuzzi *et al.*, 2011) y está influenciada por la raza, edad, estado reproductivo, estación, nutrición y condición corporal de la oveja.

Al principio de la estación reproductiva las tasas de ovulación suelen ser menores y el estro breve, que se manifiesta de forma menos intensa y está asociado con menor fertilidad (Viñoles *et al.*, 2011).

2.3.6 Cuerpo lúteo

El cuerpo lúteo (CL) es una glándula endócrina transitoria esencial para el establecimiento de la gestación, debido a la producción de P_4 (Ochoa *et al.*, 2018). La formación de dicha glándula es la continuación del proceso de desarrollo folicular (Sangha *et al.*, 2002). La LH es la responsable de estimular la luteinización de las células de la granulosa y de la teca interna del folículo preovulatorio (Alila y Hansel, 1984). La tasa de crecimiento del CL es mayor en la etapa temprana de la fase luteal, donde el diámetro máximo se alcanza de 6 a 9 días después de los cuales la concentración de P_4 presenta una meseta que se mantiene constante hasta la regresión del CL (Mann, 2009).

La función del CL es producir suficiente P_4 para poder asegurar el mantenimiento de una gestación si el proceso de fertilización se llevó a cabo y existe un embrión dentro del útero. Cuando no ocurre gestación, la hembra sufrirá regresión del CL causada por pulsos uterinos de $PGF_{2\alpha}$ (Ochoa *et al.*, 2018), en caso contrario, el mantenimiento del CL es necesario para prolongar la elevación de las concentraciones de P_4 circulante durante la gestación. En este sentido, la P_4 secretada por el CL produce una reducción en la secreción de gonadotrofinas y previene la aparición del estro (Forde *et al.*, 2011). Los días 12 a 13 días después del apareamiento, cuando se inicia la regresión de la CL y la luteólisis es un periodo crítico para la gestación en las ovejas (Bazer, 2013; Wiltbank *et al.*, 2018) depende de la secreción de interferón-tau (IFNT) del embrión, que activa mecanismos de inhibición de oxitocina, secreción de PGE_2 y PGE_1 (Wiltbank *et al.*, 2018).

El mecanismo de secreción de $PGF_{2\alpha}$ involucra al receptor de oxitocina existente en el útero que liga a la oxitocina proveniente de la neurohipófisis y del propio CL, propagándose la secreción episódica de $PGF_{2\alpha}$ desde el útero hacia el ovario a través de un mecanismo de contracorriente que le permite pasar desde la vena uterina directamente a la arteria ovárica. Así,

durante la luteólisis se reducen las concentraciones circulantes de P₄, las concentraciones de E₂ se incrementan, la GnRH se libera del hipotálamo y el animal entra en una nueva fase folicular (Forde *et al.*, 2011).

La actividad luteal se confirma cuando dos o más muestras tomadas en días consecutivos de plasma presentan concentraciones de P₄ superiores a 1 ng/ml en hembras ovinas y se determina como el fin de la actividad luteal cuando la concentración de P₄ cae por debajo de 1 ng/ml (Uribe-Velásquez *et al.*, 2011). En la oveja, la presencia del CL sólo es imprescindible en el primer tercio de la gestación, a partir del segundo tercio de la gestación la placenta comienza a secretar P₄ en cantidades superiores a las que secreta el CL (López *et al.*, 1993).

2.3.7 Estacionalidad en ovejas

La estacionalidad reproductiva es un proceso fisiológico de adaptación utilizado por animales silvestres con el objetivo de enfrentar los cambios estacionales en la temperatura y la disponibilidad de alimentos. Esta característica se ha perdido en algunas especies domésticas, sin embargo, aún se manifiesta en la mayoría de las razas de ovejas (Malpaux *et al.*, 1999). Los ovinos son animales poliéstricos estacionales con ciclos ovulatorios normales en otoño e invierno (días cortos); esta estacionalidad se caracteriza por la ocurrencia de ciclicidad estral, conducta de estro y ovulación en la hembra; en el macho, se restablece la espermatogénesis y libido, mientras que cuando están en anestro estacional (días largos), en el macho, se reduce la espermatogénesis y la libido, y las hembras no presentan estro (Arroyo, 2011), razón por la que se inhibe la ovulación (López *et al.*, 1993).

2.3.8 Fotoperiodo y melatonina

La melatonina se produce a partir del triptófano y es la principal hormona secretada por la glándula pineal en un proceso bioquímico complejo donde interviene la activación de neurotransmisores adrenérgicos a través del núcleo supraquiasmático (Vivien-Roels y Pevet, 1983).

La información fotoperiódica se recibe a nivel de la retina y es conducida por el tracto retino-hipotalámico hasta los núcleos supraquiasmáticos y paraventriculares del hipotálamo para

después llegar a la glándula pineal donde el mensaje modula el ritmo de la secreción de melatonina (Abecia *et al.*, 2012; Leyva-Ocariz, 2014). El patrón de secreción de esta hormona sigue un ritmo circadiano regulado por la amplitud del fotoperiodo y afectando el ciclo reproductivo anual de la oveja (Arroyo *et al.*, 2006).

El patrón de secreción de melatonina sigue un ritmo circadiano con una cantidad significativa de secreción que ocurre durante horas de oscuridad y la luz actúa como un supresor. Por lo tanto, el período de secreción de melatonina es más corto en días largos, y su nivel de secreción aumenta en días cortos (Rollag y Niswender, 1976; Rosa y Bryant, 2003). Este mecanismo permite a la especie detectar las variaciones anuales en la duración del fotoperiodo y con ello modificar su condición reproductiva (Malpaux *et al.*, 2002).

Durante el anestro, los ovarios secretan poco estradiol y ejercen un fuerte poder inhibitorio a nivel hipotalámico, por lo tanto, no se produce el pico preovulatorio de LH, y las ovejas no ovulan (el pico es inducido por el aumento de la secreción de hormona liberadora de gonadotropina), la LH sigue siendo producida de forma episódica, pero con menor frecuencia que durante la época reproductiva (un pulso cada 8-12 h contra un pulso de 3-4 h) (Milani *et al.*, 2017).

Thiéry *et al.* (2002) mencionan que el anestro ocurre durante los días largos, entre los meses de febrero y agosto, en el hemisferio norte, cuando la duración en la secreción de melatonina es menor; su amplitud varía de acuerdo con la ubicación geográfica (latitud) y la raza. La mayoría de animales adaptados a climas extremos en regiones ubicadas en latitudes altas, tienen temporadas de reproducción cortas y bien definidas (Ungerfeld y Bielli, 2012).

La influencia de la luz sobre la fisiología y el comportamiento de los animales disminuye cuanto más se acercan a la zona ecuatorial, generando así menores cambios en respuesta a diferentes factores como la disponibilidad de alimento; del mismo modo, la temperatura varía poco a lo largo del año, los animales mantienen temporadas largas de reproducción, y en algunos casos se reproducen durante todo el año (Ungerfeld y Bielli, 2012; Correa y Fernández, 2017).

En México se ha estudiado el comportamiento reproductivo anual en ovejas, entre los trabajos realizados se pueden citar a Valencia *et al.* (1978) quienes realizaron un experimento en el estado de México con ovejas Dorset, observando una disminución significativa en presentación de estros en los meses de marzo a mayo (entre 41 y 29%), en relación con el mes de octubre (94.7%), sin embargo no hubo presencia de anestro estacional absoluto, debido a que algunas ovejas mantuvieron actividad estral continua.

Lucas *et al.* (1997) encontraron diferencias significativas al estudiar el comportamiento anual de cinco razas: Romney Marsh, Corriedale, Suffolk, Rambouillet y criolla, observaron estacionalidad marcada en las primeras tres razas mencionadas durante los meses marzo-junio, mientras que las ovejas Rambouillet y criollas presentaron estros prácticamente todo el año de estudio, en la misma región.

En ovejas Rambouillet en el estado de Hidalgo, Urrutia (1991) detectó estros dos veces al día, durante cinco meses (mayo a septiembre). El porcentaje mensual de ovejas en estro fue de 0.4% en mayo, 14.5% en junio, 25% en julio, 78.2% en agosto y 93.9% en septiembre, encontrando diferencias estadísticas entre dichos porcentajes, por lo que estos autores concluyen que las ovejas Rambouillet presentaron una marcada tendencia a la estacionalidad reproductiva.

Arroyo *et al.* (2006) estudiaron durante dos años el comportamiento reproductivo de ovejas Suffolk y Pelibuey en la región del altiplano, encontrando disminución en actividad ovulatoria de ovejas Suffolk en los meses febrero-junio, mientras que las ovejas Pelibuey fueron capaces de ovular durante todo el periodo de estudio.

Es posible que la domesticación haya mejorado la eficiencia reproductiva de los animales, en algunos casos reduciendo la edad a la pubertad, en otros incrementando el tamaño de la camada, y en otros reduciendo la estacionalidad reproductiva (Urviola y Riveros, 2017).

2.4 Métodos hormonales para sincronización de estros

La sincronización de estros es una herramienta ampliamente utilizada en los sistemas de producción animal mediante el uso de técnicas farmacológicas que permite aumentar la

eficiencia reproductiva, tanto en la estación reproductiva como durante el anestro estacional (Manes y Ungerfeld, 2015). Se utiliza para homogenizar lotes de hembras con el objetivo de concentrar las pariciones en épocas deseables ya sea por condiciones ambientales o disponibilidad de alimento y comercialización (Mejía y María, 2010; Arbués *et al.*, 2018). Los métodos farmacológicos se caracterizan por tener mayor eficacia que los métodos naturales, pero la desventaja del costo del producto y su administración se compensa al ofrecer mejores cifras en la producción (Abecia *et al.*, 2012).

La reproducción del ganado ovino puede ser controlada por diferentes métodos de sincronización de estros, basados esencialmente en la administración de P₄ y PGF_{2α} o los análogos de ambas, utilizando protocolos tanto para la implementación de monta natural como de inseminación artificial (González-Bulnes y Contreras-Solís, 2012).

2.4.1 Progesterona y análogos

El uso de los progestágenos es el método artificial más sencillo para inducir la conducta estral y la ovulación en las ovejas, puesto que imita la presencia de un CL de un ciclo estral natural (Mejía y María, 2010), simulando la acción de P₄ natural producida por el CL después de la ovulación, que es responsable de controlar la secreción de LH de la pituitaria (Abecia *et al.*, 2012). Los primeros tratamientos de inducción a estro a base de P₄ consistieron en 14 inyecciones subcutáneas diarias de 10 mg de progesterona, en 2 ml de aceite de maíz; el rango del tratamiento se redujo a 8 días durante la década de 1990. Varios estudios en oveja relacionan las concentraciones de progesterona/progestágeno con anomalías en el desarrollo folicular, ovulación, ovocitos, función lútea y fertilidad (Vilariño *et al.*, 2011).

La P₄ natural o sintética (progestágenos) actúa inhibiendo la liberación de gonadotropinas (Amiridis y Cseh, 2012) y se utiliza frecuentemente en ovinos. Su principal actividad es la de suprimir el estro y la ovulación a través del mecanismo de retroalimentación negativa sobre la liberación de GnRH y por consecuencia también inhibe la liberación de LH y la FSH (Arbués *et al.*, 2018). El grado de sincronización obtenido y el intervalo entre el final del tratamiento y el inicio del estro dependen del producto utilizado (hormona natural o sintética). Los progestágenos pueden administrarse en distintas formas, por vía intravaginal, intramuscular y subcutánea y en

distintas dosis (Abecia *et al.*, 2011). La técnica de inducción de estros en ovejas incluye el uso de dispositivos intravaginales impregnados con progesterona (CIDR) o esponjas intravaginales (Karaca *et al.*, 2009).

La vida media de la progesterona natural es de alrededor de 5 min; se metaboliza principalmente en el hígado (primer paso) a través del sistema citocromo P450 por hidroxilación oxidativa hasta generar metabolitos hidroxilados y sus conjugados, sulfato y glucorónido, que se eliminan en la orina y 20% en heces, mientras que los progestágenos sintéticos tienen vidas medias mucho más prolongadas, por ejemplo: de unas 7 h para la noretindrona, 16 h para el norgestrel, 12 h para el gestodeno y 24 h para el acetato de medroxiprogesterona (Orizaba-Chávez *et al.*, 2013). La administración de progesterona por vía vaginal no requiere del metabolismo hepático, y se ha encontrado que también ocurre su biotransformación en riñón, cerebro, útero y piel (Nahoul *et al.*, 1993).

2.4.1.1 Esponjas vaginales

Entre los compuestos disponibles en el mercado, y comúnmente empleados en pequeños rumiantes, destacan las esponjas intravaginales impregnadas con 20 mg de acetato de fluorogestona (FGA) (Chronogest), o 65 mg de acetato de medroxiprogesterona (MAP) (Serigan y Sincrogest) (Karaca *et al.*, 2009; Mejía y María, 2010; González-Bulnes y Contreras-Solís, 2012). El FGA es aproximadamente 20 veces más potente que la progesterona, presenta actividad progestágena uniéndose a los receptores de P₄ y retroalimentando negativamente el eje hipotálamo-hipofisario, suprimiendo la liberación de gonadotropinas desde la hipófisis, de esta manera, se inhibe el crecimiento folicular terminal y la ovulación. El MPA es aproximadamente 10 veces más potente que la progesterona, su mecanismo de acción es igual que el FGA, inhibiendo la liberación de gonadotropinas a nivel hipotalámico (Abecia *et al.*, 2011).

Las concentraciones sanguíneas de P₄ se elevan durante la permanencia de la esponja impregnada con FGA o MPA, imitando la duración de un CL funcional normal; posterior a su retirada, las concentraciones de progesterona caen dramáticamente desinhibiendo el hipotálamo y poniendo en marcha la acción de gonadotropinas, conduciendo a la presencia de estro y ovulación en ovejas que se encuentren sexualmente activas (Abecia *et al.*, 2011).

Las esponjas vaginales tienen como desventaja, la fácil absorción y retención de fluidos vaginales que predisponen un incremento de la microbiota bacteriana, que puede causar vaginitis y formar adherencias (Amiridis y Cseh, 2012), alteraciones que son casi inexistentes al usar CIDR (Tondello *et al.*, 2010).

2.4.1.2 CIDR (Controlled Internal Drug Release)

Es un dispositivo de liberación interna controlada de fármaco diseñado en Nueva Zelanda a finales de los años 80 (Abecia *et al.*, 2012) fabricado a base de un elastómero de silicona en forma de “T” (Tondello *et al.*, 2010) impregnado con 0.3 g progesterona natural. Se insertan por vía intravaginal durante 12-14 días y las ovejas muestran celo aproximadamente 48 h después de la retirada del dispositivo (Abecia *et al.*, 2012). Es uno de los métodos más eficientes para sincronizar el estro y mejorar el desempeño reproductivo de ovejas, vacas y camellos (Swelum *et al.*, 2015).

El modo de acción del CIDR consiste en la liberación de progesterona al torrente sanguíneo en una tasa controlada (Azzarini, 2001). Las concentraciones de P₄ aumentan rápidamente en el plasma de ovejas cíclicas alcanzando concentraciones máximas en suero sanguíneo cuatro horas después de la inserción de los dispositivos, y comienzan a disminuir lentamente 12 horas después de la inserción (Vilariño *et al.*, 2013) lográndose así la inhibición de la maduración folicular por la retroalimentación negativa de esta hormona (Azzarini, 2001) que inhibe la secreción de GnRH en el hipotálamo y como consecuencia evita la liberación de gonadotropinas, especialmente LH en la hipófisis anterior (Rubianes *et al.*, 1996). Al retirar el dispositivo, se suprime la administración de P₄ y se anula la inhibición de GnRH (Amiridis y Cseh, 2012). Los CIDR se desarrollaron para su uso en tratamientos largos, incluso bloqueando el estro y la ovulación en tratamientos prolongados durante 30 días (Vilariño *et al.*, 2011).

Los CIDR tienen como desventaja un alto costo y la contaminación ambiental causada por dispositivos desechados o perdidos que contienen altos niveles hormonales (Swelum *et al.*, 2018b). El diseño del CIDR permite el drenaje de secreciones vaginales y reduce las tasas de pérdida del dispositivo, adherencia y vaginitis (Ungerfeld, 2009). Estudios previos también han

abordado que las características del dispositivo permiten que se laven, se desinfecten y sea reutilizado sin consecuencias significativas en los parámetros reproductivos en ovinos (Vilarriño *et al.*, 2011; Pinna *et al.*, 2012; Swelum *et al.*, 2018b).

2.4.2 Gonadotropina coriónica equina (eCG)

La eCG es una hormona que se usa ampliamente para mejorar la reproducción, desempeño y manejo de ganado bovino, ovejas, cabras y cerdos (Manteca *et al.*, 2019), es miembro de la familia de hormonas glucoproteicas junto con LH, FSH y hormona estimulante de la tiroides (TRH) (Rensis y López-Gatius, 2014). Esta hormona secretada en el útero equino es aislada del suero sanguíneo de yeguas gestantes y aparece en la sangre alrededor de los 36 a 40 días de gestación y luego su concentración aumenta rápidamente hasta los 60 a 70 días, para hacerse indetectable entre los 150 a 170 días (Cabodevila y Torquati, 2000). En especies no équidas, eCG muestra actividades similares a LH y FSH y tiene una gran afinidad tanto para los receptores de FSH como de LH en los ovarios. Sobre las células de teca y de la granulosa del folículo (Rensis y López-Gatius, 2014), aumentan la ocurrencia y velocidad de la ovulación y favorecen que se produzca en un intervalo de tiempo más corto, así mismo, la adición de eCG aumenta el diámetro del cuerpo lúteo (Cox *et al.*, 2012).

La eCG se utiliza en varios de los tratamientos de sincronización e inducción del estro y la ovulación (Mejía y María, 2010): se administra una inyección de eCG al momento de la retirada de los dispositivos liberadores de progestágenos (Abecia *et al.*, 2011). Su alto contenido en carbohidratos le confiere una vida media prolongada (en borregas aproximadamente 21 horas) (Cabodevila y Torquati, 2000) que favorece su uso en una sola dosis a diferencia de FSH cuya vida media es extremadamente corta y requiere aplicaciones múltiples (Allen y Stewart, 2001).

Dosis bajas (200-250 UI) son usadas en razas prolíficas puesto que su aplicación incrementa la ocurrencia de partos gemelares y esto demanda un mayor requerimiento metabólico de la oveja (Arbués *et al.*, 2018).

Cox *et al.* (2012) encontraron que con una dosis de 400 UI eCG utilizada en tratamientos con progestágeno tanto a corto como a largo plazo, reduce el intervalo a la ovulación acelerando

la presentación del estro ($P= 0.004$) y también tiende a aumentar el diámetro de los cuerpos lúteos a los 10 días después del estro.

2.4.3 Prostaglandinas

Las prostaglandinas constituyen un método efectivo, de bajo costo y fácil aplicación (Fierro *et al.*, 2013) para controlar la reproducción mediante la eliminación del cuerpo lúteo y la inducción de una fase folicular sucesiva con ovulación (Abecia *et al.*, 2012). El principal inconveniente del uso de $PGF_{2\alpha}$ es que se requiere la presencia de un CL activo para que la hormona sea efectiva (Rubianes *et al.*, 2003), por esto, el uso de $PGF_{2\alpha}$ o análogos queda limitado para hembras ciclando durante la estación reproductiva normal. Las prostaglandinas inducen lisis del cuerpo lúteo maduro, el cual es susceptible 4-5 días después del estro (Sharkey *et al.*, 2001).

Al no conocer la fase del ciclo estral de un grupo de hembras, se hace necesario administrar dos inyecciones de $PGF_{2\alpha}$ con intervalo de 9-10 días con el objetivo de que la mayoría de los animales del grupo estén a la mitad de la fase lútea a la segunda dosis y sean capaces de responder al tratamiento (Abecia *et al.*, 2012). La presencia de un CL a la segunda inyección altera la funcionalidad, la maduración final de los folículos preovulatorios y la luteogénesis normal, como consecuencia, el tiempo de ovulación después de la luteólisis inducida es muy variable (González-Bulnes *et al.*, 2005). Las bajas tasas de fertilidad presentan mayor relación con el uso de prostaglandinas que con el de progestágenos, debido a falla lútea prematura (Sharkey *et al.*, 2001). La administración de $PGF_{2\alpha}$, ya sea natural o sintética como el cloprostenol, dinoprost y prostianol, que sean aplicados en la mitad o el final de la fase lútea (día 3 al 14) del ciclo estral, provocarán que la fase lútea se acorte, disminuyendo el riego sanguíneo al CL ocasionando así su lisis (Vilariño *et al.*, 2010).

La ventaja más notable en el tratamiento con $PGF_{2\alpha}$ es la vía de administración intramuscular, lo que conlleva a una mejora en el manejo, sanidad y bienestar de las hembras; es eficaz para la sincronización del estro, pero el porcentaje de fertilidad en ovinos es del 70% (Abecia *et al.*, 2012). Adicionalmente, los metabolitos de la prostaglandina son rápida y fácilmente degradados por vía pulmonar en las 8 horas posteriores a su administración; por lo

cual, la presencia de residuos en el organismo es prácticamente nula (González-Bulnes y Contreras-Solís, 2012). Se debe tener en cuenta que al usar $\text{PGF}_{2\alpha}$, puede causar lisis del cuerpo lúteo durante la gestación temprana (menor a 50 días), por lo que se hace necesario realizar ecografía para verificar que las hembras no estén gestantes al momento de su administración (Mejía y María, 2010).

2.5 Protocolos hormonales de sincronización más utilizados en ovinos

2.5.1 Prostaglandina + efecto macho

El tratamiento consiste en la aplicación de dos dosis de $\text{PGF}_{2\alpha}$ o análogos administrados con 10 días de diferencia; posterior a la segunda dosis, las ovejas son expuestas al efecto macho. Las hembras presentarán estro aproximadamente 48 horas después de la aplicación de la segunda dosis de $\text{PGF}_{2\alpha}$ (Abecia *et al.*, 2011). El efecto macho se usa comúnmente para inducir un pico de LH, estro y ovulación durante la época de transición, sin embargo, se induce un incremento en la secreción de LH durante el periodo ovulatorio en ovejas cíclicas, tratadas con progestágenos y con $\text{PGF}_{2\alpha}$ (Evans, 2003).

2.5.2 Progesterona + eCG

Uno de los protocolos más comunes en ovinos, consiste en la inserción de esponjas intravaginales durante 12 o 14 días; al retiro, se aplica una dosis de eCG que varía de 250 a 500 UI (250-300 UI en ovejas jóvenes y 350-500 UI en multíparas). Esta dosis también varía dependiendo de la estación (400-500 UI en anestro y de 300-350 UI en estación reproductiva); el estro se manifestará aproximadamente 48 horas después de la retirada de los dispositivos. Se recomienda el uso de un macho por cada 10 hembras en época reproductiva (Abecia *et al.*, 2011).

Con el uso de este protocolo se han reportado resultados exitosos en los que se obtienen hasta el 100% de presentación de estros (Whitley y Jackson, 2004). Sin embargo, la respuesta a estro y la fertilidad de las ovejas puede ser afectada por la raza, los co-tratamientos y los sistemas de apareamiento (Wildeus, 2000). El porcentaje de hembras que presentan estro es de 96.7 (Avendaño *et al.*, 2007) a 100% (Uribe-Velásquez *et al.*, 2008).

La ovulación inducida por eCG puede ocasionar un menor desarrollo embrionario e incrementar la mortalidad fetal, aunque presenta una alta tasa de fertilidad y un mayor porcentaje en la presentación de gestaciones múltiples (Vilariño *et al.*, 2010).

2.5.3 Progesterona + prostaglandina

En este protocolo de sincronización se inserta un dispositivo liberador de progesterona o progestágeno (esponja o CIDR), en el cual se considera como día 0 el día de la inserción. La esponja o CIDR permanece intravaginalmente durante 9-14 días, se aplica una dosis única de PGF_{2α} el día del retiro y se espera la presencia de estros entre 36 y 48 horas posteriores a la aplicación de PGF_{2α} y la ovulación 10 horas posterior al inicio de estro (Tondello *et al.*, 2010).

2.5.4 Progesterona + prostaglandina + eCG

Fleisch *et al.* (2012) realizaron un estudio utilizando protocolos cortos de 6 días comparando esponjas Chronogest (20 mg de acetato de fluorogestona) y CIDR (0.3 g de progesterona), aplicando al retiro una inyección intramuscular de 0.125 mg de prostaglandina (Cloprostenol) así como 300 UI de eCG (Folligon). Las variables reproductivas fueron similares, la presencia de estro con esponjas y CIDR fue de 95.9 y 93.2% respectivamente, la tasa de gestación fue mayor en las ovejas tratadas con CIDR (81.3%) mientras que con el tratamiento con esponja fue del 77.9%. Estos autores concluyeron que el tratamiento con esponjas Chronogest y CIDR durante 6 días en combinación con aplicación de prostaglandinas y eCG al momento del retiro de los dispositivos resultó en una alta respuesta al estro y una fertilidad similar en ovejas cíclicas (Fleisch *et al.*, 2012).

La aplicación de eCG permite un periodo de actividad más largo y un mejor reclutamiento y maduración de folículos y ovocitos; se espera la presencia de estros entre 24 a 48 horas posteriores al retiro de los dispositivos impregnados con progesterona, y la ovulación 10 a 12 horas después de observarse los signos de estro. Mediante este protocolo es posible inseminar a todas las hembras en un mismo momento sin necesidad de detectar estros, con inseminación artificial a tiempo fijo por vía cervical 48 h después de retirar el dispositivo y por vía intrauterina a las 54 h (Manes y Ungerfeld, 2015).

2.6 Antecedentes del uso de CIDR reutilizado

El dispositivo liberador de P₄ (CIDR) es el componente más costoso de los protocolos de sincronización de estros. Para reducir esta limitante se han realizado diversos estudios en los que se aplica la reutilización de la P₄ residual de los dispositivos, lo cual es posible, siempre y cuando se lleve a cabo un proceso de limpieza y desinfección. Con el objetivo de evitar la propagación de infecciones, Pinna *et al.* (2012) recomiendan su reutilización dentro del mismo hato de animales que se encuentren libres de enfermedades reproductivas.

En ganado bovino se reportan trabajos con protocolos a base de CIDR reutilizado; Macmillan *et al.* (1993) mencionan que la sincronización del estro a base de progestágenos con protocolos de corta duración, aumenta la eficiencia en la sincronización y la proporción de animales en estro, lográndose hasta 90% de animales en estro en las primeras 48 h posteriores al término del tratamiento. De esta manera, cuando el CIDR es retirado en el primer uso aún contiene niveles altos de P₄ dependiendo de los días que sea utilizado (Van Cleeff *et al.*, 1992).

En un estudio realizado por Macmillan *et al.* (1990) en Nueva Zelanda, con vaquillas Holstein-Friesian, usando CIDR con diferentes concentraciones de P₄, encontraron que si la permanencia intravaginal del CIDR es de 9 días, retiene alrededor de 1.1g de progesterona y si permanece 15 días retiene aproximadamente 0.9 g.

En México, Solórzano *et al.* (2008) obtuvieron buena respuesta en vacas Brangus al usar CIDR en protocolos de 8 días de permanencia, hasta la segunda reutilización. Los primeros estros empezaron a presentarse a partir de las 32 h (22.5, 23.7 y 32.4% en CIDRn, CIDR1 y CIDR2, respectivamente), no hubo diferencias entre tratamientos en los porcentajes de vacas en estro por día post-retiro de dispositivo (P>0.05): 90.9, 88.4 y 88.1% para los grupos CIDRn, CIDR1 y CIDR2, tasa de gestación del 42.1, 37.1 y 36.1% en transferencia embrionaria en CIDRn, CIDR1 y CIDR2, respectivamente.

Los CIDR reutilizados también son eficientes para la sincronización de estros en ovejas, aunque el tiempo de permanencia intravaginal del dispositivo en su uso anterior afecta los parámetros reproductivos en el grupo de hembras a las que se les inserte el dispositivo

reutilizado; así mismo, se reduce el beneficio económico de la reutilización (Ungerfeld, 2009; Swelum *et al.*, 2018b). Según Vilariño *et al.* (2013), la tasa de gestación tiende a ser menor con los dispositivos utilizados tres veces en protocolos cortos en ovejas en comparación con un dispositivo nuevo. La reutilización de CIDR se ha aplicado en protocolos cortos de 5 días con tres usos utilizando el esquema CIDR + 300 UI de eCG + 5 mg de Dinoprost), con programas de IATF durante época de anestro (Ungerfeld, 2009; Pinna *et al.*, 2012).

En otro estudio, Swelum *et al.* (2018b) aplicaron protocolos de 6 días con cinco utilizaciones en ovejas Awassi (CIDR + 300 UI de eCG) en época reproductiva. Silva *et al.* (2014) utilizaron CIDR hasta tres veces en protocolos de 6 días asociados con la aplicación de un análogo de prostaglandina (0.263 mg) y eCG (250 UI) en la retirada del dispositivo en ovejas Texel. El porcentaje de presentación de estro con dispositivos de segundo y tercer uso fue de 93.9 y 91.1% y los porcentajes de gestación fueron de 72.7 y 64.7%, respectivamente, sin diferencias entre tratamientos. Resultados similares obtuvieron Bazzan *et al.* (2013) al tratar a las ovejas con un CIDR de 6 días de permanencia intravaginal en conjunto con 0.263 mg cloprostenol sódico (Sincrocio-Fine) y 250 UI de eCG.

Con la reutilización de dispositivos durante 7 días, combinados con análogos de PGF_{2α} y eCG (300-350 UI) al retiro del CIDR en programas de inseminación artificial a tiempo fijo (IATF) se reporta la presencia de estros >90% y tasa de gestación de 24% en ovejas Santa Inés y 54.5% en ovejas Suffolk (Cox *et al.*, 2012; Biehl *et al.*, 2019).

Güngör *et al.* (2009) trabajaron protocolos largos (12 días CIDR + 500 UI de eCG) comparando la eficacia de dispositivos nuevos y reutilizados en época de anestro, con ovejas Awassi, obteniendo 66.67% de estro dentro de las 36-60 h posteriores a la extracción del dispositivo e inyección de eCG en ambos tratamientos. Aunque más ovejas presentaron estro al utilizar CIDR nuevos, la tasa de gestación fue mayor en el tratamiento con CIDR reutilizados; sin embargo, esta diferencia no fue significativa ($P > 0.05$) presentando 53.3 y 60% de gestación respectivamente. Resultados similares en ambos tratamientos en protocolos largos en época de anestro demuestran la viabilidad de reutilizarlos.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Determinar el tratamiento de sincronización de estros con mejor respuesta sobre variables reproductivas en ovejas a partir de cuatro combinaciones entre los días de permanencia de CIDR reutilizado (10 y 12 días) y las dosis de gonadotropina coriónica equina (eCG, 300 y 400 UI).

3.2 Objetivos específicos

- Evaluar la respuesta a sincronización de estros (porcentaje de hembras que presentan estros e inicio de estros).
- Determinar los porcentajes de gestación y fertilidad, así como índice de prolificidad y tipo de parto.
- Determinar la concentración de progesterona en suero sanguíneo durante los tratamientos.

4. HIPÓTESIS

La sincronización de estros mediante CIDR reutilizados con protocolos largos de 12 días y mayor dosis de gonadotropina coriónica equina (400 UI) proporciona mejor respuesta de sincronización a estro, tasa de fertilidad, prolificidad y partos dobles en ovejas.

5. JUSTIFICACIÓN

La progesterona y los progestágenos son ampliamente utilizados tanto en inducción, como en sincronización de estros en ovejas; a diferencia de sus análogos, la progesterona natural tiene un tiempo medio de vida corto. Esta característica permite que al retiro de los dispositivos, los niveles de P₄ disminuyan rápidamente y de este modo, se elimine de manera casi inmediata el efecto de retroalimentación negativa hacia la liberación de gonadotropinas y se detone la ovulación.

El costo de sincronización con CIDR es elevado en comparación con otros fármacos. No obstante, en trabajos previos se ha comprobado que la reutilización es viable debido a que después de su uso durante el tiempo indicado por el laboratorio que los produce (12-14 días) aún quedan residuos hormonales. Esto permite que al reutilizarlos se reduzcan los costos a un 50% obteniendo altos porcentajes de sincronización y presentación de estros. Al adicionar dosis de eCG a su retiro se permite una sincronización más eficiente.

La reutilización de los CIDR en época reproductiva ofrece ventajas en los sistemas de producción ovina; por un lado mejora la rentabilidad económica para productores, al ofrecer la oportunidad de utilizar un método efectivo de sincronización de estros y al mismo tiempo, reducir el costo de los tratamientos. Otra ventaja de la reutilización se obtiene al momento de desechar los dispositivos reutilizados, ya que éstos contienen menos progesterona residual que los dispositivos de un solo uso, y se reduce el riesgo de liberación al medio ambiente.

La información existente sobre la reutilización de dispositivos se obtuvo de investigaciones realizadas en países como Egipto, Brasil y Uruguay, en los cuales evalúan la eficiencia de los CIDR reutilizados comparándolos con CIDR nuevos, o comparan efectos de protocolos largos versus protocolos cortos; sin embargo, los datos se obtuvieron en condiciones climáticas diferentes a nuestro país y con ovejas de razas como Texel y Awasi, razas poco comunes en México. Por lo que se consideró importante realizar un estudio con ovejas (Suffolk × Katahdin × Dorset) adaptadas a las condiciones climáticas del estado de México, una de las entidades con mayor producción de esta especie y de esta forma obtener datos sobre variables reproductivas

que puedan aportar información relevante a productores de la región, que les permita tener mayor producción de corderos por año a un menor costo, disminuir problemas reproductivos en las hembras por ejemplo presencia de vaginitis y al mismo tiempo evitar contaminación ambiental por el desecho de dispositivos con altos contenidos hormonales.

Por lo antes mencionado y la evidencia de la efectividad de reutilización de CIDR, se realiza la presente investigación donde se utilizan protocolos largos de sincronización con CIDR reutilizados asociados a diferentes dosis de gonadotropina coriónica equina para determinar cuál de esas combinaciones nos dará los mejores resultados en las variables reproductivas que se establecen.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Localización del área de estudio

La investigación se realizó en las instalaciones de la Unidad Ovina de la granja experimental del Colegio de Postgraduados, ubicada en Montecillo, Municipio de Texcoco, Estado de México, localizada a 19°27'18" LN y 98°54'26" LW y una altitud de 2241 msnm, con clima templado subhúmedo con lluvias en verano, temperatura media anual de 15.2°C y precipitación media anual de 644.8 mm (García, 2004).

6.2 Grupo experimental

Se emplearon 64 hembras ovinas (cruzas de Suffolk×Katahdin×Dorset) primaras de 12 meses de edad, con peso corporal promedio de 41.4± 4.9 kg y condición corporal 3 en escala 1-5, estabuladas y alimentadas con heno de avena con grano (*Avena sativa*), heno de alfalfa (*Medicago sativa*) y 300 g de pellet comercial de Purina (ovino reproductor 14% PC; 2.78 Mcal/kg EM), y acceso *ad libitum* a agua y minerales.

Previo al estudio, las ovejas se esquilan, desparasitaron con Endovet® polivitaminado (0.5 ml / 50 kg P.V. vía intramuscular) y se les suministró Bobact® 8 (2.5 ml vía subcutánea). El experimento se realizó entre los meses de abril y octubre del 2019.

6.3 Tratamientos

Las ovejas fueron distribuidas aleatoriamente en cuatro grupos experimentales (n= 16 ovejas/grupo) con tratamiento hormonal de sincronización de estro utilizando dispositivos intravaginales de elastómero de silicona impregnado con 0.3 g progesterona natural reutilizados y aplicación de eCG al retiro de los dispositivos (cuadro 1).

Cuadro 1. Designación de tratamientos de acuerdo a los días de permanencia intravaginal de CIDR reutilizado y dosis de eCG

Tratamientos		DOSIS de eCG	
		300 UI	400 UI
Permanencia de CIDR	10 Días	CIDR10-300	CIDR10-400
	12 Días	CIDR12-300	CIDR12-400

De acuerdo al protocolo de inducción a estro: En los tratamientos CIDR12-300 y CIDR12-400 se utilizaron los CIDR durante doce días (tomando como d 13 el día de la inserción del CIDR) y a su retiro (d -1) se aplicaron 300 y 400 UI de eCG respectivamente. En los tratamientos CIDR10-300 y CIDR10-400 se utilizaron CIDR durante 10 días, realizando las inserciones de CIDR el día -11 y se retiraron el día -1, se aplicaron dosis de 300 y 400 UI de eCG correspondientemente (Figura 6).

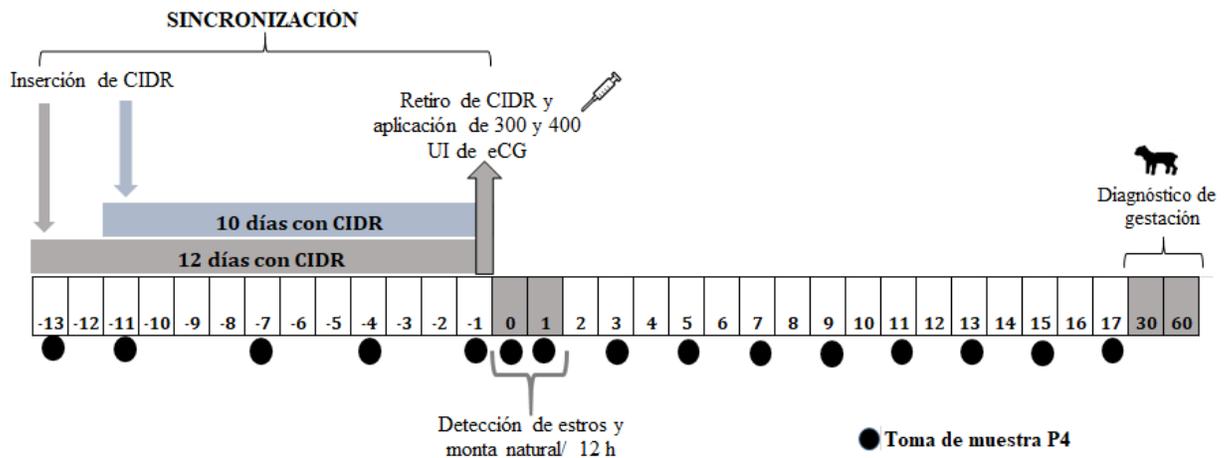


Figura 6. Protocolo de sincronización de estros

Tratamientos: 10 días con CIDR reutilizado y 300 UI de eCG, 10 días con CIDR reutilizado y 400 UI de eCG, 12 días con CIDR reutilizado y 300 UI de eCG, 12 días con CIDR reutilizado y 400 UI de eCG.

6.4 Procedimiento de sincronización de estros

Los dispositivos CIDR fueron previamente utilizados durante 11 días en borregas sanas del mismo rebaño; posterior a su retiro fueron lavados con agua purificada, secados y mantenidos en refrigeración hasta 24 horas antes de su reutilización.

Los CIDR reutilizados se insertaron intravaginalmente con la ayuda de un aplicador desinfectado con nitrofurazona en crema. Las hembras fueron limpiadas y desinfectadas en el área perivulvar con solución florfenicol/oxitetraciclina. Una vez retirado el aplicador se verificó que el dispositivo estuviera colocado correctamente y se revisó su permanencia *in situ* cada 24 horas. Al retirar los CIDR se aplicaron inyecciones con 300 y 400 UI de eCG (NOVORMON 5000[®] de Virbac) en la zona perivulvar de las hembras

6.5 Detección de estros

La detección de estros se inició 24 horas después del retiro del CIDR (día 0). Las hembras fueron servidas con tres montas con intervalo de 12 horas; se consideró que las hembras estaban en estro en cuanto permitieron la monta. En el proceso se utilizaron 19 machos de fertilidad probada asignados al azar a cada hembra que entró en estro.

6.6 Diagnóstico de gestación y partos

El porcentaje de gestación y el número de fetos se determinaron por ultrasonografía con un equipo Sonovet 600 y transductor transrectal de 7.5 Mhz en el día 30 después de las montas y se corroboró el día 60. En el diagnóstico de gestación mediante ultrasonido, los fetos se observaron como una estructura hiperecogénica rodeada por líquido amniótico percibido como estructura anecoica en las ovejas gestantes; las ovejas que no presentaron dichas estructuras se categorizaron como ovejas no gestantes. En el parto se registraron datos de los corderos nacidos, se obtuvo el porcentaje de fertilidad, tipo de parto (sencillo o doble) y se determinó índice de prolificidad.

6.7 Perfil hormonal

Se eligieron al azar 10 animales de cada tratamiento para tomar muestras de sangre mediante punción de la vena yugular; las muestras se colectaron en tubos de polipropileno de 5 ml cada 72 horas previo a las montas y posterior a éstas cada 48 horas para determinar las concentraciones de progesterona (ng/ml) en suero sanguíneo. En los tratamientos CIDR12-300 y CIDR 12-400 se obtuvieron 15 muestreos por oveja, mientras que en los tratamientos CIDR 10-300 y CIDR10-400 se recolectaron 14 muestras por oveja (Figura 6).

Las muestras de sangre fueron transportadas al laboratorio, donde se separó el suero por centrifugación a 1,500 g durante 20 min a 4°C; el suero obtenido fue transferido a microtubos de 1.5 ml y almacenados a -20°C hasta su análisis. Los valores de P₄ se determinaron mediante Radioinmunoanálisis (RIA) con el kit comercial PROGESTERONE [I-¹²⁵] RIA® cuya sensibilidad es de 0-37.7 ng/ml. El coeficiente de variación intra e interensayo fue de 7.6 y 8.2%. El análisis se realizó en el Laboratorio de hormonas proteicas y esteroides del Instituto Nacional

de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán, Departamento de Biología de la Reproducción.

6.8 Variables de respuesta

Las variables de respuesta se mencionan a continuación:

- a) Presentación de estros: Porcentaje de ovejas que presentaron estro posterior al retiro del CIDR.

$$\text{Presentación de estros} = \frac{\text{Ovejas tratadas que presentaron estro}}{\text{Total de ovejas tratadas}} \times 100$$

- b) Inicio de estro: Intervalo en horas transcurridas desde el retiro del CIDR hasta el momento del inicio del estro.

$$\text{Inicio de estro} = \text{hora del inicio de estro} - \text{hora del retiro del CIDR}$$

- c) Tasa de gestación: Porcentaje de ovejas gestantes después de la realización del servicio o monta.

$$\text{Tasa de gestación} = \frac{\text{Número de ovejas gestantes}}{\text{Total de ovejas tratadas}} \times 100$$

- d) Tasa de fertilidad: Porcentaje de ovejas que paren, respecto a las ovejas que entran a empadre.

$$\text{Tasa de fertilidad} = \frac{\text{Número de ovejas paridas}}{\text{Total de ovejas tratadas}} \times 100$$

- e) Tipo de parto: Porcentaje de partos dobles (dos corderos por oveja) y porcentaje de partos sencillos (un cordero por oveja).

- f) Índice de prolificidad: Total de corderos nacidos divididos entre el total de ovejas que paren.

$$\text{Índice de prolificidad} = \frac{\text{Total de corderos nacidos}}{\text{Total de ovejas que paren}}$$

g) Concentración de progesterona: Niveles de progesterona en suero sanguíneo (ng/ml) durante el periodo experimental.

6.9 Análisis estadístico

Se propuso un diseño experimental completamente al azar con cuatro tratamientos, utilizando 16 ovejas por tratamiento. El total de animales fue de 64. El modelo estadístico utilizado fue:

$$Y_{ij} = \mu_i + \tau_i + \varepsilon_{ij} \quad i=1,2,\dots,t \quad j=1,2,\dots,n$$

Donde

Y_{ij} = Observación de la j-ésima u.e. del i-ésimo tratamiento.

μ_i = Media del i-ésimo tratamiento.

τ_i = Efecto del tratamiento.

ε_{ij} = Error experimental de la unidad ij .

Las variables inicio de estro e índice de prolificidad fueron sometidas a *test* de normalidad de Shapiro-Wilk ($\alpha=0.05$). Si tuvieron un comportamiento de acuerdo con la distribución normal se propuso un Análisis de la Varianza ($\alpha=0.05$); en caso contrario se propusieron pruebas no paramétricas de Kruskal-Wallis ($\alpha=0.05$).

En las variables dicotómicas: presentación de estro (presentó estro o no presentó estro), tasa de gestación (gestante o no gestante), tasa de fertilidad (parió o no parió) y tipo de parto (doble o sencillo) se utilizó tanto la prueba de χ^2 mediante el uso de tablas de contingencia como las pruebas de análisis de proporciones de χ^2 con ($\alpha=0.05$).

En el caso de la variable concentración de progesterona, se realizó un sub muestreo de 10 ovejas elegidas aleatoriamente por tratamiento, de las cuales se tomaron 15 muestras en una secuencia de períodos de tiempo sucesivos (figura 6). La respuesta de cada oveja en los muestreos se midió mediante un análisis de medidas repetidas en el tiempo con el modelo mixto de covarianza MIXED, basado en las especificaciones del diseño completamente al azar con un

nivel de significancia ($\alpha=0.05$). Se probaron opciones alternativas concernientes a la estructura de covarianza de los errores simétrica compuesta (CS), No Estructurada (UN), y Autorregresiva de Orden 1 (AR1). El modelo estadístico propuesto fue:

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \delta_{j(i)} + P_k + (\tau P)_{ik} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde

Y_{ijk} = Variable respuesta en observación k, repetición j, tratamiento i.

μ = Media general.

τ_i = Efecto del i-ésimo tratamiento.

$\delta_{j(i)}$ = Efecto del j-ésimo animal dentro del i-ésimo tratamiento.

P_k = Efecto del k-ésimo periodo.

$(\tau P)_{ik}$ = Interacción tratamiento \times periodo.

ε_{ijk} = Error aleatorio asociado con la k-ésima medida repetida dentro del j-ésimo animal.

Para determinar el efecto e interacción de las hormonas aplicadas en el protocolo de sincronización, se analizaron los tratamientos con un arreglo factorial 2 \times 2 donde el factor A corresponde a la permanencia del dispositivo CIDR (10 y 12 días) y el factor B las dosis de eCG (300 UI y 400 UI) (cuadro 1). El Modelo mixto con arreglo factorial propuesto fue:

$$Y_{ijkl} = \mu + A_i + B_j + (A * B)_{ij} + \delta_{j(i)} + P_k + (AP)_{ik} + (BP)_{jk} + (A * B * P)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

Donde

Y_{ijkl} = Variable de respuesta.

μ = Media general.

A_i = Efecto del factor A al nivel i (permanencia del dispositivo CIDR).

B_j = Efecto del factor B al nivel j (dosis de eCG).

P_k = Efecto del periodo al nivel k.

$\delta_{j(i)}$ = Error aleatorio dentro de los efectos principales (periodos).

$(AB)_{ij}, (AP)_{ik}, (BP)_{jk}, (ABP)_{ijk}$ =Efecto de las interacciones.

ε_{ijkl} = Error aleatorio.

Los cálculos se apoyaron del paquete SAS 9.4 bajo Windows (SAS, 2010).

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 Presencia de estro

El 100% de las ovejas iniciaron el comportamiento de estro por efecto de la aplicación del protocolo de sincronización de estros de 10 y 12 días con CIDR reutilizado asociado a 300 o 400 UI de eCG, es decir, en esta variable no hubo diferencia ($P>0.05$) entre tratamientos.

El resultados obtenido en el presente estudio es igual al obtenido por Cox *et al.* (2012) cuya presencia de estros fue del 100% con protocolos de 7 días usando CIDR nuevos y reutilizados y similares a lo reportado por Pinna *et al.* (2012) quienes trabajaron con ovejas Santa Inês y evaluaron la reutilización del dispositivo CIDR en un tratamiento de cinco días, y obtuvieron el 95.1% del total de hembras en estro. También concuerdan con el estudio de Bazzan *et al.* (2013) en el que utilizaron hembras Texel e Ile de France en tratamiento de 7 días, en el cuál se obtuvieron 93.7 y 95.8% en la primera y segunda reutilización respectivamente. No obstante, Swelum *et al.* (2019) reportaron el 100% de estros al usar CIDR nuevos en protocolos de 12 días y 300 UI de eCG; este porcentaje se redujo a 66.67% al reutilizarlos durante el mismo tiempo.

De acuerdo a Swelum *et al.* (2019) existe una relación entre las concentraciones de P_4 durante el tratamiento y el recambio folicular ovárico en ovejas, y tal como lo menciona Bazzan *et al.* (2013) el uso de CIDR durante períodos similares a la duración de vida del cuerpo lúteo (12-14 días) estimulan el bloqueo de LH, promoviendo así la sincronización de una nueva oleada folicular.

7.2 Inicio de estro

La variable inicio de estro se analizó mediante una prueba de normalidad, donde se obtuvo $P<0.05$ por lo cual se rechazó el supuesto de normalidad de los datos y se decidió transformarlos a logaritmos naturales, de esta manera tampoco se obtuvo una distribución normal y se optó por utilizar la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis.

En esta variable no se observó diferencia entre tratamientos ($P>0.05$), se obtuvo un promedio de 30.00 ± 3.79 horas (h) en los tratamientos CIDR10-300 y 30.75 ± 3.71 h en el

tratamiento CIDR12-300, en cuanto al tratamiento CIDR10-400 los estros se presentaron a las 28.13 ± 3.6 h y a las 28.88 ± 2.42 h en el tratamiento CIDR12-400.

El monitoreo de las ovejas inició 24 h posteriores al retiro del CIDR. Se detectó estro en 21.88% (14/64) de las ovejas en estudio; 18.75% (3/16) del tratamiento CIDR10-300 y 37.5% (6/16) del tratamiento CIDR10-400, así como 12.5% (2/16) en el tratamiento CIDR12-300 y 18.75% (3/16) en el CIDR12-400. La mayor concentración de inicio de estros fue a las 30 h, se observó 87.5% (56/64) de ovejas del estudio: 81.25% (13/16) en CIDR10-300 y 93.75% (15/16) en CIDR10-400, mientras que en CIDR12-300 se detectó 75.00% (12/16) y 100% (16/16) en CIDR12-400, el comportamiento de esta variable se muestra en la figura 7.

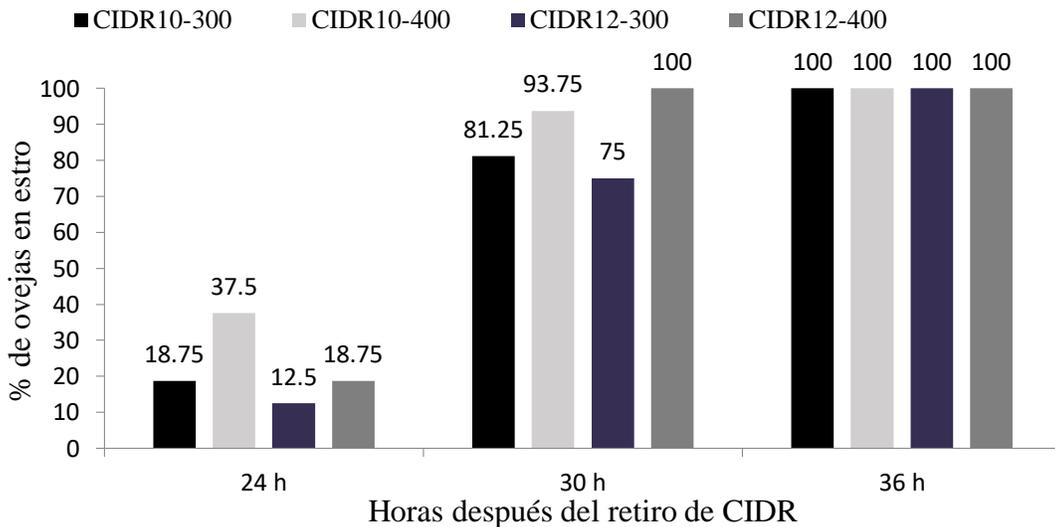


Figura 7. Proporción de ovejas con presencia de estro a partir de 24 horas posteriores al retiro de CIDR y aplicación de eCG.

El inicio de estro se observó entre las 24 y 36 h después del retiro de CIDR, es decir, en un intervalo de 12h dentro del cual todas las ovejas iniciaron el comportamiento de estro y permitieron la monta. Este resultado coincide con lo reportado por Martínez-Ros *et al.* (2018) quienes obtuvieron presentación de estros a las 33.8 ± 4.0 h en un intervalo de 24-40h al utilizar protocolos de siete días usando CIDR nuevos asociados a 5 mg de prostaglandina y 400 UI de eCG. Resultados similares se obtienen al aplicar 300 UI de eCG, ya que el promedio obtenido

por Biehl *et al.* (2019) fue de 34.9 h, con mayor concentración de presencia de estros entre 36 a 41.9 h.

El uso de eCG reduce el intervalo de ovulación acelerando la presentación del estro (Cox *et al.*, 2012) al estimular un mejor reclutamiento y maduración de folículos y ovocitos (Manes y Ungerfeld, 2015). Cuando se reducen las dosis de eCG, el estímulo de gonadotropinas es menor. Cox *et al.* (2012) observaron inicios de estros a las 32.8 ± 3.2 h al utilizar 350 UI de eCG, mientras que en ovejas a las que no les adicionaron dosis de eCG tuvieron un intervalo más amplio (45.3 ± 2.8 h). Bazzan *et al.* (2013) reportan un intervalo más amplio (24-72 h) en inicio de estros al usar 200 UI de eCG y en promedio 48 h después del retiro de CIDR.

Los resultados obtenidos en el presente estudio indican que después de haber empleado los dispositivos durante 11 días, éstos aun contienen altos niveles de P₄. Por lo tanto, al ser reutilizados durante 10 y 12 días tienen la capacidad de suprimir el inicio de estro y la ovulación a través del mecanismo de retroalimentación negativa sobre la liberación de GnRH y por consecuencia también inhiben la liberación de LH y la FSH (Arbués *et al.*, 2018). La concentración de P₄ que contiene el CIDR reutilizado tiene la capacidad de simular un cuerpo lúteo funcional y al retirar los dispositivos los niveles plasmáticos de progesterona disminuyen, estimulando la secreción de LH y FSH (Cox *et al.*, 2012). La aplicación de 300 y 400 UI de eCG reduce el intervalo de inicio de estro y la ovulación se produce entre 10 a 12 h después de observarse los signos de estro (Manes y Ungerfeld, 2015).

7.3 Tasa de gestación y tasa de fertilidad

La tasa de gestación fue de 84.38% y la diferencia entre tratamientos no fue significativa ($P > 0.05$), mientras que la tasa de fertilidad fue 82.81%; en esta variable tampoco se detectó diferencia entre tratamientos ($P > 0.05$). En el tratamiento CIDR10-300 se obtuvo 93.75% de ovejas gestantes, sin embargo, una oveja perteneciente a este tratamiento abortó, reduciendo el porcentaje de fertilidad a 87.5%; los demás tratamientos mantuvieron los mismos porcentajes, tanto en tasa de gestación como en tasa de fertilidad (cuadro 2).

Cuadro 2. Respuesta tasa de gestación y tasa de fertilidad

Tratamiento	Variables	
	Tasa de gestación %	Tasa de fertilidad %
CIDR10-300	93.75 (15/16)	87.50 (14/16)
CIDR10-400	81.25 (13/16)	81.25 (13/16)
CIDR12-300	75.00 (12/16)	75.00 (12/16)
CIDR12-400	87.50 (14/16)	87.50 (14/16)
χ^2 - Value	0.4992	0.7512

La tasa de gestación obtenida en el presente estudio es superior a lo reportado por Silva *et al.* (2014) quienes obtuvieron porcentajes de 73.3% de ovejas gestantes con CIDR nuevos y 72.7 a 64.7% en la primera y segunda reutilización usando monta natural, mientras que Gastal *et al.* (2013) usaron inseminación artificial y alcanzaron 68% de ovejas gestantes en el segundo uso de CIDR. En ambos estudios siguieron un protocolo de 6 días con CIDR, aplicaron 250 UI de eCG y (0.133 mg o 0.263mg) cloprostenol sódico. Swelum *et al.* (2019) usaron protocolos de 12 días y obtuvieron 44.44% de gestación en el segundo uso de CIDR utilizando inseminación artificial a tiempo fijo (ATF). La diferencia entre los resultados obtenidos por los autores antes mencionado es inferior a los del presente estudio, lo cual puede deberse a diferentes factores como la duración de los protocolos de sincronización, las dosis de eCG empleadas, la raza, y el uso de monta natural o inseminación artificial.

La tasa de gestación y tasa de fertilidad obtenidas están asociadas a la eficiencia de los dispositivos reutilizados durante 10 y 12 días al inhibir la secreción de GnRH, induciendo en su retiro la dinámica folicular en ovejas. El resultado también se explica por el efecto de utilizar 300 y 400 IU de eCG, ya que la aplicación de esta hormona generalmente mejora el crecimiento folicular, incrementa el índice de ovulación y de concepción (Quispe *et al.*, 1995; Boscos *et al.* 2002).

A pesar que los protocolos largos basados en P₄ y eCG se asocian a alteraciones en la calidad de los ovocitos, que determinan tasas de fertilización bajas y desarrollo embrionario deteriorado (Viñoles *et al.*, 2001; Berlinguer *et al.*, 2007), en el presente estudio se obtuvo buena respuesta en las tasas de gestación y fertilidad al asociar protocolos largos con dosis de 300 y 400 UI de eCG.

7.5 Índice de prolificidad y Tipo de parto

La variable índice de prolificidad fue sometida a la prueba de normalidad donde $P < 0.05$ por lo cual se rechazó el supuesto de normalidad, los datos se transformaron a logaritmos naturales con los cuales tampoco se obtuvo una distribución normal; por lo tanto, se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis.

El índice de prolificidad fue de 1.60 y no se detectó diferencia entre tratamientos ($P > 0.05$), sin embargo, al utilizar 300 UI de eCG se obtuvieron índices de prolificidad por debajo de 1.5 (prolificidad media); en contraste, los tratamientos con 400 UI de eCG se presentaron alta prolificidad con un valor cercano a 2 (cuadro 3).

En la variable tipo de parto no existe diferencia entre tratamientos ($P > 0.05$) al ser analizados con tablas de contingencia de χ^2 (cuadro 3); no obstante, al realizar pruebas de análisis de proporciones de χ^2 con nivel de significancia al 10% se observó diferencia entre CIDR12-300 y CIDR10-400 ($P = 0.082$), así como CIDR10-300 y CIDR10-400 ($P = 0.079$).

Al analizar la variable tipo de parto por medio de tablas de contingencia de χ^2 (cuadro 3) no se aprecia diferencia entre tratamientos ($P > 0.05$); no obstante, al realizar pruebas de análisis de proporciones de χ^2 con nivel de significancia al 10% se observó diferencia entre CIDR12-300 y CIDR10-400 ($P = 0.082$), así como CIDR10-300 y CIDR10-400 ($P = 0.079$).

Cuadro 3. Resultados obtenidos en las variables índice de prolificidad y tipo de parto

Tratamiento	Variable		
	Índice de prolificidad ¹	Tipo de parto	
		Sencillo %	Gemelos %
CIDR10-300	1.43	57.14	42.86
CIDR12-300	1.36	58.33	41.67
CIDR10-400	1.82	23.08	76.92
CIDR12-400	1.69	28.57	71.43
χ^2 - Value	0.0904	0.1332	0.1332

¹Índice de prolificidad: Total de corderos nacidos /total de ovejas que paren.

El índice de prolificidad en el presente estudio es superior al obtenido por Swelum *et al.* (2018b) en protocolos de 6 días con CIDR reutilizados asociados a 300 UI de eCG en ovejas Awassi (1.27 con CIDR nuevos, 1.46 en el segundo uso y 1 del tercer al sexto uso), esto se debe en gran medida a que el índice de prolificidad de las ovejas Awassi oscila entre 1.02 y 1.40 (Galal *et al.*, 2008), mientras que en ovejas Dorset y Katahdin se obtienen índices de prolificidad de 1.20 a 1.66 (Wildeus, 2000).

Vilariño *et al.* (2013) y Pinna *et al.* (2012) mencionan que el uso de dispositivos reutilizados una o dos veces en protocolos cortos son tan efectivos como el uso de dispositivos nuevos para sincronizar estros y la ovulación, con parámetros reproductivos similares. La dosis de 400 UI de eCG favoreció el porcentaje de partos dobles y el índice de prolificidad. El uso de eCG modifica la tasa ovulatoria, al ser utilizado en dosis altas en protocolos de sincronización e inducción de estros causa un efecto superovulatorio en las ovejas y por consiguiente un incremento en la prolificidad (Zelege *et al.*, 2005; Azawi y Al-Mola, 2010; Quintero-Elisea *et al.*, 2011).

7.6 Concentración de Progesterona (P₄) en plasma

7.6.1 Análisis mixto

El análisis de la variable concentración de progesterona en plasma se realizó con la estructura de covarianza heterogénea. Modelo de primer orden autoregresivo **TYPE=AR (1)** que fue la que más se adecuó a los datos de acuerdo a la información suministrada por los criterios Bayesiano de Schwarz o de Información de Akaike.

En el cuadro 4 se muestra que hubo diferencia entre tratamientos ($P \leq 0.05$), por lo tanto se rechaza la H_0 que supone igualdad entre tratamientos, tiempo y la interacción entre ambos. El comportamiento de los animales en cada tratamiento no difiere ($P > 0.05$). La varianza entre animales dentro del tratamiento fue de 0.5520 mientras que la varianza entre observaciones tomadas en diferente período de tiempo fue de 3.0327.

Cuadro 4. Test error tipo 3 de efectos fijos del análisis mixto

Fuente de variación	Valor de F	Pr< F
Tratamiento	7.04	0.0006
Animal (Tratamiento)	1.57	0.0744
Tiempo	61.30	<0.0001
Tratamiento* Tiempo	4.45	<0.0001

En el cuadro 5 se muestran las comparaciones de las medias de mínimos cuadrados, donde el día -13 del periodo experimental (d-13) corresponde al día de inserción de los dispositivos intravaginales CIDR en las ovejas de los tratamientos con 12 días de permanencia de CIDR (CIDR12-300 y CIDR12-400) por lo tanto, únicamente se comparan estos dos tratamientos y no se observaron diferencias entre ellos ($P>0.05$). El d-11 corresponde al día de inserción del CIDR en las ovejas con 10 d de permanencia de CIDR (CIDR10-300 y CIDR10-400), se detectó diferencia entre tratamientos ($P\leq 0.05$) y las concentraciones más altas de P_4 corresponden a los tratamientos con 12 d de CIDR, esto se debe a que las ovejas pertenecientes a estos tratamientos llevaban 2 d con CIDR. En los días; -7, -4 y -1, todas las ovejas contaban con efecto de liberación de P_4 del CIDR, las concentraciones observados en los 4 tratamientos indican que los CIDR reutilizados son capaces de elevar las concentraciones de progesterona simulando la actividad de un cuerpo lúteo. Se aprecia diferencia entre tratamientos ($P\leq 0.05$) y las concentraciones más altas de progesterona en estos tres días se observaron en los tratamientos con 10 d de CIDR. El d-1 se retiraron los CIDR y se aplican las dosis de 300 y 400 UI de eCG.

Después de 24 horas del retiro de CIDR (d0) las concentraciones de P_4 disminuyeron a < 2 ng/mL al eliminar el estímulo de progesterona exógena y aplicar las dosis de eCG, no hubo diferencia entre tratamientos ($P>0.05$) y en el d1 (48 horas después del retiro) se encontraron concentraciones subluteales < 1 ng/ml en el 100% de las ovejas muestreadas debido a la eliminación del CIDR, y no se detectó diferencia entre tratamientos ($P>0.05$). Wheaton *et al.* (1993) mencionan que la concentración de P_4 aumenta rápidamente en la sangre después de la inserción del CIDR y también disminuye inmediatamente después de la extracción del CIDR. La reducción de la concentración de P_4 es un prerrequisito necesario para desinhibir la secreción de GnRH en el hipotálamo e iniciar la acción de gonadotropinas, conduciendo a la presencia de estro y ovulación (Fabre-Nys y Gelez, 2007; Abecia *et al.*, 2011; Amiridis y Cseh, 2012).

Cuadro 5. Medias de mínimos cuadrados aplicando la prueba de Tukey- Kramer ajustada y errores estándar de la variable niveles de progesterona (P₄)

Día (d)	Tratamiento				P>F
	CIDR10-300	CIDR10-400	CIDR12-300	CIDR12-400	
-13	---	---	1.84±0.17 ^a	1.64±0.12 ^a	0.7957
-11	2.66±0.28 ^b	2.63±0.09 ^b	4.94±0.37 ^a	5.95±1.10 ^a	<.0001
-7	5.53±0.35 ^a	6.47±0.18 ^a	4.80±0.34 ^b	4.53±0.48 ^b	0.0626
-4	6.02±0.41 ^a	5.45±0.28 ^a	3.49±0.24 ^b	3.26±0.25 ^b	0.0004
-1	6.95±0.54 ^a	6.27±0.31 ^a	3.93±0.25 ^b	3.86±0.43 ^b	<.0001
0	1.35±0.25 ^a	1.13±0.16 ^a	1.41±0.15 ^a	1.52±0.14 ^a	0.9671
1	0.44±0.04 ^a	0.63±0.08 ^a	0.56±0.06 ^a	0.38±0.06 ^a	0.9882
3	4.82±0.056 ^a	3.98±0.31 ^a	2.06±0.16 ^b	2.21±0.16 ^b	0.0006
5	6.84±0.61 ^a	6.47±0.60 ^a	3.97±0.44 ^b	4.60±0.29 ^b	0.0004
7	10.38±0.66 ^a	8.13±0.62 ^{ab}	7.11±0.70 ^b	7.41±0.55 ^b	0.0001
9	9.33±0.87 ^a	8.52±0.59 ^{ab}	6.51±0.74 ^c	7.74±0.53 ^{bc}	0.0033
11	9.27±0.74 ^a	8.48±0.62 ^a	7.47±0.79 ^a	8.88±0.62 ^a	0.1175
13	8.29±0.55 ^a	7.54±0.41 ^a	7.44±0.53 ^a	9.28±0.71 ^a	0.0713
15	9.83±0.95 ^a	7.85±1.09 ^a	8.17±0.05 ^a	8.42±1.00 ^a	0.0594
17	9.64±0.58 ^a	6.54±1.09 ^b	6.55±0.89 ^b	7.40±1.05 ^b	0.0002

^{a,b,c} medias con diferente literal en hileras son diferentes (P<0.05).

El aumento en concentraciones de P₄ >1 ng / mL de todas las ovejas en d3 y d5 indican que la ovulación fue inducida en los cuatro tratamientos, aunque la concentración de P₄ fue significativamente mayor (P<0.05) en los tratamientos CIDR10-300 y CIDR10-400 en comparación con los tratamientos de 12d de CIDR, no se observan valores subluteales en ninguna de las ovejas muestreadas. En los d7 y d9 el tratamiento CIDR10-300 fue diferente (P≤0.05) a los tratamientos con 12 d de CIDR. En los muestreos tomados en d11, d13 y d15 no hubo diferencia entre tratamientos (P>0.05), se mantuvieron concentraciones altas de P₄. El d 17 hubo una disminución de P₄ en los tratamientos con 12 d de CIDR y CIDR10-400, referente a este comportamiento, Bazer (2013) menciona que 12 a 13 días después del apareamiento es un periodo crítico en la gestación de ovejas debido al inicio de la regresión del CL y la luteólisis.

En la figura 7 se aprecian los promedios de concentración de P₄ obtenidos por la respuesta a cada tratamiento. La concentración >1.0 ng/mL de P₄ en los cuatro tratamientos, previo a la inserción de CIDR confirman actividad luteal en las ovejas (Uribe-Velásquez *et al.*, 2011), se observa interacción entre los 4 tratamientos entre d -11 y d - 7, también hay otra interacción entre los tratamientos con 10 días de CIDR en el intervalo d -7 y d -4, como las líneas se cruzan fuera del espectro de valores estudiados, la interacción es moderada.

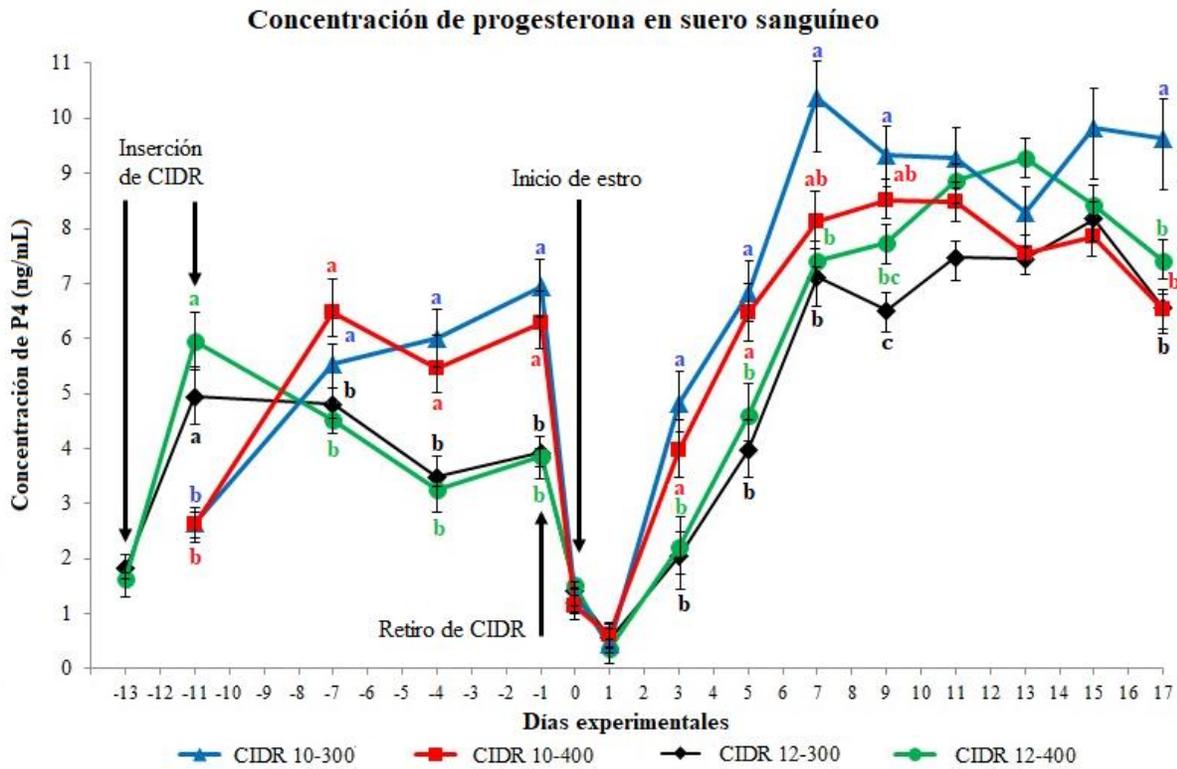


Figura 8. Comportamiento de los niveles de P₄ a través del tiempo, análisis de medidas repetidas.

Entre los tratamientos CIDR10-400 y CIDR12-400 se observa interacción moderada en el intervalo de d9 a d11, así como una interacción fuerte entre los grupos CIDR10-400 y CIDR12-300 el d 13. En la figura 8 se observa que durante el periodo de muestreos, los tratamientos con 10 días de permanencia de CIDR mantienen niveles de P₄ mayores ($P > 0.05$) que los tratamientos con 12 días de permanencia de CIDR.

7.6.2 Análisis mixto con arreglo factorial 2×2

Se procedió a analizar los tratamientos mediante un procedimiento mixto con arreglo factorial 2×2, donde el factor A correspondió a los días de permanencia de CIDR (10 o 12 días) y el Factor B a la dosis de eCG (300 o 400 UI). Los resultados obtenidos se muestran en el cuadro 6 donde se aprecia que hay efecto del tiempo de permanencia del CIDR (Factor A) ($P < 0.05$), mientras que la dosis de eCG (Factor B) no es significativo ($P > 0.05$). La interacción entre $A \times B$ es significativa ($P = 0.0152$): existe una relación significativa entre de $A \times$ Tiempo ($P < 0.0001$); no lo hay en la interacción $B \times$ Tiempo ($P > 0.05$) ni en la interacción entre $A \times B \times$ Tiempo.

Cuadro 6. Test error tipo 3 de efectos fijos del análisis mixto con arreglo factorial 2×2

Fuente de variación	Valor de F	Pr < F
A	14.62	0.0004
B	0.53	0.4713
A*B	6.40	0.0152
Animal (A*B)	1.57	0.0746
Tiempo	61.30	<.0001
A*Tiempo	10.56	<.0001
B* Tiempo	1.60	0.0796
A*B*Tiempo	1.38	0.1670

Se corroboró que los tratamientos con 10 días de permanencia de CIDR son diferentes ($P < 0.05$) a los tratamientos con 12 días. Se obtienen mayores concentraciones de P_4 en suero al utilizar protocolos de sincronización con 10 días de permanencia de CIDR reutilizado, aplicar 300 o 400 UI eCG no influye sobre las concentraciones séricas de P_4 , lo cual también lleva a la conclusión que el número de cuerpo lúteos formados en el ovario después de la ovulación no influyen sobre las concentraciones de P_4 en suero.

De acuerdo al comportamiento de las concentraciones séricas de P_4 , es posible decir que los cuatro tratamientos resultaron efectivos para mantener concentraciones de P_4 que imitan la fase luteal durante los periodos de permanencia de 10 y 12 días. Una vez retirados los CIDR, el 100% de las ovejas presentaron estro, ovularon y posteriormente elevaron concentraciones de P_4 debido al desarrollo de al menos un CL funcional; sin embargo, en el 15% de las ovejas muestreadas no hubo reconocimiento materno. Esta afirmación se sustenta en que estas ovejas se

identificaron como no gestantes al realizar el diagnóstico de gestación mediante ultrasonografía 30 d después del periodo de empadre.

8. CONCLUSIONES

La hipótesis H_a en la cual se plantea que el tratamiento con 12 días de permanencia de CIDR reutilizado asociado a 400 UI de eCG (CIDR12-400) proporciona mejor respuesta en las variables reproductivas evaluadas en la presente investigación se rechaza al no obtener diferencia significativa entre tratamientos en las variables; presentación de estro, inicio de estro, tasa de gestación, tasa de prolificidad, índice de prolificidad y tipo de parto. En cuanto a las concentraciones de P_4 durante el periodo de muestreo, indican que los tratamientos con 10 días de CIDR mantienen mayores concentraciones de P_4 que los tratamientos con 12 días de CIDR, las dosis de eCG no tiene efecto sobre las concentraciones de P_4 a menos que se combine con CIDR.

Se cumplieron los objetivos planteados y se determinó que los cuatro tratamientos con CIDR reutilizado asociados a eCG en época reproductiva son eficaces en la sincronización de estros. Se determinó que la aplicación de 300 a 400 UI de eCG al momento del retiro de los dispositivos permite que los estros se concentren dentro de las 36 h posteriores.

La adición de diferentes dosis de eCG al momento del retiro del CIDR causa efecto positivo en las principales variables reproductivas (presencia de estro, inicio de estro, índice de prolificidad y tipo de parto); es decir, con dosis de 400 UI se mejoran los resultados en dichas variables, acortan el inicio de estro, aumentan el índice de prolificidad, y aumentan el porcentaje de partos dobles.

9. IMPLICACIONES Y RECOMENDACIONES

Aunque se encontraron estudios previos en los que se aplican dosis de $\text{PGF}_{2\alpha}$ en momento de la remoción del dispositivo, en el presente estudio los resultados fueron satisfactorios con la aplicación de CIDR y administración de eCG al retiro de los dispositivos, sin afectar la sincronización de estros al prescindir de la aplicación $\text{PGF}_{2\alpha}$.

Se recomienda la reutilización de dispositivos de P_4 natural (CIDR) en protocolos largos de sincronización de 10 y 12 días asociado a 300 y 400 UI de eCG en ovejas sanas, utilizando monta natural o inseminación artificial en época reproductiva y en el mismo rebaño, como una estrategia para disminuir los costos en programas de sincronización de estros en ovinos, ya que los dispositivos elevan las concentraciones de P_4 en suero sanguíneo a niveles capaces de bloquear la oleada de LH y prevenir la ovulación.

Se sugiere realizar estudios con CIDR reutilizado asociado a 400 UI de eCG en periodos más cortos para determinar si existe un protocolo que permita más de una reutilización de los dispositivos y al mismo tiempo mantenga las variables reproductivas estudiadas en niveles similares que al utilizar CIDR nuevos.

10. LITERATURA CITADA

- Abecia, J. A., F. Forcada, and A. González-Bulnes. 2011. Pharmaceutical control of reproduction in sheep and goats. *Food Animal Practice* 27: 67-79.
- Abecia, J. A., F. Forcada, and A. González-Bulnes. 2012. Hormonal control of reproduction in small ruminants. *Animal Reproduction Science* 130: 173-17. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2012.01.011>
- Aguilar-Martínez, C. U., J. M. Berruecos-Villalobos, B. Espinoza-Gutierrez, J. C. Segura-Correa, J. Valencia-Méndez, y A. Roldán-Roldán. 2017. Origen, historia y situación actual de la oveja pelibuey en México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 20: 429-439. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93953814003>
- Alila, H. W., and W. Hansel. 1984. Origin of different cell types in the bovine corpus luteum as characterized by specific monoclonal antibodies. *Biology of Reproduction*. 31: 1015-1025.
- Allen, W. R., and F. Stewart. 2001. Equine placentation. *Reproduction Fertility and Development* 13: 623-634. <https://doi.org/10.1071/RD01063>
- AMCO. 2007. Catálogo de razas ovinas en México. Asociación Mexicana de Criadores de Ovinos. https://www.uno.org.mx/razas_ovinas/catalogo_razas.pdf
- Amiridis, G. S., and S. Cseh. 2012. Assisted reproductive technologies in the reproductive management of small ruminants. *Animal Reproduction Science* 130: 152-161. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2012.01.009>
- Arbués, R., C. Quintana, E. Yáñez, M. Kornuta, y J. Fernández. 2018. Evaluación de diferentes dosis de gonadotrofina coriónica equina en el protocolo de sincronización de celo en ovejas. *Revista Veterinaria* 29: 104-108. <https://doi.org/10.30972/vet.2923273>
- Arroyo, L. J., J. Gallegos-Sánchez, A. Godoy, y J. Mendez. 2006. Sistemas neuronales de retroalimentación durante el ciclo reproductivo anual en oveja: una revisión. *Interciencia* 31: 8-15.
- Arroyo, J. 2011. Estacionalidad reproductiva de la oveja en México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 14: 829-845.
- Arteaga, C. J. 2008. Situación actual de la ovinocultura en México. AMCO. II Foro de rentabilidad ovina. Boca del Rio, Veracruz, México.
- Avendaño, L., F. D. Álvarez, and L. Molina. 2007. Reproduction performance of pelibuey ewes in response to estrus synchronization and artificial insemination in Northwestern Mexico. *Journal of Animal and Veterinary Advances* 6: 807-812.

- Azzarini, M. 2001. Evaluación del efecto de dispositivo intravaginal con progesterona (CIDR-G) o un progestágeno sintético (MAP), sobre la sincronización del ciclo estral y la fertilidad de las ovejas en otoño. *Producción Ovina*. Volumen 8. Uruguay.
- Azawi, O. I., and M. K. Al-Mola. 2010. A study on superovulation using FSH and eCG in Awassi ewes. *Tropical Animal Health and Production* 42: 799-801.
- Barrell, G. K., M. S. Moenter, A. Caraty, and J.F. Karsch, 1992. Seasonal changes of gonadotropin releasing hormone secretion in the ewe. *Biology of Reproduction* 46: 1130-1135. <https://doi.org/10.1095/biolreprod46.6.1130>
- Bartlewski P. M, T. E. Baby, and J. L Giffin. 2011. Reproductive cycles in sheep. *Animal Reproduction Science* 124: 259-268. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2011.02.024>.
- Bazer, F. W. 2013. Pregnancy recognition signaling mechanisms in ruminants and pigs. *Journal of Animal Science and Biotechnology* 4: 23-32.
- Bazzan, A. P., D. Tedesco, A. L. Menestrina, S. A. Machado, R. X. da Rocha, e J. F. Bragança. 2013. Reutilização de um dispositivo intravaginal com progesterona na indução e sincronização do estro ovino. *Revista Portuguesa de Ciencias Veterinarias* 108: 143-146.
- Berlinguer, F., A. Gonzalez-Bulnes, S. Succu, G. Leoni, F. Mossa, D. Bebbere, C. Ariznavarreta, J. A. F. Tresguerres, A. Veiga-Lopez, and S. Naitana. 2007. Effects of progestagens on follicular growth and oocyte developmental competence in FSH-treated ewes. *Domestic Animal Endocrinology* 32: 303-314.
- Bernard, D.J., J. Fortin, Y. Wang, and P. Lamba. 2010. Mechanisms of FSH synthesis: What we know, what we don't, and why you should care. *Fertility and Sterility* 93: 2465-85.
- Biehl, M. V., M. V. C. de Ferraz Junior, J. P. R. Barroso, I. Susin, E. M. Ferreira, D. M. Polizel, and A. V. Pires. 2019. The reused progesterone device has the same effect on short or long estrus synchronization protocols in tropical sheep. *Tropical Animal Health and Production* 51: 1545-1549. <https://doi.org/10.1007/s11250-019-01841-1>
- Boari R, N. Chuard, V. Fernández, y P. Pouiller. 2014. Mercado de ganados y carnes. *Proyecciones 2023*. OCDE-FAO. Consultado Marzo 25, 2020.
- Bobadilla-Soto, E. E., R. G. Salas, F. J. P. Padilla, and M. Pera-Peña. 2015. Unit displacement of sheep production in Mexico by effect of imports. *International Journal of Development Research* 5: 3607-3612.
- Boscós, C. M., F. C. Samartzi, S. Dellid, A. Rogge, A. Stefanakis, and E. Krambovitis. 2002. Use of progestagen-gonadotrophin treatment in estrus synchronization of sheep. *Theriogenology* 58: 1261-1272. [https://doi.org/10.1016/S0093-691X\(02\)01040-3](https://doi.org/10.1016/S0093-691X(02)01040-3)

- Cabodevila, J y S. Torquati. 2000. Superovulación de hembras bovinas. En: Biotecnología de la Reproducción. Editado Por: Palma, G. A. 79 pp.
- Campbell, B. K. 2009. The endocrine and local control of ovarian follicle development in the ewe. *Animal Reproduction Science* 6: 159-171.
- CONAPO. 2016. Consejo Nacional de Población. Datos de proyecciones.http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Proyecciones_Datos.
- Correa, L. M. y J. L. Fernández. 2017. Influencia de la melatonina sobre la fisiología y la conducta de ungulados. *Revista de Investigaciones Altoandinas* 3: 337-350.
- Cox, J. F., R. Allende, E. Lara, A. Leiva, T. Díaz, J. Dorado, and F. Saravia. 2012. Follicular dynamics, interval to ovulation and fertility after AI in short-term progesterone and PGF_{2a} oestrous synchronization protocol in Sheep. *Reproduction in Domestic Animals* 47: 946-951.
- Cunningham, J. G. 2003. *Fisiología Veterinaria*. 3a ed. Elsevier España S. A. Madrid, pp: 382-395.
- Driancourt, M.A. 2001. Regulation of ovarian follicular dynamics in farm animals. Implications for manipulation of reproduction. *Theriogenology* 55: 1211-1239. [https://doi.org/10.1016/S0093-691X\(01\)00479-4](https://doi.org/10.1016/S0093-691X(01)00479-4)
- Donadeu, F. X., S. N. Schauer, and D. Sontakke. 2012. Involvement of miRNAs in ovarian follicular and luteal development. *Journal of Endocrinology* 215: 323-334. <https://doi.org/10.1530/JOE-12-0252>
- Evans, A. C., P. Duffy, N. Hynes, and M. P. Boland. 2000. Waves of follicle development during the estrous cycle in sheep. *Theriogenology* 53: 699-715. [https://doi.org/10.1016/S0093-691X\(99\)00268-X](https://doi.org/10.1016/S0093-691X(99)00268-X)
- Evans, A. C. 2003. Ovarian follicle growth and consequences for fertility in sheep. *Animal Reproduction Science* 78: 289-306. [https://doi.org/10.1016/S0378-4320\(03\)00096-4](https://doi.org/10.1016/S0378-4320(03)00096-4)
- Evans, A. C., P. Duffy, T. F. Crosby, P. A. Hawken, M. P. Boland, and A. P. Beard. 2004. Effect of ram exposure at the end of progestagen treatment on estrus synchronization and fertility during the breeding season in ewes. *Animal Reproduction Science* 84: 349-358. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2003.12.013>
- Fabre, S., A. Pierre, P. Mulsant, L. Bodin, E. Di Pasquale, and L. Persani. 2006. Regulation of ovulation rate in mammals: contribution of sheep genetic models. *Reproductive Biology and Endocrinology* 4: 20. <https://doi.org/10.1186/1477-7827-4-20>
- Fabre-Nys, C., and H. Gelez. 2007. Sexual behavior in ewes and other domestic ruminants. *Hormones and Behavior* 52: 18-25. <https://doi.org/10.1016/j.yhbeh.2007.04.001>

- FAO. 2015. The Second Report on the State of the World's Animal Genetic Resources for Food and Agriculture, edited by B.D. Scherf & D. Pilling. FAO Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture Assessments. pp: 11-14
- FAOSTAT. 2017. Global statistical yearbook. World food and agriculture. Production of sheep in the world. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QL>.
- Fatet, A., M. T. Pellicer-Rubio, and B. Leboeuf. 2011. Reproductive cycle of goats. *Animal Reproduction Science* 124: 211-219. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2010.08.029>
- Fierro, C., J. Gil, S. Viñoles, and J. Olivera-Muzante. 2013. The use of prostaglandins in controlling estrus cycle of the ewe; a review. *Theriogenology* 79: 399-408. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2012.10.022>.
- Findlay, J. K., K. R. Dunning, R. B. Gilchrist, K. J. Hutt, I. Darry, L. Russell, and K.A. Walters. 2019. The ovary: Chapter 1 Follicle Selection in Mammalian Ovaries. Elsevier. 3-7 pp. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813209-8.00001-7>
- Fleisch, A., S. Werne, F. Heckendorn, S. Hartnack, M. Pinechotta, H. Bollwein, R. Thun, and F. Janett. 2012. Comparison of 6-day progestagen treatment with Chronogest[®] CR and Eazi-breed[™] CIDR[®] G intravaginal inserts for estrus synchronization. Short communication. *Small Ruminant Research* 107: 141-146. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2012.05.014>
- Forde, N., M. E. Beltman, P. Lonergan, M. Diskin, J. F. Roche, and M. A. Crowe. 2011. Oestrous cycles in *Bos taurus* cattle. *Animal Reproduction Science* 124: 163-9. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2010.08.025>
- Fortune J. E., and S. M. Quirk. 1988. Regulation of steroidogenesis in bovine preovulatory follicles. *Journal Animal Science* 66: 1-8. https://doi.org/10.1093/ansci/66.suppl_2.1
- Fortune, J. E. 1994. Ovarian follicular growth and development in mammals. *Biology of reproduction* 50: 225-232. <https://doi.org/10.1095/biolreprod50.2.225>
- Franco, J., y L. F. Uribe-Velásquez. 2012. Hormonas reproductivas de importancia veterinaria en hembras domésticas rumiantes. *Biosalud* 11: 41-5.
- Galal, S., O. Gürsoy, and I. Shaat. 2008. Awassi sheep as a genetic resource and efforts for their genetic improvement-A review. *Small Ruminant Research* 79: 99-108. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2008.07.018>
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana) 5^a Ed. Instituto de Geografía. UNAM. México. ISBN: 970-32-1010-4.

- Gastal, G. D., C. D. Corcini, R. S. Schiavon, V. B. Filho, R. R. Ulguim, K. L. Goularte, e T. Lucia. 2013. Reutilização de pessários vaginais após autoclavagem sobre taxas reprodutivas em ovinos. *UBVET*. 13, Ed. 236. <https://doi.org/10.22256/pubvet.v7n13.1554>
- Gigli, I, A. Russo, y A. Agüero. 2006. Consideraciones sobre la dinámica ovárica en equino, bovino y camélidos sudamericanos. *Investigación Veterinaria* 8: 183-204.
- González-Bulnes, A., A. Veiga-Lopez, P. Garcia, R. M. Garcia-Garcia, C. Ariznavarreta, M. A. Sanchez, J. A. Tresguerres, M. J. Cocero, and J. M. Flores. 2005. Effects of progestagens and prostaglandin analogues on ovarian function and embryo viability in sheep. *Theriogenology* 63: 2523-2534. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2004.10.013>
- González-Bulnes, A. y I. Contreras-Solís. 2012. Estrategias sostenibles de manejo reproductivo en la oveja. *Reunión Bianual sobre Reproducción Animal*. pp: 108-121.
- Güngör, O., N. Özyurtlu, Ş. M. Pancarci, M. Kaya, A. K. Zonturlu, H. Oral, Y. Çetin, and B. Polat. 2009. Estrous synchronization with used CIDR-G devices in ewes during non-breeding season. *Kafkas Universitesi Veteriner Fakultesi* 15: 779-783.
- Hasani, N., M. Ebrahimi, B. Ghasemi-Panahi, and A. Hossein-Khani. 2018. Evaluating reproductive performance of three estrus synchronization protocols in Ghezel ewes. *Theriogenology* 122: 9-13. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2018.07.005>
- Hafez, E. S., y B. Hafez. 2002. *Reproducción e inseminación artificial en animales*, 7ª Ed. McGraw Hill interamericana editors. pp: 306-312.
- Ireland, J. J., and J. F. Roche. 1983. Development of nonovulatory antral follicles in heifers: changes in steroids in follicular fluid and receptors for gonadotropins. *Endocrinology* 112: 150- 156. <https://doi.org/10.1210/endo-112-1-150>
- Ireland, J. J. 1987. Control of follicular growth and development. *Journal of Reproduction and Fertility Supplement* 34: 39-54.
- Kaiser, U. B. 2011. *Gonadotropin Hormones*. Shlomo M, ed. *The Pituitary*. Londres: Elsevier. 260 p. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-380926-1.10007-0>
- Karaca, F., M. B. Ataman, and K. Cayan. 2009. Synchronization of estrus with short and long term progestagen treatments and the use of GnRH prior to short-term progestagen treatment in ewes. *Small Ruminant Research* 81: 185-188. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2008.12.002>
- Leyva-Ocariz, H. 2014. La glándula pineal, la melatonina, el fotoperiodo y la sexualidad animal. *Medicina Veterinaria al Día* 5: 17-21.
- López, S., S. Moreno, G. de Bulnes, and M. López. 1993. Some aspects of the reproductive physiology of the ewes. *FCV-LUZ* 2: 123-133.

- Lozano-González, J. F., L. F. Uribe-Velásquez y J. H. Osorio. 2012. Control hormonal de la reproducción en hembras ovinas (*Ovis aries*). Artículo de revisión. *Veterinaria y Zootecnia* 2: 134-147.
- Lucas, T. J., P. E. González, y R. L. Martínez. 1997. Estacionalidad reproductiva en ovejas de cinco razas en el Altiplano Central Mexicano. *Técnica Pecuaria en México* 35: 25-31.
- Lucas, T. J., y A. S. Arbiza. 2006. Situación y perspectivas, la producción de carne ovina en México. *Bayvet* 21: 22-28.
- Lucy, M. C., J. D. Savio, L. Badinga, R. L. De La Sota, and W. W. Thatcher. 1992. Factors that affect ovarian follicular dynamics in cattle. *Journal Animal Science* 70: 3615-3626. <https://doi.org/10.2527/1992.70113615x>
- Macmillan, K. L., S. P. Washburn, H. V. Henderson, and S. F. Petch. 1990. Effects of varying the progesterone content of CIDR intravaginal devices and multiple CIDR treatments on plasma hormone concentrations and residual hormone content. *New Zealand Society of Animal Production* 50: 471-472.
- Macmillan, K. L., V. K. Taufua, and A. M. Day. 1993. Combination treatments for synchronising oestrus in dairy heifer. *New Zealand Society of Animal Production* 53: 267-270.
- Malpaux, B., J. C. Thiéry, and P. Chemineau. 1999. Melatonin and the seasonal control of reproduction. *Reproduction Nutrition Development* 39: 355-366. <https://doi.org/10.1051/rnd:19990308>
- Malpaux, B., H. Tricoire, F. Mailliet, A. Daveau, M. Migaud, D. C. Skinner, J. Pelletier, and P. Chemineau. 2002. Melatonin and seasonal reproduction: understanding the neuroendocrine mechanisms using the sheep as a model. *Reproduction Supplement* 59: 167-179.
- Manes, J. y R. Ungerfeld. 2015. Sincronización de celos en ovejas y cabras con dispositivos intravaginales liberadores de progestágenos: alteraciones en ambiente vaginal y su relación con la fertilidad. *Revista Brasileira de Reprodução Animal* 39: 104-108.
- Mann, G. E. 2009. Corpus luteum size and plasma progesterone concentration in cows. *Animal Reproduction Science* 115: 296-9. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2008.11.006>
- Manteca, V. X., N. De Briyne., B. Beaver and P.V. Turner. 2019. Horse Welfare During Equine Chorionic Gonadotropin (eCG) Production. *Animals* 9: 1053. <https://doi.org/10.3390/ani9121053>
- Martínez, E. D. 2018. Evaluación y clasificación de canales de corderos en el Estado de Hidalgo, México. *Revista Veterinaria Argentina*. 366: 1-18.

- Martinez-Ros, P., A. Susana, E. Garcia-Rosello, A. Rios-Abellan, and A. Gonzalez-Bulnes. 2018. Onset of estrus and preovulatory LH surge and ovulatory efficiency in sheep after short-term treatments with progestagen-sponges and progesterone-CIDRs. *Reproduction in Domestic Animals* 54: 408-411. <https://doi.org/10.1111/rda.13317>
- Mejía, O., y P. María. 2010. Características reproductivas de los ovinos. In: Curso teórico-práctico técnicas de reproducción asistida en ovinos, Guamo (Tolima). Memorias Asociación de Ovinocultura. pp: 66-72.
- Menchaca, A., M. Vilariño, M. Crispo, T. Castro and E. Rubianes. 2010. New approaches to superovulation and embryo transfer in small ruminants. *Reproduction Fertility and Development* 22: 113-8. <https://doi.org/10.1071/RD09222>
- Milani, S., F. Rydygier, M. Zund, M. da Cruz, L. Arantes, I. Giometti, G. Nogueira, G. Zanelli, F. Almeida, and C. Castilho. 2017. Characterization of the LH peak after short and long fixed-time artificial insemination protocols in sheep raised in the tropics. *Animal Science Journal* 89: 1245-1252.
- Mondragón, A. J., I. A. Domínguez-Vara, R. S. Rebollar, G. J. L. Borques, y M. J. Hernández. 2010. Canales de comercialización de la carne de ovino en Capulhuac Estado de México. Los grandes retos de la ganadería: hambre, pobreza y crisis. UACH-CP. pp: 341-349.
- Morales, M. 2004. Evaluación del potencial para la producción ovina con el enfoque de agroecosistemas en un ejido de Veracruz, México. *Técnica Pecuaria de México* 42: 347-359.
- Nahoul, K., L. Dehennin, M. Jondet, and M. Roger. 1993. Profiles of plasma estrogens, progesterone and their metabolites after oral or vaginal administration of estradiol or progesterone. *Maturitas* 16: 185-202.
- Nicolo, G., T. J. Parkinson, P. R. Kenyon, P. CH. Morel, and S. T Morris. 2009. Plasma progesterone concentrations during early pregnancy in spring and autumn-bred ewes. *Animal Reproduction Science* 111: 279-88. <https://doi.org/10.1093/biolre/iox183>
- OCDE/FAO. 2017. “Carne”, en OCDE-FAO *Perspectivas Agrícolas 2017-2026*, OECD Publishing, París. pp: 31-47. http://dx.doi.org/10.1787/agr_outlook-2017-10-es.
- Ochoa, J. C., F. Peñagaricano, G. M. Baez, L. F. Melo, J. C. Mota, A. García-Guerra, R. Meidan, J. C. Pinheiro, R. Sartori, and M.C. Wiltbank. 2018. Mechanisms for rescue of corpus luteum during pregnancy: gene expression in bovine corpus luteum following intrauterine pulses of prostaglandins E1 and F2 α . *Biology of Reproduction* 98: 465-479. <https://doi.org/10.1093/biolre/iox183>
- Orizaba-Chávez, B., G. A. Alba-Jasso, y M. E. Ocharán-Hernández. 2013. Farmacocinética de la progesterona. *Revista del Hospital Juárez de México* 80: 59-66.

- Partida de la Peña, J. A., F. G. Ríos, L. Colín, I. A. Domínguez, y G. Buendía. 2017. Caracterización de las canales ovinas producidas en México. *Revista Mexicana Ciencia Pecuaria* 8: 269-277. <http://dx.doi.org/10.22319/rmcp.v8i3.4203>
- Pérez-Hernández, P., J. Vilaboa-Arroniz, H. Chalate-Molina, B. Candelaria-Martínez, P. Díaz-Rivera y S. López-Ortiz. 2011. Análisis descriptivo de los sistemas de producción con ovinos en el estado de Veracruz, México. *Revista Científica* 21(4): 327-334.
- Peter, A. T., H. Levine, M. Drost, and D. R. Bergfelt. 2009. Compilation of classical and contemporary terminology used to describe morphological aspects of ovarian dynamics in cattle. *Theriogenology* 71: 1343-57. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2008.12.026>
- Pinna, A. E., F. Z. Brandão, A. S. Cavalcanti, A. M. Borges, J. M. G. Souza, and J. F. Fonseca. 2012. Reproductive parameters of Santa Inês ewes submitted to short-term treatment with re-used progesterone devices. *Arquivo Brasileiro De Medicina Veterinária E Zootecnia* 64: 333-340. <https://doi.org/10.1590/S0102-09352012000200012>.
- Quispe, T., J. Valencia, A. Ortiz, L. Zarco. 1995. Inducción del estro en borregas en anestro utilizando Acetato de Melengestrol (MGA) con o sin gonadotropina sérica de yegua gestante (PMSG). *Avances en Investigación Agropecuaria* 4: 1-13.
- Quintero-Elisea, J. A., U. Macías-Cruz, F. D. Alvarez-Valenzuela, A. Correa-Calderón, A. González-Reyna, F. A. Lucero-Magaña, S. A. Soto-Navarro, and L. Avendaño-Reyes. 2011. The effects of time and dose of pregnant mare serum gonadotropin (PMSG) on reproductive efficiency in hair sheep ewes. *Tropical Animal Health and Production* 43: 1567-1573.
- Rensis, F., and F. López-Gatius. 2014. Use of equine chorionic gonadotropin to control reproduction of the dairy cow: A Review. *Reproduction in Domestic Animals* 49: 177-182. <https://doi.org/10.1111/rda.12268> ISSN 0936-6768
- Richards, J. S., D. L. Russell, S. Ochsner, M. Hsieh, K. H. Doyle, A. E. Falender, Y. K. Lo, and S. C. Sharma. 2002. Novel signaling pathways that control ovarian follicular development, ovulation, and luteinization. *Recent Progress in Hormone Research* 57: 195-220.
- Roche, J. F. 1996. Control and regulation of folliculogenesis: a symposium in perspective. *Reviews of Reproduction* 1:19-27. <https://doi.org/10.1530/ror.0.0010019>
- Roelofs, J., F. López-Gatius, R. H. F. Hunter, F. J. C. M. Van Eerdenburg and C. Hanzen. 2010. When is a cow in estrus? Clinical and practical aspects. *Theriogenology* 74: 327-44. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2010.02.016>
- Rollag, M. D., and G. D. Niswender. 1976. Radioimmunoassay of serum concentrations of melatonin in sheep exposed to different lighting regimens. *Endocrinology* 98: 482-9. <https://doi.org/10.1210/endo-98-2-482>

- Rosa, H. J. D., and M. J. Bryant. 2003. Seasonality of reproduction in sheep. *Small Ruminant Research* 48: 155-171. [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(03\)00038-5](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(03)00038-5)
- Rosales-Torres, A. M., A. S. Guzmán, and C. A. Gutiérrez. 2012. Follicular development in domestic ruminants. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 15: S147-S160.
- Rubianes, E., T. de Castro, and B. Carbajal. 1996. Effect of high progesterone levels during the growing phase of the dominant follicle of wave 1 in ultrasonically monitored ewes. *Canadian Journal of Animal Science* 76: 473-475.
- Rubianes, E., A. Menchaca, and B. Carbajal. 2003. Response of the 1-5 day-aged ovine corpus luteum to prostaglandin F_{2alpha}. *Animal Reproduction Science* 78: 47-55. [https://doi.org/10.1016/s0378-4320\(03\)00046-0](https://doi.org/10.1016/s0378-4320(03)00046-0)
- SAS, 2010. Statistical Analysis System. SAS Institute Incorporation. Cary, NC, USA.
- SADER. 2014. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. La ovinocultura en Jalisco. <https://sader.jalisco.gob.mx/fomento-ganaderoagricola-e-inocuidad/676>
- Sangha, G. K., R. K. Sharma, and S. S. Guraya. 2002. Biology of corpus luteum in small ruminant. *Small Ruminant Research* 43: 53-64. [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(01\)00255-3](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(01)00255-3)
- Scaramuzzi, R. J., D. T. Baird, B. K. Campbell, M. A. Driancourt, J. Dupont, J. E. Fortune, R. B. Gilchrist, G. B. Martin, K. P. McNatty, A. S. McNeilly, P. Monget, D. Monniaux, C. Vinales, and R. Webb. 2011. Regulation of folliculogenesis and the determination of ovulation rate in ruminants. *Reproduction, Fertility and Development* 23(3): 444-67. <https://doi.org/10.1071/RD09161>
- Sharkey, S., R. J. Callan, R. Mortimer, and C. Kimberling. 2001. Reproductive techniques in sheep. Review. *Food Animal Practice* 17: 435-455. [https://doi.org/10.1016/S0749-0720\(15\)30037-2](https://doi.org/10.1016/S0749-0720(15)30037-2)
- SIAP. 2017. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Ovino Población Ganadera. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/412568/Ovino-2017.pdf>.
- SIAP. 2019. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Resumen Nacional de la producción pecuaria. http://infosiap.siap.gob.mx/repoAvance_siap_gb/pecAvanceEdo.jsp
- Simonetti, L. 2008. Simplified superovulatory treatments in Corriedale ewes. *Animal Reproduction Science* 1045: 227-239. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2007.01.020>
- Silva, T., J. Rocha, S. Machado, R. Rocha, P. Bennemann, e J. Bragança. 2014. A reutilização de um dispositivo intravaginal (CIDR-G) nas manifestações de estro e prenhez da espécie ovina. *Enciclopédia Biosfera* 10: 40-45.

- Solórzano, H. C., J. H. Mendoza, H. C. Galina, A. Villa Godoy, H. R. A. Vera, y S. Romo. 2008. Reutilización de un dispositivo liberador de progesterona (CIDR-B) para sincronizar el estro en un programa de transferencia de embriones bovinos. *Técnica Pecuaria en México* 46: 119-135.
- Soriano, M., F. R. Ruediger, M. Zund, M. Gomes, L. de Souza, I. Giometti, G. Nogueira, G. Zanelli, F. Almeida Rego, and C. Castilho. 2017. Characterization of the LH peak after short and long fixed-time artificial insemination protocols in sheep raised in the tropics. *Animal Science Journal* 89: 1245-1252. <https://doi.org/10.1111/asj.13051>
- Sunderland, S. J., M. A. Crowe, M. P. Boland, J. F. Roche, and J. J. Ireland. 1994. Selection, dominance and atresia of follicles during the oestrous cycle of heifers. *Journal of Reproduction and Fertility* 101: 547-555. <https://doi.org/10.1530/jrf.0.1010547>
- Swelum, A. A., A. F. Moumen, and A. N. Alowaimer. 2015. Effect of 6 times reusing of controlled internal drug release (CIDR) for short term (6 days) on progesterone level and reproductive performance of Awassi ewes. *Reproduction Fertility Development* 28: 136-136. <https://doi.org/10.1071/RDv28n2Ab13>
- Swelum, A. A., M. S. Islam, A. F. Moumena, M. A. Alid, and A. N. Alowaimera. 2018a. Efficacy of controlled internal drug release (CIDR) treatment durations on the reproductive performance, hormone profiles, and economic profit of Awassi ewes. *Small Ruminant Research* 166: 47-52. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2018.07.018>
- Swelum, A.A., I.M. Saadeldin, A.F. Moumen, M.A. Ali, H. Ba-Awadh, and A.N. Alowaimer. 2018b. Efficacy of using previously used controlled internal drug release (CIDR) insert on the reproductive performance, hormone profiles and economic measures of sheep. *Reproduction in Domestic Animals* 53: 1114-1122.
- Swelum, A. A., I. M. Saadeldin, A. F. Moumen, M. Ali, H. Ba-Awadh, and A. N. Alowaimer. 2019. Effects of long-term controlled internal drug release reuse on reproductive performance, hormone profiles, and economic profit of sheep. *Revista Brasileira de Zootecnia* 48: e20180085. <https://doi.org/10.1590/rbz4820180085>
- Thatcher, W.W., F. Moreira, J. E. P. Santos, R. C. Mattos, F. L. Lopes, S. M. Pancarci, and C. A. Risco. 2001. Effects of hormonal treatments on reproductive performance and embryo production. *Theriogenology* 55: 75-90. [https://doi.org/10.1016/s0093-691x\(00\)00447-7](https://doi.org/10.1016/s0093-691x(00)00447-7)
- Thiéry, J. C., P. Chemineau, X. Hernández, M. Migaud, and B. Malpoux. 2002. Neuroendocrine interactions and seasonality. *Domestic Animal Endocrinology* 23: 87-100. [https://doi.org/10.1016/s0739-7240\(02\)00148-0](https://doi.org/10.1016/s0739-7240(02)00148-0).
- Tondello, M. L., P. C. Santos Neto, S. Gaudêncio Neto, L. Pereira Rauber, M. Bertolini, A. Diniz Vieira, and A. Mezzalira. 2010. Microbiological and functional evaluation of an alternative device (OB®) for estrous synchronization in ewes. *Ciência Rural* 40: 389-395. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782010000200021>

- Ungerfeld, R., and E. Rubianes. 2002. Short term priming with different progestogen intravaginal devices (MAP, FGA and CIDR) for Ecg estrous induction in anestrus ewes. *Small Ruminants Research* 46: 63-66. [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(02\)00105-0](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(02)00105-0)
- Ungerfeld, R. 2009. The induction of oestrus in ewes during the non-breeding season using pre-used CIDRs and oestradiol-17 β treatment. *Small Ruminant Research* 84: 129-131. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2009.06.011>
- Ungerfeld, R., and A. Bielli. 2012. Animal reproduction in livestock- seasonal and social factors affecting reproduction. *Enciclopedia de los sistemas de soporte vital (EOLSS)*.
- Uribe-Velásquez, L. F., I. M. Lênz-Souza, y A. M. Loaiza-Echeverri. 2008. Efecto de la sincronización del estro con prostaglandina-F $_{2\alpha}$ vs CIDR + 500 IU de eCG en ovejas Bergamacia durante el inicio de la fase luteal. *Revista Científica de Veterinaria* 18: 368-373.
- Uribe-Velásquez, L. F., A. Correa-Orozco, y J. H. Osorio. 2009. Características del crecimiento folicular ovárico durante el ciclo estral en ovejas. *Biosalud* 8: 117-131.
- Uribe-Velásquez, L. F., M. I. L. Souza, y A. Correa-Orozco. 2011. Efecto de las altas concentraciones de progesterona durante la fase luteal temprana sobre la secreción de LH y estradiol en ovejas. *Veterinaria e Zootecnia* 5: 44-54.
- Urrutia, M. J. 1991. Inicio de la estación reproductiva en ovejas rambouillet en México. *Técnica Pecuaria en México* 29: 47-52.
- Urviola, G. A. P., y J. L. Riveros. 2017. Factores moduladores de la estacionalidad reproductiva en ungulados. *Revista de Investigaciones Altoandinas* 3: 319-336.
- Valencia, J., Barrón, C., y S. Fernández-Baca. 1978. Variaciones estacionales de la presentación de estros en ovejas Dorset y Criollas en México. *Veterinaria México* 9: 45-50.
- Van Cleeff, J., M. C. Lucy, C. J. Wilcox, and W. W. Thatcher. 1992. Plasma and milk progesterone and plasma LH in ovariectomized lactating cows with new or used controlled internal drug release devices. *Animal Reproduction Science* 27: 91-106. [https://doi.org/10.1016/0378-4320\(92\)90049-J](https://doi.org/10.1016/0378-4320(92)90049-J)
- Vilariño, M., E. Rubianes, E. Van Lier, and A. Menchaca. 2010. Serum progesterone concentrations, follicular development and time of ovulation using a new progesterone releasing device (DICO[®]) in sheep. *Small Ruminant Research* 91: 219-224. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2010.02.014>
- Vilariño, A., E. Rubianes, and A. Menchaca. 2011. Re-use of intravaginal progesterone devices associated with the Short-term Protocol for timed artificial insemination in goats. *Theriogenology* 75: 1195-1200. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2010.11.030>

- Vilariño, M., E. Rubianes, and A. Menchaca. 2013. Ovarian responses and pregnancy rate with previously used intravaginal progesterone releasing devices for fixed-time artificial insemination in sheep. *Theriogenology* 79: 206-310. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2012.10.007>
- Viñoles, C., M. Forsberg, G. Banchemo, and E. Rubianes. 2001. Effect of long-term and short-term progestagen treatment on follicular development and pregnancy rate in cyclic ewes. *Theriogenology*. 55: 993-1004. [https://doi.org/10.1016/s0093-691x\(01\)00460-5](https://doi.org/10.1016/s0093-691x(01)00460-5)
- Viñoles, C., B. Paganoni, J. T. B. Milton, M. A. Driancourt, and G. B. Martin. 2011. Pregnancy rate and prolificacy after artificial insemination in ewes following synchronisation with prostaglandin, sponges, or sponges with bactericide. *Animal Production Science* 5: 565-569. <https://doi.org/10.1071/AN10200>
- Vivien Roels, B. and P. Pevet. 1983. The pineal gland and the synchronisation of reproductive cycles with variations of the environmental climatic conditions, with special reference to temperature. *Pineal research reviews* 1: 92-144.
- Webb, R., and D.G. Armstrong. 1998. Control of ovarian function; effect of local interactions and environmental influences on follicular turnover in cattle: a review. *Livestock Production Science* 53: 95-112. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(97\)00161-9](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(97)00161-9)
- Wheaton, J. E., K. M. Carlson, H. F. Windels, and L. J. Johnston. 1993. CIDR: a new progesterone releasing intravaginal device for induction of estrus and cycle control in sheep and goats. *Animal Reproduction Science* 33: 127-141. [https://doi.org/10.1016/0378-4320\(93\)90111-4](https://doi.org/10.1016/0378-4320(93)90111-4)
- Whitley, N. C., and D. J. Jackson, 2004. An update on estrus synchronization in goats: a minor species. *Journal of Animal Science* 82: E270-276. https://doi.org/10.2527/2004.8213_supplE270x
- Wildeus, S. 2000. Current concepts in synchronization of estrus: sheep and goats. *Journal of Animal Science* 77: 1-14. <https://doi.org/10.2527/jas2000.00218812007700ES0040x>.
- Wiltbank, M. C., M. A. Mezera, M. Z. Toledo, J. N. Drum, G. M. Baez, A. García-Guerra, and R. Sartori. 2018. Physiological mechanisms involved in maintaining the corpus luteum during the first two months of pregnancy. *Animal Reproduction* 15: 805-821. <https://doi.org/10.21451/1984-3143-AR2018-004>
- Zelege M., J. P. C. Greyling, L. M. J. Schwalbach, T. Muller, and J. A. Erasmus. 2005. Effects of progestagen and PMSG on oestrus synchronization and fertility in Dorper ewes during the transition period. *Small Ruminant Research* 56: 47-53.

ANEXOS

Anexo A. prueba de normalidad y Kruskal Wallis para la variable inicio de estro.

```
data inicio;  
input trat horas @@;  
cards;
```

T1	30	T2	30	T3	36	T4	24
T1	36	T2	30	T3	24	T4	30
T1	24	T2	24	T3	30	T4	24
T1	30	T2	24	T3	30	T4	24
T1	30	T2	30	T3	24	T4	36
T1	30	T2	30	T3	36	T4	30
T1	36	T2	30	T3	30	T4	24
T1	30	T2	30	T3	24	T4	30
T1	30	T2	30	T3	30	T4	30
T1	36	T2	30	T3	30	T4	30
T1	30	T2	30	T3	30	T4	24
T1	30	T2	30	T3	36	T4	30
T1	30	T2	30	T3	30	T4	30
T1	30	T2	30	T3	30	T4	24
T1	36	T2	24	T3	30	T4	30
T1	24	T2	30	T3	30	T4	30

```
proc print;  
proc univariate normal;  
class trat;  
run;  
proc freq;  
by trat;  
run;  
proc boxplot; plot horas*trat;  
proc nparlway wilcoxon correct=no;  
class trat;  
var horas;  
run;
```

Anexo B. Prueba de χ^2 mediante el uso de tablas de contingencia y obtención de frecuencias

```
DATA GEST;
INPUT TRAT$ TIPO @@;
CARDS;

    T1      1      T2      1      T3      1      T4      0
    T1      0      T2      1      T3      1      T4      1
    T1      1      T2      1      T3      1      T4      0
    T1      0      T2      0      T3      1      T4      0
    T1      1      T2      1      T3      1      T4      1
    T1      0      T2      1      T3      1      T4      1
    T1      1      T2      1      T3      0      T4      1
    T1      1      T2      0      T3      1      T4      1
    T1      0      T2      1      T3      1      T4      1
    T1      1      T2      1      T3      1      T4      1

RUN;
PROC PRINT;
PROC FREQ;
BY TRAT;
PROC FREQ;
TABLES TRAT*TIPO/CHISQ;
RUN;
PROC NPAR1WAY;
CLASS TRAT;
VAR TIPO;
RUN;
```

Anexo C. Análisis mixto, gráfica y análisis mixto factorial 2 x2 .

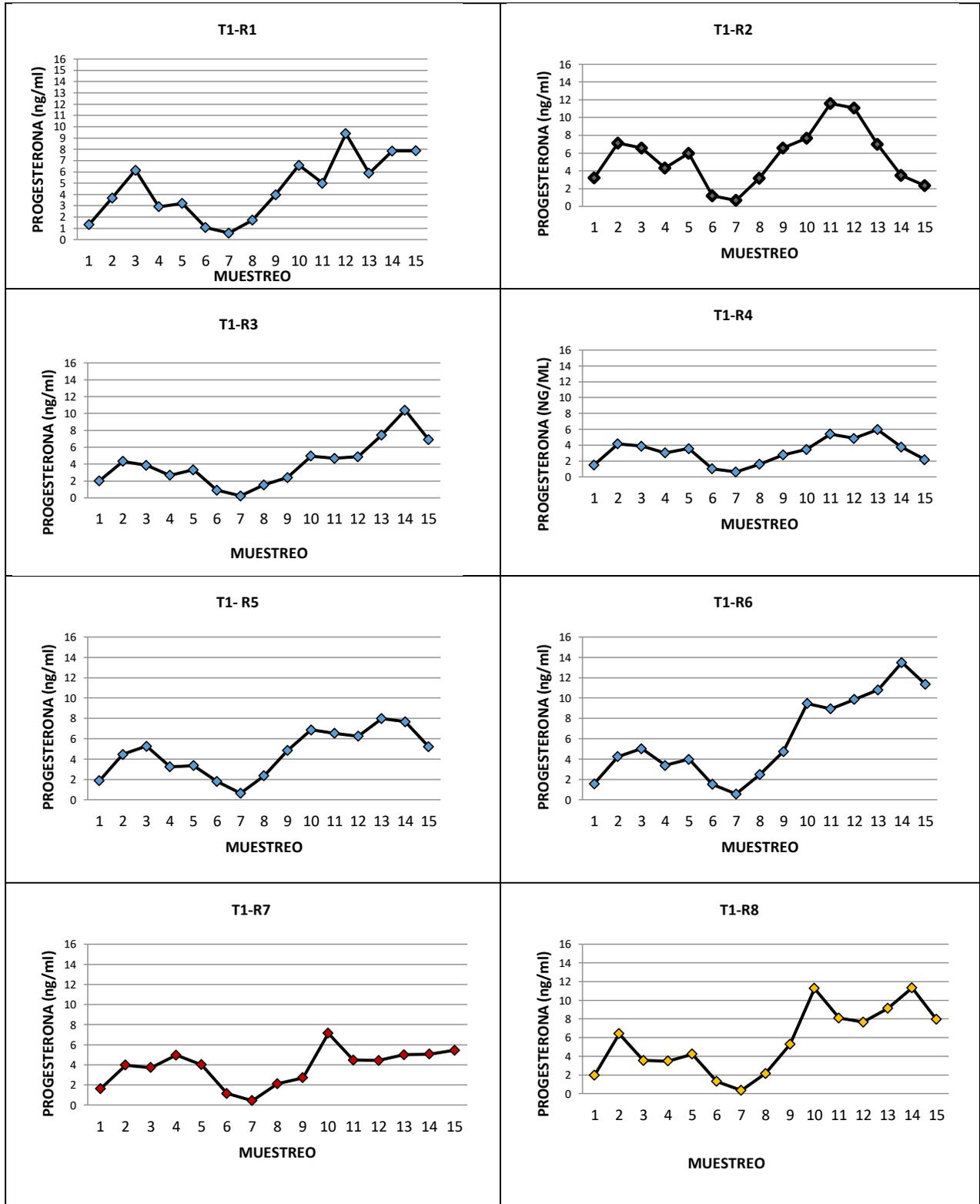
```

DATA PROGEST;
INPUT TRAT $ A B ANIMAL TIEMPO NIVEL @@;
CARDS;
T1 1 1 1 2 1.84 T1 1 1 2 2 2.93
T1 1 1 3 2 3.08 T1 1 1 4 2 1.28
T1 1 1 5 2 2.87 T1 1 1 6 2 3.57
T1 1 1 7 2 4.02 T1 1 1 8 2 3
T1 1 1 9 2 1.61 T1 1 1 10 2 2.38
T1 1 1 1 3 5.34 T1 1 1 2 3 5.77
T1 1 1 3 3 5.64 T1 1 1 4 3 4.77
T2 2 1 1 1 1.32 T2 2 1 2 1 3.22
T2 2 1 3 1 2.03 T2 2 1 4 1 1.50
T2 2 1 5 1 1.87 T2 2 1 6 1 1.57
T2 2 1 7 1 1.61 T2 2 1 8 1 1.97
T2 2 1 9 1 1.68 T2 2 1 10 1 1.65
T2 2 1 1 2 3.70 T2 2 1 2 2 7.13
T2 2 1 3 2 4.32 T2 2 1 4 2 4.17
T3 1 2 1 2 2.74 T3 1 2 2 2 2.32
T3 1 2 3 2 2.63 T3 1 2 4 2 2.48
T3 1 2 5 2 3.15 T3 1 2 6 2 2.77
T3 1 2 7 2 2.52 T3 1 2 8 2 2.38
T3 1 2 9 2 2.38 T3 1 2 10 2 2.94
T3 1 2 1 3 6.03 T3 1 2 2 3 6.30
T3 1 2 3 3 6.54 T3 1 2 4 3 6.21
T4 2 2 1 1 1.80 T4 2 2 2 1 1.10
T4 2 2 3 1 2.07 T4 2 2 4 1 1.66
T4 2 2 5 1 1.87 T4 2 2 6 1 1.25
T4 2 2 7 1 1.34 T4 2 2 8 1 2.26
T4 2 2 9 1 1.23 T4 2 2 10 1 1.82
T4 2 2 1 2 5.16 T4 2 2 2 2 3.83
T4 2 2 3 2 5.67 T4 2 2 4 2 7.42

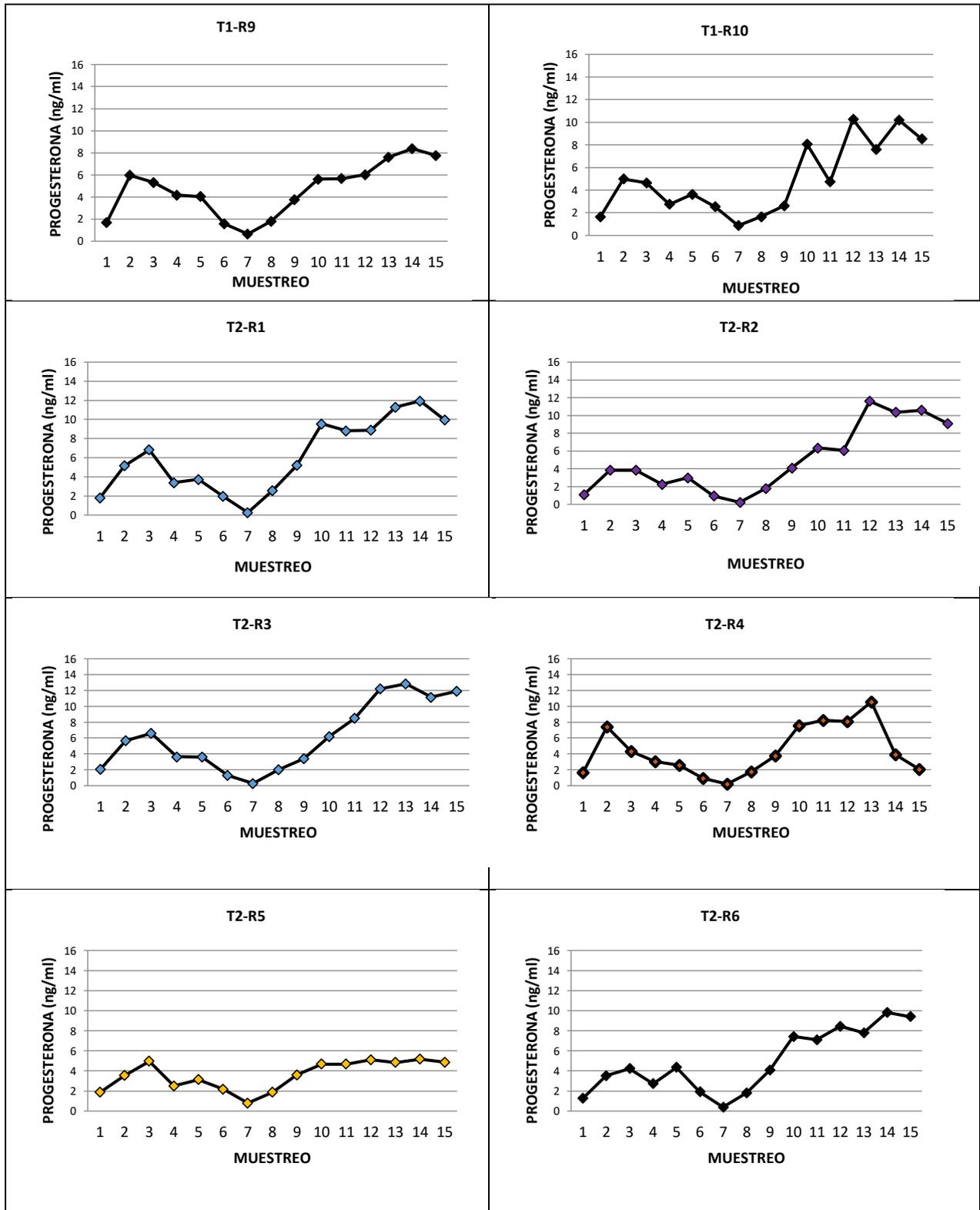
PROC PRINT;
PROC MEANS NOPRINT NWAY;
VAR NIVEL;
CLASS TRAT TIEMPO;
OUTPUT OUT=MIX MEAN=MEDIATRAT STDERR=MSE STD=DESVEST;
PROC PRINT DATA=MIX;
GOPTIONS DEVICE= GSFMODE=REPLACE COLORS=(BLACK);
PROC GPLOT DATA=MIX;
PLOT MEDIATRAT*TIEMPO= TRAT/HAXIS=1 TO 16 BY 1 VAXIS=0 TO 11 BY 1;
SYMBOL1 V=SQUARE C=RED I=JOIN L=1;
SYMBOL2 V=CIRCLE C=BLUE I=JOIN L=2;
SYMBOL3 V=DIAMOND C=BROWN I=JOIN L=3;
SYMBOL4 V=TRIANGLE C=GREEN I=JOIN L=4;
TITLE 'NIVELES DE PROGESTERONA EN PLASMA';
PROC GPLOT;
RUN;
/* PROCEDIMIENTO MIXED TOMANDO EN CUENTA TRATAMIENTO ANIMAL Y MUESTRA (TIEMPO) */
PROC MIXED DATA=PROGEST;
CLASS TRAT ANIMAL TIEMPO;
MODEL NIVEL=TRAT ANIMAL(TRAT) TIEMPO TRAT*TIEMPO/DDFM=SATTERTH;
REPEATED TIEMPO/TYPE=AR(1) SUB= ANIMAL(TRAT)R RCORR;
RANDOM ANIMAL(TRAT);
LSMEANS TRAT TIEMPO TRAT*TIEMPO/PDIFF ADJUST=TUKEY SLICE=TIEMPO;
RUN;
/* PROCEDIMIENTO MIXED TOMANDO EN CUENTA A Y B (TRATAMIENTOS) ANIMAL Y MUESTRA (TIEMPO) */
PROC MIXED;
CLASS A B MUESTRA ANIMAL;
MODEL NIVEL=A B A*B ANIMAL(A*B) MUESTRA A*MUESTRA B*MUESTRA A*B*MUESTRA/DDFM=SATTERTH;
REPEATED MUESTRA/TYPE=AR(1) SUB= ANIMAL(A*B)R RCORR;
RANDOM ANIMAL(A*B);

```

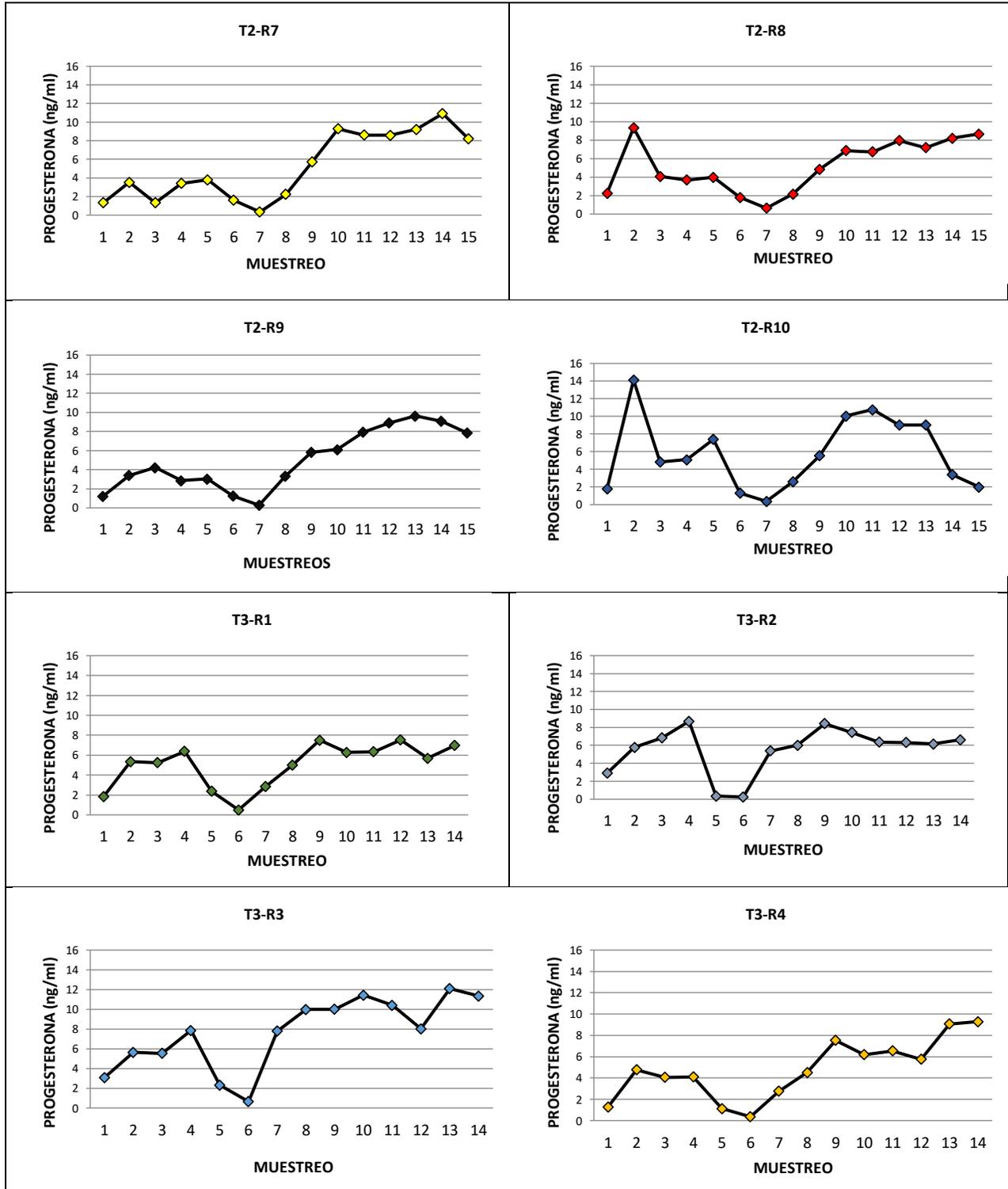
Anexo D. Comportamiento de la concentración de P4 en suero sanguíneo en los animales muestreados



Continuación de anexo D



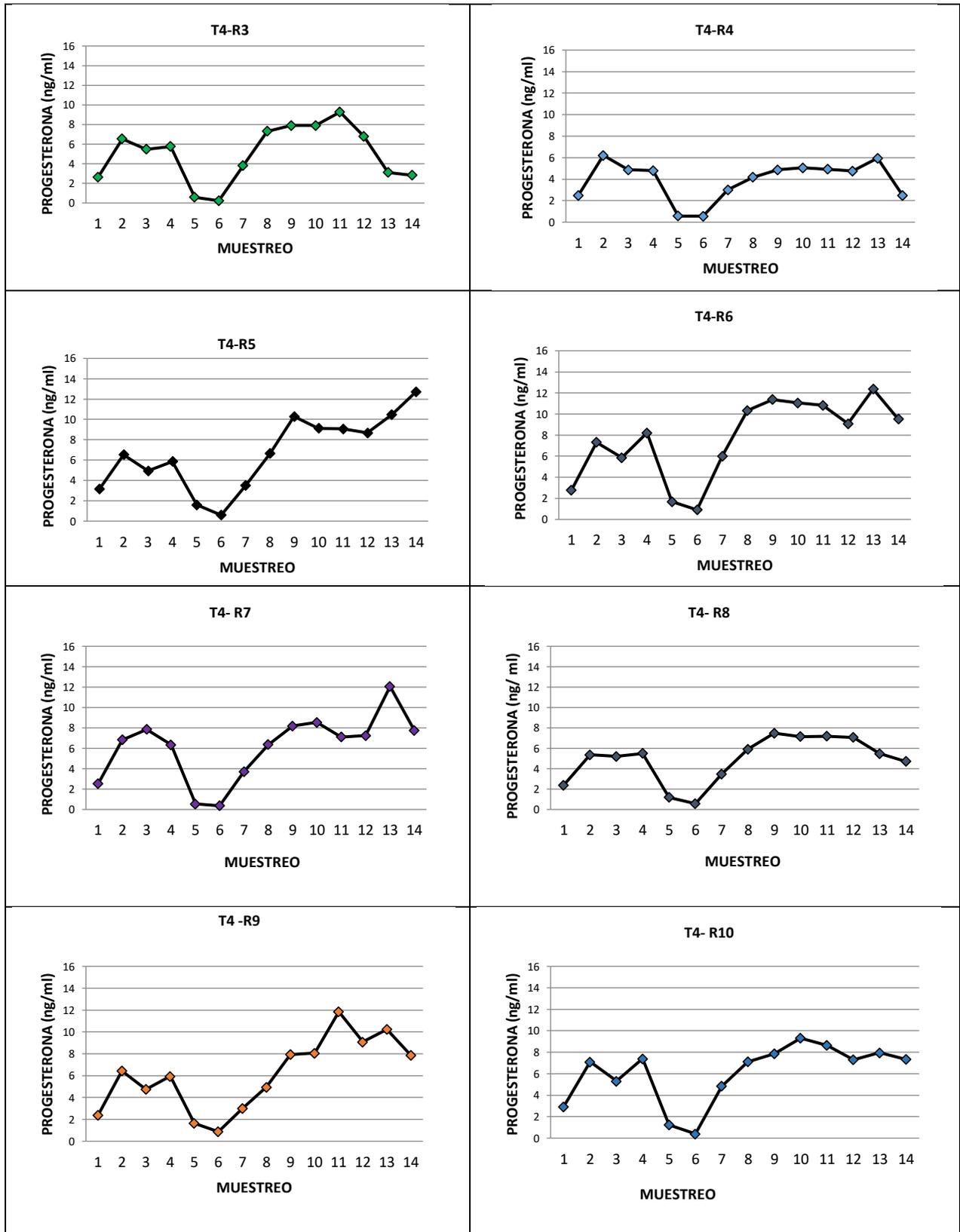
Continuación de anexo D



Continuación de anexo D



Continuación de anexo D



Anexo E. Costo del experimento

Dispositivos intravaginales CIDR	
1 bolsa de CIDR con 20 piezas	\$ 3,100
4 bolsas de CIDR 80 piezas.	\$ 12,400
64 CIDR	\$ 9,920
1 CIDR	\$ 155.00

INSUMOS	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	TOTAL	
Borregas	64			
Alimento				
Endovet® polivitaminado 50 ml (0.5 ml/50kg PV vía intramuscular)	1 frasco	\$ 598.00	\$ 598.00	
Bobact® 8 250 ml (2.5 ml vía subcutánea).	2 frascos	\$ 519.00	\$ 1,038.00	
Dispositivo Intravaginal con progesterona 0.3 g (CIDR) reutilizados	4 paquetes (20 dispositivos c/u)	\$ 3,100.00	\$ 12,400.00	
Novormon 5000 (gonadotropina coriónica equina) frasco con 5000 UI	4 frascos (16000UI)	\$ 1,694.00	\$ 6,776.00	
Furacine pomada (Nitrofurazona 200mg/100g)	1 tubo	\$ 158.00	\$ 158.00	
Furacine solución	1 frasco	\$ 190.00	\$ 190.00	
Gasas	1 paquete	\$ 180.00	\$ 180.00	
Guantes de exploración	1 caja (100 piezas)	\$ 180.00	\$ 180.00	
Jeringas 5ml	1 caja (100 piezas)	\$ 300.00	\$ 300.00	
Jeringas de 3 ml	1 caja (100 piezas)	\$ 250.00	\$ 250.00	
Tubos de polipropileno de 5 ml.	120 unidades	\$ 288.00	\$ 288.00	
Microtubos de 1.5 ml	1000 unidades	\$ 1,000.00	\$ 1,000.00	
kit comercial PROGESTERONE [I-125] RIA®	kit para 500 muestras	\$ 35,000.00	\$ 35,000.00	
TOTAL			58,358.00	
		EXPERIMENTO	PRODUCTOR	SOLO SINCRO
TOTAL		\$ 45,958.00	\$ 9,120.00	\$ 7,484.00
POR OVEJA (64 OVEJAS)		\$ 718.09	\$ 142.50	\$ 116.94
POR OVEJA (55 OVEJAS)		\$ 835.60	\$ 165.82	\$ 136.07

NOVORMON 5000 (Gonadotropina)			
1 UI	300 UI	400 UI	20000 UI
\$ 0.08	\$ 25.41	\$ 33.88	\$ 1,694.00