



UNIVERSIDAD DEL MAR

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

RESPUESTA REPRODUCTIVA EN OVEJAS DE PELO SINCRONIZADAS CON
UNA DOSIS DE PROSTAGLANDINA

TESIS

QUE COMO PARTE DE LOS REQUISITOS PARA OBTENER EL GRADO DE
**MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN Y SANIDAD
ANIMAL**

PRESENTA

L.Z. Norma Judith Sánchez Hernández

DIRECTOR

Dr. Jaime Arroyo Ledezma

CO-DIRECTOR

Dr. Narciso Ysac Ávila Serrano

Puerto Escondido, Oaxaca, México, 2020

DEDICATORIA

“Los dos días más importante de tu vida son el día en que naces, y el día en que descubres por qué”...

Mark Twain

Dedico este trabajo principalmente a mi madre, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional en cada etapa de mi vida.

Agradezco a mis padres el brindarme las herramientas para construirme un futuro mejor y por creer en mí. A mis hermanos, tío y sobrinas, por sus palabras y compañía.

Gracias a mis amigas y cómplices, **Angélica Antonio Alaníz** y **Adriana Villegas Zavala** por su amistad, cariño, y apoyo durante la realización del trabajo. Así también agradezco el apoyo del compañero-amigo **Santos Pérez** por su colaboración en la fase de campo.

A mis amigos, compañeros y a todas aquellas personas que de una u otra manera han contribuido para ver realizado este logro.

AGRADECIMIENTOS

Una tesis es el resultado final de lo que inicio siendo, solo una idea. Sería muy difícil lograrlo si no es con el apoyo y estímulo de muchas personas.

A la **Universidad del Mar, Campus Puerto Escondido**, por haber otorgado las instalaciones donde recibí el conocimiento y sabiduría impartida por sus docentes.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT, México)**, por la beca otorgada.

Al **Dr. Jaime Arroyo Ledezma**, director de esta investigación, por la orientación, el seguimiento y la supervisión continua de la misma, pero sobre todo por la motivación y apoyo recibido a lo largo de estos años.

Al **Dr. Narciso Ysác Ávila Serrano**, por sus consejos, por el interés mostrado para poder emprender este proyecto y por su valiosa ayuda en el análisis estadístico de esta tesis.

A todos los (a) profesores-investigadores por su comprensión, ánimos y el conocimiento compartido.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	vi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1 SITUACIÓN ACTUAL DE LA OVINOCULTURA EN MÉXICO.....	5
2.1.1. Inventario y producción ovina en México	7
2.2. CARACTERÍSTICAS REPRODUCTIVAS DE LA OVEJA.....	8
2.2.1. Estacionalidad reproductiva.....	8
2.2.2. Ciclo estral	10
2.2.4. Hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH)	12
2.2.5. Hormona folículo estimulante (FSH)	13
2.2.4. Hormona luteinizante (LH)	14
2.2.5. Estradiol (E2).....	14
2.2.6. Progesterona (P4).....	15
2.2.7. Prostaglandina	16
2.3. MÉTODOS DE SINCRONIZACIÓN DE ESTROS	17
2.3.1. Efecto macho.....	18
2.3.2. Efecto hembra.....	19
2.3.3. Métodos farmacológicos	19
2.3.3.1. Progesterona o progestágenos.....	19
2.3.3.2. Prostaglandinas	20
III. JUSTIFICACIÓN	22
IV. OBJETIVOS	25
4.1. Objetivo general.....	25
4.2. Objetivos específicos	25
V. HIPÓTESIS.....	25
VI. MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
6.1. Localización y descripción del área de estudio	26
6.2. Animales experimentales	26

6.3. Alimentación y manejo general de los animales	26
6.4. Diseño experimental	27
6.5. Detección de estros	28
6.6. Diagnóstico de gestación y ocurrencia de partos.....	28
6.7. Análisis estadístico.....	28
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
VIII. CONCLUSIÓN	34
IX. LITERATURA CITADA.....	35

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Respuesta reproductiva en ovejas de pelo sincronizadas con progesterona o cloprostenol sódico.....	29
Cuadro 2. Indicadores de fertilidad y prolificidad en ovejas de pelo sincronizadas con progesterona o cloprostenol sodico.	33

RESUMEN

El objetivo del estudio fue evaluar la respuesta reproductiva en ovejas de pelo sincronizadas con una dosis de prostaglandina (cloprostenol sódico). Se utilizaron 36 ovejas de pelo, de 3.5 a 4.0 años de edad, peso y condición corporal promedio 42.21 ± 1.09 kg y 3.0 a 3.5 en una escala de 0 a 5, respectivamente. Se utilizó un diseño completamente al azar, la unidad experimental fue la oveja. El experimento se llevó a cabo en época reproductiva (noviembre-diciembre, las ovejas se asignaron de manera aleatoria a uno de tres tratamientos: Tratamiento 1 (T1; n = 12): aplicación de 300 mg de progesterona impregnada en dispositivos intravaginales (CIDR, Zoetis®, Nueva Zelanda) colocados durante 10 días. Tratamiento 2 (T2; n = 12): se aplicaron dos dosis, vía IM, de 0.075 mg de cloprostenol sódico (Croniben®, Biogénesis Bagó, Argentina) con un intervalo de 8 d. Tratamiento 3 (T3; n = 12): se aplicó una dosis, vía IM, de 0.075 mg de cloprostenol sódico (Croniben®, Biogénesis Bagó, Argentina) coincidiendo con el día 8 del T2 y con el retiro del CIDR del T1. Las variables duración del estro e intervalo retiro de dispositivo, segunda o única aplicación de prostaglandina al estro se compararon con un análisis de varianza (PROC GLM) y con la prueba Tukey. La proporción de estros, proporción de gestación, proporción de pérdidas embrionarias y tasa de parición se analizaron con la prueba de Ji-cuadrada. Los resultados mostraron que más de 80% de las hembras en los tres tratamientos expresaron estro. El intervalo final de tratamiento al estro fue similar ($P > 0.05$) entre grupos, el estro se presentó a las 33.84 ± 4.65 h en el tratamiento con CIDR, a las 35.33 ± 1.38 h al aplicar dos dosis de cloprostenos y a las 37.52 ± 2.97 h al aplicar una dosis de cloprostenol sódico. La duración

del estro fue similar ($P>0.05$) entre grupos (33.51 ± 3.08 , 37.78 ± 4.34 y 31.14 ± 3.80 , para los T1, T2 y T3, respectivamente). La fertilidad fue similar ($P>0.05$) entre tratamientos. Se concluye que la respuesta reproductiva en ovejas de pelo sincronizadas con una dosis de cloprostenol sódico es similar a la de ovejas sincronizadas con progesterona o dos dosis de cloprostenol sódico, lo cual representa un método sencillo y eficiente que puede implementarse como parte del manejo reproductivo de los rebaños ovinos en regiones cercanas al Ecuador.

PALABRAS CLAVE: respuesta reproductiva, ovejas de pelo, ciclo estral, progesterona, cloprostenol.

ABSTRACT

The objective of the study was to evaluate reproductive response in hair sheep in the tropics, synchronized with a dose of prostaglandin (cloprostenol sodium). We used 36 hair sheep, 3.5 to 4.0 years of age, were clinically healthy, average body weight of 42.21 ± 1.09 Kg and body condition from 3.0 to 3.5 on a scale of 0 to 5. A completely random design was used, taking as a source of variation the progesterone, one or two applications of prostaglandin. The experiment was carried out in reproductive season (November-December), the sheep were randomly assigned to one of three treatments: Treatment 1 (T1; n = 12): insertion of intravaginal device with 300 mg progesterone for 10 days (CIDR, Zoetis®, New Zealand). Treatment 2 (T2; n = 12): two IM doses of 0.075 mg of cloprostenol sodium (Croniben®, Biogenesis Bagó, Argentina) with an interval of 8 d. Treatment 3 (T3; n = 12): one IM dose of 0.075 mg of cloprostenol sodium (Croniben®, Biogenesis Bagó, Argentina) applied to day 8 of the T2 and with the withdrawal of CIDR from the T1. The variable duration of estrus and interval device removal, second or only application of prostaglandin to estrus were compared with an analysis of variance and comparison of means with the Tukey test statistic. The proportion of estrus, gestation rate, proportion of embryonic losses and calving rate were analyzed with the Ji-square test. The results showed that more than 80% of the females in the three treatments expressed estrus. The final interval of treatment to estrus was similar ($P > 0.05$) between groups, estrus occurred at 33.84 ± 4.65 h in the CIDR treatment, at 35.33 ± 1.38 h when applying two doses of cloprostenosis and at 37.52 ± 2.97 h when applying a dose of cloprostenol sodium. The duration of estrus was similar ($P > 0.05$) between groups (33.51 ± 3.08 , 37.78 ± 4.34 and 31.14 ± 3.80 ,

for T1, T2 and T3, respectively). Fertility was similar ($P > 0.05$) between treatments. It is concluded that the reproductive response in sheep of hair synchronized with one dose of cloprostenol sodium is similar to that of sheep synchronized with progesterone or two doses of cloprostenol sodium, which represents a simple and efficient method that can be implemented as part of the reproductive management of sheep flocks in regions near the Ecuador.

KEY WORDS: reproductive response, hair sheep, oestrus cycle, progesterone, cloprostenol.

I. INTRODUCCIÓN

Las ovejas domésticas (*Ovis aries*) son bóvidos poliéstricos estacionales (Hafez 1996), característica que representa una adaptación filogénica que asegura la supervivencia de las crías al nacer en épocas favorables del año (Haresign 1992). Estos animales poseen amplia diversidad biológica generada a partir de su domesticación e influenciada por procesos como la selección natural, selección humana, manejo, mutación, adaptación al ambiente y atributos hereditarios ocurridos durante el transcurso de la evolución (Leymaster 2002).

La oveja Pelibuey, debido a su alta adaptabilidad, es una raza de ovejas de pelo que se encuentra con más frecuencia en condiciones de trópico, su crianza se desarrolla de manera alterna a una actividad principal o complemento a otras, por ejemplo, la producción bovina o el cultivo de árboles frutales (Cuevas *et al.* 1993), en las últimas décadas la raza se extendió a todo el territorio mexicano en los diferentes tipos de clima (Avendaño *et al.* 2004; Avendaño *et al.* 2007; Macías-Cruz *et al.* 2012).

Las ovejas exhiben actividad reproductiva estacional, volviendo a la ciclicidad después del solsticio de verano, debido a un aumento en la secreción de melatonina por la glándula pineal, que es más alta durante periodos de luminosidad decreciente (Dogan & Nur 2006). El efecto de la estación tiene importancia en la ocurrencia del estro y también en los índices de ovulación, los cuales están altamente correlacionados, en la mayoría de los casos, con los índices de prolificidad (Alonso 1981).

Con el fin de aumentar la fertilidad en ovejas y cabras, el estro puede ser manipulado por alteración del fotoperiodo, estimulación de las ovejas por el macho y mediante la aplicación de métodos farmacológicos para sincronizar su presentación (Sharkey *et al.* 2001).

Estudios realizados en México, indican que, en los ovinos de pelo, tal y como sucede con las razas de lana, se presentan fluctuaciones en el comportamiento reproductivo, existiendo una época durante la cual la fertilidad se reduce sin llegar a considerarse un periodo de anestro (Cruz *et al.* 1994, Macedo & Alvarado 2005), ya que es de corta duración y durante el mismo no todas hembras dejan de ciclar (Valencia *et al.* 2006; Arroyo *et al.* 2007; Arroyo *et al.* 2016). En la región central de la República Mexicana, se observó que las ovejas de pelo muestran una tendencia a ovular todo el año y hay individuos capaces de ovular de manera continua y no presentan anestro estacional (Cerna *et al.* 2000; Arroyo *et al.* 2007). Se ha observado que en regiones tropicales más de 60% de los ovinos de pelo muestran actividad ovulatoria todo el año (Arroyo 2011; Arroyo *et al.* 2016), lo que representa un potencial productivo alto para estas razas.

Desde hace tiempo se han desarrollado diferentes tratamientos hormonales encaminados a regular la actividad reproductiva de los pequeños rumiantes (Wildeus 2000). La sincronización del estro es una estrategia de manejo reproductivo (Aké *et al.* 2014), que permite inducir y sincronizar la ovulación en las hembras en anestro y sincronizar el momento de su aparición en las hembras ciclando (Wildeus 2000).

Para sincronizar el estro se usan diferentes hormonas o combinaciones de ellas, entre éstas se encuentran la prostaglandina F2 α y sus análogos, la progesterona y los progestágenos (Uribe *et al.* 2008).

Los resultados han sido variables porque hay factores que influyen en la respuesta, como estado reproductivo, ambiente, periodo posparto, número de lactancia, tamaño de la camada, duración del tratamiento y método farmacológico usado (Wildeus 2000; Knights *et al.* 2011; Ungerfeld & Sánchez 2012).

La sincronización del estro puede llevarse a cabo al interrumpir la fase lútea del ciclo estral, utilizando prostaglandinas o sus análogos sintéticos (González *et al.* 2005; Uribe *et al.* 2008). Estos análogos tienen un efecto luteolítico similar, por lo cual, también reducen la concentración de progesterona (Simões *et al.* 2008). Cloprostenol, dinoprost, tiaprost, luprositol, delprostenat, fenprostalen, prostalen y fluprostenol son análogos de PGF2 α (Echeverría 2006).

El desarrollo de estos análogos de PGF2 α , permitió sincronizar estros en varias especies domésticas a través de la regresión lútea prematura (Fierro *et al.* 2013). En ovejas, los análogos de PGF2 α mostraron 90% de efectividad en la presentación de estros después de 48 h de la aplicación (Olivera *et al.* 2011). La sensibilidad al tratamiento varía de acuerdo con la etapa del ciclo estral, por lo cual, una doble aplicación del fármaco con intervalo de 11 d es el protocolo usado con más frecuencia en ovejas (Wildeus 2000; Arroyo - Ledezma *et al.* 2013).

La administración de una dosis de PGF2 α en hembras cíclicas conduce al estro en 60-75% de las ovejas después de 30-48 h (Tekin *et al.* 1992). El uso de protocolos de sincronización basados en PGF2 α y sus análogos, en ovejas de pelo en el trópico, representa una alternativa más favorable que el uso de dispositivos de progesterona vaginales (Alavéz-Ramírez *et al.* 2014). Los efectos de la administración de dosis únicas de tres diferentes análogos de PGF2 α en ovejas Akkaraman, en época reproductiva, mostraron disminución en los niveles de progesterona en el día de administración, y a las 24 y 48 h fue significativa en los grupos que fueron sincronizadas con cloprostenol sódico (Risvanli *et al.* 2010).

Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar la respuesta reproductiva en ovejas de pelo sincronizadas con una dosis de cloprostenol sódico.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 SITUACIÓN ACTUAL DE LA OVINOCULTURA EN MÉXICO

México cuenta con una gran diversidad de climas, que van desde el templado hasta el cálido, y del húmedo, al seco (García 2004). Debido a la variabilidad de condiciones climáticas, edáficas y topográficas existentes en el país, así como las interacciones animal – planta, y sociedad - naturaleza, se han desarrollado un gran número de agroecosistemas en las regiones tropicales, tanto húmedas, como secas (Vilboa *et al.* 2006; Bautista *et al.* 2011), las cuales representan de manera conjunta cerca de 30% del territorio nacional (Amendola *et al.* 2005) y se consideran como las de más alto potencial productivo en especies principalmente agrícolas y ganaderas (Martínez *et al.* 2008).

El trópico húmedo comprende los estados de Colima y Tabasco, así como parte de los estados de San Luís Potosí, Hidalgo, Puebla, Veracruz, Campeche, Quintana Roo, Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Michoacán de Ocampo, Jalisco y Nayarit (Olvera *et al.* 2011), mientras que el trópico seco se localiza a lo largo de las costas de 15 estados tanto del Golfo de México como del Océano Pacífico, destacando los estados localizados en la región sur y sureste del país como Campeche, Chiapas, Guerrero, Oaxaca, Quintana Roo, Tabasco, Veracruz y Yucatán, donde se concentra más de 25% de las zonas tropicales del país (Amendola *et al.* 2005).

Los sistemas de producción de ovinos se han desarrollado históricamente de manera extensiva; y el pastoreo en áreas de vegetación nativa, es la principal fuente de alimentación (Lasseur 2005).

La producción ovina es una de las actividades agropecuarias más importantes que se realizan en el mundo, y el aspecto reproductivo uno de los factores que más inciden en la misma (Barioglio *et al.* 1991). Los ovinos son una especie que puede transformar los principios nutritivos de los forrajes y concentrados de baja calidad nutritiva, en carne, leche y otros subproductos útiles para el hombre, ya que posee un metabolismo particular y un ciclo de producción corto (Hernández *et al.* 2014).

La ovinocultura de carne se desarrolla bajo un esquema de tipo regional, en la zona central se producen carne y pieles con razas de lana como la Suffolk, Hampshire, Rambouillet y Dorset; y las razas de pelo (Katahdin, Dorper y Pelibuey); la región sur-sureste se orienta principalmente a la producción de carne con razas de pelo (Pelibuey, Black Belly, Katahdin y Dorper) y produce un poco de lana para uso artesanal con animales criollos en Oaxaca y Chiapas. La zona norte ahora se dedica a la producción de carne, no obstante fue la principal proveedora de lana en épocas pasadas, por lo que aún se mantiene una población de animales de la raza Rambouillet, pero más recientemente se han introducido razas de pelo, como son la Pelibuey, Katahdin y Dorper (Partida de la Peña *et al.* 2017).

Los ovinos se adaptan a diferentes tipos de climas, debido a que el productor tiene la opción de elegir la raza y/o tipo de animal adecuado a las condiciones de su región (FAO 2000). En los sistemas de producción pecuaria, y

particularmente de ovinos, la productividad tiene gran relevancia; ya que, de ser sistemas de producción en descuido, de traspatio y de alcancía, la ovinocultura en México está pasando a ser una actividad agropecuaria rentable y competitiva (FAO 2000).

2.1.1. Inventario y producción ovina en México

En México, el consumo de carne de ovino, comparado con otros países, es bajo; sin embargo, la producción es insuficiente para cubrir la demanda interna, por lo que es necesaria la importación de una gran cantidad de carne en canal, así como de borregos en pie (Hernández *et al.* 2014).

De acuerdo con datos publicados por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP 2020), en 2017 el hato ovino en la República Mexicana fue de 8,902,451 cabezas, las entidades con mayor número de cabezas fueron el Estado de México (1,450,098), Hidalgo (1,215,342), Veracruz (695,507), Oaxaca (521,869) y Puebla (505,401). Con respecto a la producción de carne ovina, a nivel nacional, en 2017, se obtuvieron 61,605,108 ton. El Estado de México produjo 9,046,115 ton, Hidalgo 6,988,996 ton, Veracruz 5,143,861 ton, Zacatecas 4,507,114 ton y Puebla 4,265,851 (SIAP 2020a).

En el año 2017, Oaxaca ocupó el noveno lugar a nivel nacional en producción de carne ovina en canal, aportó 3.6% del inventario del rebaño nacional (SIAP 2020a). Más de 88% de la producción de ovinos en Oaxaca se concentra en las regiones de Valles Centrales y Mixteca. En el resto de las regiones destaca la Sierra Juárez, Costa, Istmo, y en muy poca proporción Tuxtepec. El destino

de la producción es diversificado: parte se destina al autoconsumo, pero también a los mercados locales y regionales (Martínez-Peña *et al.* 2018). La producción primaria de la ovinocultura en la entidad, se da bajo tres sistemas de producción: pastoreo, mixto y estabulado (Martínez-Peña *et al.* 2018). La cría de ovinos en las regiones tropicales de México se percibe, actualmente, como una opción ganadera con alto potencial de desarrollo (Morales *et al.* 2004), originado por una aceptación creciente por parte de los consumidores (Martínez *et al.* 2011); quienes gradualmente incluyen la carne ovina en su dieta.

2.2. CARACTERÍSTICAS REPRODUCTIVAS DE LA OVEJA

2.2.1. Estacionalidad reproductiva

Los animales, de acuerdo a su hábitat y a la estación del año, desarrollan una serie de adaptaciones fisiológicas y conductuales importantes para su supervivencia (Malpoux *et al.* 1999; Goldman 2001; Chemineau *et al.* 2004; Arroyo *et al.* 2007).

En mamíferos, la información de la longitud del día se traduce en una señal neuroendocrina por la glándula pineal; la información es codificada por la duración de la secreción nocturna de melatonina, que es proporcional a la duración de la noche (Goldman 2001). La duración y la amplitud del ritmo de secreción de melatonina dependen directamente del fotoperiodo al que se encuentre expuesto el individuo (Alila-Johansson *et al.* 2001).

La reproducción estacional es una respuesta adaptativa de los animales, que concentran la actividad reproductiva en la época del año, donde las condiciones ambientales y de disponibilidad de alimento son óptimas, asegurando la supervivencia de las crías (Arroyo, 2011).

En el periodo de reposo sexual, se genera un estado de inactividad sexual que se asocia con la ausencia de ovulación. Las especies que se encuentran en latitudes medias y altas (30° - 60°), concentran sus partos en primavera y principios del verano (Zerbe *et al.* 2012). En las zonas tropicales y subtropicales de latitud baja ($<23^{\circ}$), la estacionalidad tiende a desaparecer y la mayoría de las especies son capaces de reproducirse durante todo el año (Chemineau *et al.* 2004).

Las ovejas son consideradas "criadoras de días cortos" porque su actividad reproductiva se inicia en respuesta a la disminución de la duración de la luz del día, y se clasifican como poliestricas estacionales. Por lo general, dejan de mostrar celo porque quedan gestantes o termina la época reproductiva. Aunque la temperatura y la presencia del macho pueden influir en la estacionalidad de los ciclos estrales, los efectos del fotoperiodo son los más importante (Malpaux *et al.* 1999). El fotoperiodo es el factor principal que regula la estacionalidad reproductiva en la oveja (Malpaux *et al.* 2002).

Estudios realizados en México, indican que, en los ovinos de pelo tal y como sucede con las razas de lana, presentan fluctuaciones en el comportamiento reproductivo, existiendo una época durante la cual la fertilidad se reduce sin llegar a considerarse un periodo de anestro (Macedo & Alvarado 2005). Estudios realizados en la región central de la República Mexicana demostraron

que las ovejas de pelo tienden a ovular de manera continua y no presentan anestro estacional (Arroyo *et al.* 2007). Este comportamiento también se ha observado en ovejas de pelo en la región tropical del suroeste mexicano, donde presentaron periodos de inactividad ovulatoria (Arroyo *et al.* 2016).

2.2.2. Ciclo estral

El ciclo estral se define como el período comprendido desde la aparición de un estro hasta el comienzo del siguiente (Senger 2003). Las hembras de pequeños rumiantes presentan características reproductivas particulares comparadas a las de otros rumiantes (Aisen 2004).

La oveja es una especie poliéstrica estacional. La estación reproductiva va desde el mes de julio o agosto hasta enero (Arroyo *et al.* 2007). El ciclo sexual dura 17 días (Senger 2003), tradicionalmente el ciclo está dividido en fases (Goodman & Inskoop 2006), con un proestro de 2 d -3 d, un estro de 36 h, siendo 10 h más corto en corderas, un metaestro de 2 d -3 d y un diestro de 12 d -13 d. La ovulación se produce al final del celo, aproximadamente a las 34 h de su inicio (Arroyo *et al.* 2015). El estro en la oveja es un evento menos obvio que en otros rumiantes (McDonald 2001).

Los eventos endocrinos presentes durante el ciclo estral son regulados por el hipotálamo, la hipófisis, el folículo, el cuerpo lúteo y el útero (Viñoles 2001). El sistema nervioso central (SNC), por acción de la GnRH, estimula en la adenohipófisis la síntesis y secreción de las LH y FSH. Estas gonadotropinas hipofisarias estimulan en el ovario, la esteroidogénesis o síntesis de los

esteroides gonadales (estrógeno y progesterona), los cuales participan en el desarrollo de los folículos ováricos, en la ovulación y en la inhibición de la misma (Aisen 2004).

La fase lútea se extiende desde la ovulación hasta la luteólisis y comprende 80% del ciclo estral. Durante esta fase, la estructura ovárica dominante está constituida por el o los cuerpos lúteos y la principal hormona producida por ellos es la progesterona. La fase lútea presenta dos periodos: el metaestro y diestro. El metaestro se inicia después de la ovulación, cuando el folículo de Graff se llena de sangre y se transforma en cuerpo hemorrágico. Como consecuencia de la secreción preovulatoria de LH, las células de la granulosa de la pared del folículo ovárico roto se transforman en células luteínicas, que proliferan hacia el antro folicular y comienzan a producir progesterona. El diestro es la fase más extensa del ciclo estral. En la fase lútea, la concentración de progesterona alcanza valores de 1 ng ml^{-1} o más, esta hormona se sintetiza y libera a partir de un cuerpo lúteo maduro y funcional. Los valores plasmáticos de esta hormona se incrementan entre los días 4 a 5, para alcanzar una meseta el día 8 del ciclo, valores que se mantienen hasta iniciada una nueva luteólisis. La progesterona ejerce un efecto de retroalimentación negativa a nivel hipotalámico e inhibe la secreción pulsátil de GnRH y por lo tanto de LH (Aisen 2004; Abecia & Forcada 2010). El diestro finaliza con el comienzo de una nueva luteólisis provocada por la prostaglandina uterina (Aisen 2004).

Durante la fase folicular (proestro y estro), la concentración de P4 es basal, como consecuencia de la lisis del cuerpo lúteo, inducida por los $\text{PGF2}\alpha$; los folículos ováricos crecen y maduran hasta alcanzar un estado preovulatorio (Abecia & Forcada 2010). El incremento en la secreción de estradiol, durante la

fase folicular del ciclo estral, es el resultado de una mayor liberación de gonadotropinas hipófisarias LH y FSH (Hunzicker-Dunn 2006). En esta etapa fisiológica el estradiol ejerce un efecto de retroalimentación positiva (Abecia & Forcada 2010).

2.2.4. Hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH)

La GnRH es un decapeptido producido en las neuronas del área ventromedial y del área preóptica del hipotálamo. La GnRH es secretada en dos formas: una secreción pulsátil o tónica desde el centro tónico del hipotálamo y la secreción preovulatoria de GnRH (Gottsch *et al.* 2004). La GnRH controla la síntesis y liberación de gonadotropinas hipófisarias a través de la unión a sus receptores específicos en la membrana plásmatica de los gonadotropos (Hunzicker- Dunn 2006). Las neuronas de GnRH son importantes no solamente por estar involucradas en el inicio de la función reproductiva sino también por desarrollar funciones neuromoduladoras en el estado adulto (Whitlock *et al.* 2006).

Las neuronas que producen GnRH, tienen su origen embrionario fuera del sistema nervioso central, y derivan del ectodermo durante la gestación temprana; dichas neuronas migran hacia el hipotálamo, junto con o como parte del nervio terminal a través de la lámina cribiforme (Prieto & Velázquez 2002). El patrón de secreción es de forma pulsátil, cuya frecuencia puede variar entre 30 min -120 minutos, cada pulso de secreción de GnRH estimula un pulso de LH; sin embargo, la relación de estos pulso con los de FSH es menos clara (Millar 2005). En el eje hipotálamo-hipofisis-gonadal, el patrón de secreción de GnRH está regulado por las concentraciones de esteroides gonadales, tales

como P4, E2-17 β o testosterona en el caso del macho (Clare & Pompolo 2005). Los receptores de GnRH se encuentran exclusivamente en membranas citoplasmáticas. Los principales sitios blanco de esta hormona son las células gonadotropas en la adenohipófisis (Prieto & Velázquez 2002).

2.2.5. Hormona folículo estimulante (FSH)

Es producida por los gonadotropos de la adenohipófisis, es una hormona glucoproteica de alto peso molecular, secretada en pulsos desde los gonadotropos de la hipófisis, constituida por dos subunidades llamadas alfa y beta, codificadas por genes ubicados en distintos cromosomas (Kraus *et al.* 2001; Hafez & Hafez 2002). Actúa directamente en las células de la granulosa del folículo ovárico, estimulando la síntesis y secreción de estradiol, necesario en el crecimiento y desarrollo del folículo ovulatorio (Recabarren *et al.* 2006). La FSH, en la hembra, actúa sobre los folículos en los que se encuentran los óvulos en desarrollo, produciendo su crecimiento, además de iniciar la secreción de estradiol, que, al alcanzar determinados niveles, inhibe la secreción hipofisiaria de la FSH. En el macho, esta hormona promueve la espermatogénesis (Prieto & Velázquez 2002).

El pico de FSH plasmático está asociado con el día del surgimiento de la onda folicular, cuando dicha concentración incrementa de 1.5 a 2 veces la concentración basal. En ovejas se han reportado picos de FSH entre 3 ng/mL y 4 ng/mL; y en vacas hasta 6 ng/mL (Franco & Uribe 2012).

2.2.4. Hormona luteinizante (LH)

La LH es una hormona gonadotrópica producida por la glándula pituitaria anterior (Recabarren *et al.* 2006). Estructuralmente tiene 2 cadenas polipeptídicas, la cadena alfa (a) y la cadena beta (b) que es la encargada de la especificidad de acción a los receptores de cada hormona (Castellanos *et al.* 2002). Actúa en los ovarios estimulando el desarrollo terminal de los folículos y el incremento en la síntesis y secreción de estrógenos, los cuales a su vez son responsables de inducir el estro y la ovulación (Santos *et al.* 2014).

El patrón de secreción de la LH tiene tres características que se evidencian durante el ciclo estral (Franco & Uribe 2012). Dichas características son concentración, amplitud y frecuencia, las cuales varían durante el ciclo (Forde *et al.* 2011). El pico preovulatorio de LH precede a la ovulación por aproximadamente 24 h. Esta hormona es la encargada de la ruptura de la pared folicular, desencadenando la ovulación (Padilla *et al.* 1988).

2.2.5. Estradiol (E2)

El E2 es el estrógeno primario biológicamente activo producido por el ovario (Hafez & Hafez 2002). Todos los estrógenos ováricos son sintetizados a partir de precursores androgénicos (Ortega 2006). Las principales funciones fisiológicas del estradiol-17 β y de los estrógenos en general son el desarrollo y mantenimiento de la estructura funcional de los órganos sexuales de la hembra, mediante la estimulación de la síntesis de proteínas y de la mitosis en órganos dependientes de estrógenos. Los caracteres sexuales secundarios de

la hembra, incluyendo los cambios en la conformación y el crecimiento del cuerpo, distribución de pelo o plumaje, y el desarrollo de las glándulas están bajo control estrogénico (McDonald 1991). Ejercen el control de retroalimentación positiva y negativa en la liberación de LH y FSH en el hipotálamo. En el útero actúan potencializando los efectos de la oxitocina y PGF2 α para aumentar la amplitud y frecuencia de las contracciones durante el parto (Ortega 2006). También se secretan estrógenos en el testículo en pequeñas cantidades, por aromatización de una pequeña fracción de testosterona, y en la placenta. La síntesis en la placenta es abundante, a partir principalmente del sulfato de dehidroepiandrosterona que se forma en la bien desarrollada corteza suprarrenal del feto (Florez 1997).

El origen del E2 presente en la circulación periférica durante las fases folicular y luteal del ciclo estral de la oveja, es el ovario, que contiene un folículo dominante con un diámetro entre 3.5 mm y 4.5 mm (Baird & Scaramuzzi 1976).

2.2.6. Progesterona (P4)

La P4 es una hormona esteroide de 21 átomos de carbono con numerosas funciones biológicas, principalmente ligadas a eventos reproductivos (Barrera *et al.* 2007). Es necesaria para el mantenimiento de la preñez en todas las especies de mamíferos, ya sea sintetizada por el cuerpo lúteo, por la placenta o ambos. Grandes dosis de progesterona inhiben la liberación de gonadotropinas de la glándula hipófisis. En algunos animales cíclicos (vaca, oveja, yegua, cerda), esto puede regular la duración del diestro, porque en cuanto el cuerpo lúteo deja de secretar progesterona, sigue una descarga de FSH, que provoca

el desarrollo de los folículos (McDonald 1991). En las hembras ovinas, la P4 es secretada solamente por el cuerpo lúteo y la placenta, siendo necesarias concentraciones mínimas de LH para estimular esta secreción (Baird & Scaramuzzi *et al.* 1976).

En sinergia con el E2 induce el comportamiento sexual. Después de la ovulación, el aumento de la concentración de P4 ejerce una retroalimentación negativa sobre el hipotálamo e inhibe la secreción de GnRH y LH, bloqueando de esta forma una nueva ovulación (Hafez & Hafez 2002).

2.2.7. Prostaglandina

Las prostaglandinas tienen una amplia variedad de acciones como PGE₂ y PGF₂α (inducción de trabajo de parto, aborto y luteolisis); PGA₁ (inhibición de la secreción gástrica); PGE₁ y PGE₂ (dilatación bronquial); PGA₁ (vasodilatación y diuresis), y PGE₁ (inhibición de la agregación de plaquetas). Estructuralmente, la PGF₂α es un ácido graso insaturado compuesto por 20 átomos de carbono (McDonald 1991).

Las prostaglandinas en general y la PGF₂α en particular, se metabolizan rápido en el cuerpo, es decir en los pulmones. La capacidad de la PGF₂α para inducir luteólisis en vacas, ovejas, yeguas, y otras especies ha estimulado el estudio de su uso como agente para controlar y sincronizar el estro en especies de ganadería (McDonald 1991).

La PGF₂α es un compuesto que se sintetiza y se almacena en las glándulas uterinas durante el ciclo estral. En el ovario, la concentración de PG dentro de

los folículos, aumenta a medida que estos maduran. La PGF₂α natural o sus análogos sintéticos (tiaprost, cloprostenol y fenprostanelo) son responsables de inducir la luteolisis hacia el final del diestro o gestación (Echeverría 2006).

La PGF₂α es un mediador químico de inflamación y puede ser producida en otros tejidos u órganos del animal durante enfermedades sistémicas, cuando hay daño tisular local o en lugares de inyecciones que causan inflamación (De la Concha 2014).

2.3. MÉTODOS DE SINCRONIZACIÓN DE ESTROS

El creciente estudio de la fisiología de la reproducción ha permitido conocer los mecanismos que regulan la secreción hormonal, y proponer alternativas para mejorar la eficiencia reproductiva de las unidades de producción, mediante la implementación de técnicas para controlar el ciclo estral, como la sincronización de estros (Kusina *et al.* 2000). Dicha eficiencia reproductiva se puede alcanzar por métodos naturales, que permiten la bioestimulación ejercida por la presencia del carnero, más conocido como “efecto macho”, o por métodos farmacológicos con progestágenos (Simonetti *et al.* 1999) y prostaglandinas (Hernández *et al.* 2001) o la combinación de progestágenos con hormonas que favorezcan el desarrollo folicular, como la gonadotropina coriónica equina (Sosa *et al.* 2014). En los rumiantes pequeños, la sincronización del estro se logra reduciendo la longitud de la fase lútea del ciclo estral con prostaglandina F₂α o sus análogos o extendiendo el ciclo artificialmente con progesterona exógena o progestágenos más potentes (Nasroallah *et al.* 2012).

2.3.1. Efecto macho

En ovejas y cabras que se encuentran en anestro estacional, la introducción repentina del macho provoca el reinicio de la actividad reproductiva cíclica. Del total de las hembras expuestas al semental, un porcentaje alto ovula dentro de los primeros tres a cinco días. En ambas especies la introducción del macho resulta en un rápido aumento en la frecuencia de liberación de pulsos de LH, seguido por un pico preovulatorio de la misma gonadotropina y ovulación (Álvarez & Zarco 2001). Es útil en el manejo reproductivo del rebaño en sistemas intensivos (De Lucas *et al.* 2008). Mediante este método reproductivo se manipula la estación de empadre, lo que permite tener partos agrupados en cualquier época del año, se reduce la edad al primer parto en ovejas primiparas, disminuyen los costos de producción del pie de cría, se acelera el retorno del capital y aumenta la vida productiva de las hembras, además se reduce el intervalo generacional (Morales *et al.* 2003).

El efecto macho como método de inducción de estros ofrece beneficios al proceso de producción, el agrupamiento de un gran número de ovejas que presenten celo, así como la optimización de la inseminación artificial y/o monta natural dirigida, aspecto importante cuando se siguen programas de mejoramiento genético (Álvarez & Zarco 2001).

2.3.2. Efecto hembra

Dentro de los fenómenos de bioestimulación sexual conocidos en ovejas y cabras, se ha reportado la existencia de un papel inductor de la actividad sexual por parte de las hembras. La respuesta al efecto hembra ha mostrado ser tan alta como la obtenida con el efecto macho o con la utilización de progestágenos (80%). Al igual que en el efecto macho, los estímulos olfativos (feromonas) podrían estar involucrados en la estimulación sexual dada por las hembras en estro a otras hembras. La condición esencial para que una hembra ejerza un papel inductor en la actividad reproductiva de otra es que se encuentren en estro o bajo un tratamiento de fotoperiodo artificial para inducir actividad estral entre sus compañeras (Álvarez & Zarco 2001).

2.3.3. Métodos farmacológicos

2.3.3.1. Progesterona o progestágenos

Los métodos que utilizan progesterona o sus análogos, se basan en sus efectos sobre la fase lútea del ciclo, simulando la acción de la progesterona natural producida en el cuerpo lúteo después de la ovulación. Así, el control de vida del cuerpo lúteo o manipulación de la concentración de progesterona circulante permite la regulación del estro y ovulación (Hansel & Convey 1983). El estro generalmente ocurre 24 horas - 56 horas después de remover la fuente de progesterona (Sharkey et al. 2001). El método más común es la administración de progesterona por un periodo de 9 d a 20 d, combinada con una inyección de gonadotropina. Durante la estación reproductiva un tratamiento con progesterona menor de 16 d, puede combinarse con una

inyección de prostaglandina para lisar el cuerpo lúteo; la PMSG también puede administrarse al final del tratamiento con progesterona (Bretzlaff & Romano 2001).

La progesterona o progestágenos son ampliamente utilizados para sincronizar el estro en ovejas y típicamente resultan en más de 90% de ovejas en estro en periodo de 24 h y tasa de concepción de 70% - 80% (Evans *et al.* 2001). El tratamiento a corto plazo con progestágenos tiene una tasa de gestación más alta, probablemente, debido a la ovulación de folículos en crecimiento recién reclutados (Fitzgerald *et al.* 1985; Viñoles *et al.* 2001).

Las formas comerciales más utilizadas de progestagenos son acetato de fluorogestona (20 mg/ esponja) y acetato de medroxiprogesterona (60 mg/ esponja). El dispositivo interno de liberación controlada del fármaco (CIDR) también se ha utilizado normalmente impregnado con progesterona natural. La concentración de progesterona plasmática aumenta rápidamente después de la inserción del dispositivo y alcanza las concentraciones más altas 3 d después de la inserción (Wheaton *et al.* 1993).

Algunos problemas provocados con el uso de progestágenos intravaginales son la producción de metabolitos y la inducción de problemas como la vaginitis y retención de esponjas, que afecta la salud y el bienestar animal (Martin *et al.* 2004; Gonzalez *et al.* 2005).

2.3.3.2. Prostaglandinas

La PGF₂ α es un prostanoide con una marcada actividad sobre el control del ciclo estral (Echeverrías 2006). Se han utilizado prostaglandinas como

tratamientos simples o dobles con o sin progestágenos. La prostaglandina F_{2α} o uno de sus análogos inducirá la luteólisis en ovejas cíclicas durante la época reproductiva (Douglas & Ginther 1973).

Por lo tanto, en razas de latitudes templadas, la PGF_{2α} tiene que ser usada durante la temporada de cría (Douglas & Ginther 1973, Acritopoulou *et al.* 1978); sin embargo, en ovejas tropicales, con una temporada de reproducción continua o con anestro estacional reducido (Arroyo *et al.* 2016), los análogos de prostaglandina se pueden aplicar durante todo el año. De hecho, estudios previos han reportado el uso exitoso de sincronización de estros con prostaglandinas en ovejas de pelo (Godfrey *et al.* 1997, Godfrey *et al.* 1999, Arroyo *et al.* 2013, Arroyo *et al.* 2015).

La PGF_{2α} natural o sus análogos sintéticos (tiaprost, cloprostenol y fenprostaleno) tienen la capacidad de regular la vida del cuerpo lúteo (Echeverrías 2006). El cloprostenol provoca rápida regresión del cuerpo lúteo, al mismo tiempo que provoca estimulación de la musculatura uterina y relajación del cérvix (Plumb 2011).

Sin embargo, para la sincronización del estro en un grupo de hembras, tanto en razas tropicales como en templadas, es necesario el uso de dos inyecciones con 9 d a 10 d de diferencia: asegurando que casi todos los animales estarán a mitad de la fase lútea en la segunda dosis de PGF_{2α} y responderá con comportamiento de estro y ovulación (Contreras *et al.* 2009).

III. JUSTIFICACIÓN

La sincronización de estros se ha utilizado para aumentar la eficiencia reproductiva en la mayoría de los animales, incluidas las ovejas (Konyucu & Ozis Alucekic 2010). Las estrategias para sincronizar el celo en ovinos se han basado en producir una caída sincronizada de las concentraciones de progesterona circulante (Viñoles 2011). Los fármacos comúnmente utilizados son la progesterona o los progestágenos sintéticos que prolongan la fase lútea, mientras se mantiene el tratamiento, y la prostaglandina F2 α (PG) o sus análogos sintéticos, que la acortan induciendo la luteólisis (Gonzalez 1993; Rahman *et al.* 2008). Una vez que la PGF2 α fue identificada como el factor luteolítico durante el ciclo estral de la oveja (McCracken *et al.* 1972), se desarrollaron prostaglandinas sintéticas para su uso en la inducción prematura de la luteólisis durante el diestro (Cooper 1974).

Los tratamientos basados en prostaglandinas son prácticos debido a la facilidad de administración por vía intramuscular, evitando así problemas de salud como la vaginitis, principalmente causada por dispositivos intravaginales impregnados con progesterona (Gonzalez *et al.* 2005).

Desde el punto de vista de su aplicación práctica, la PGF2 α y sus análogos sintéticos son incapaces de inducir estro y ovulación durante el anestro (Thimonier 1981). Sin embargo, estudios en México han demostrado que entre 60% y 70% de ovejas de pelo en el trópico pueden ovular sin interrupción durante todo el año (Arroyo *et al.* 2007; Arroyo *et al.* 2016), y el uso de la sincronización de estros basados en protocolos de PGF2 α representa una alternativa para la sincronización (Alavez *et al.* 2018).

Varios protocolos basados en PGF2 α son aceptables para sincronizar el estro (Fierro *et al.* 2013). Por ejemplo, Arroyo *et al.* (2013) usaron protocolos de sincronización con CIDR o PGF2 α en ovejas de pelo, no encontraron diferencias en la presentación de estros. Marques *et al.* (2010) obtuvieron 100% de ovejas en estro al comparar dos protocolos de sincronización (PGF2 α vs MAP+eCG), el estro se presentó a las 66.0 \pm 2.5 h y 67.3 \pm 2.8 h, respectivamente. Los autores concluyen que es importante el uso de PGF2 α como protocolo alternativo.

González *et al.* (2005) reportaron respuestas similares en el porcentaje de ovejas en estro (81.5% vs 72.4%) en tratamientos de sincronización usando PGF2 α y progestágenos (FGA), los autores mencionaron que existe una mejor viabilidad cuando las ovejas se sincronizaron con cloprostenol comparado con los progestágenos.

Rubianes *et al.* (2003) obtuvieron luteolisis efectiva, con 100% de celos y ovulación, tras la aplicación de delprostenato (160 μ g) a partir del tercer día después de la ovulación. Acritopoulou & Haresing (1980) mencionaron que la administración de PGF2 α a un grupo de ovejas ciclando, induce regresión lútea en 66% de ovejas, con inducción del estro a las 37.7 \pm 1.6 h y la administración de una segunda inyección de PGF2 α induce estro en la mayoría de las ovejas cuando no hay referencia a la etapa del ciclo estral al momento de la primera inyección.

Sin embargo, una sola inyección de PGF2 α es el protocolo más simple para inducción de la ovulación en un rebaño (Acritopoulou *et al.* 1977). Abecia *et al.* (2011) sugirieron que la dosis apropiada de PGF2 α es de 125 μ g. Otros

autores, reportaron que dosis tan bajas como 50 µg son efectivas para inducir luteolisis en las ovejas (Baird & Scaramuzzi 1975).

Al respecto, Das *et al.* (1999) mencionaron que cuando se administra una sola dosis de PGF2α entre los días 8 a 11 del ciclo, la proporción de ovejas en estro y su inicio (46.3 ± 1.3 h) es similar al obtenido con una doble administración de PGF2α con intervalo de 10 d de aplicación (51.6 ± 2.4).

El uso de la PGF2α en la reproducción de ovejas tiene algunas ventajas prácticas, incluida la aplicación simple, costo reducido y menos contaminación ambiental en comparación con los dispositivos intravaginales de progestágenos (Fierro *et al.* 2013). Por lo tanto, se requieren nuevas alternativas para que la sincronización de celos pueda adaptarse a las necesidades y posibilidades de una mayor cantidad de productores (Pérez *et al.* 2012).

IV. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

Evaluar la respuesta reproductiva en ovejas de pelo sincronizadas con una dosis de cloprostenol sodico.

4.2. Objetivos específicos

Evaluar la respuesta estral en ovejas de pelo sincronizadas con una dosis de cloprostenol sódico y compararla con ovejas de pelo sincronizadas con progesterona o dos dosis de cloprostenol sódico.

Evaluar el porcentaje de gestación en ovejas de pelo sincronizadas con una dosis de cloprostenol sódico y compararla con ovejas de pelo sincronizadas con progesterona o dos dosis de cloprostenol sódico.

Evaluar el porcentaje de ovejas paridas y pérdidas embrionarias en ovejas de pelo sincronizadas con una dosis de cloprostenol sódico y compararla con hembras de pelo sincronizadas con progesterona o dos dosis de cloprostenol sódico.

V. HIPÓTESIS

La respuesta reproductiva en ovejas de pelo sincronizadas con una dosis de cloprostenol sódico es similar a los tratamientos con progesterona o dos aplicaciones de cloprostenol sódico.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Localización y descripción del área de estudio

El estudio se realizó en el Módulo Ovino del Campo Experimental de la Universidad del Mar, localizada en la comunidad de Bajos de Chila, San Pedro Mixtepec, Oaxaca, México, ubicado en el km 128.1 de la carretera Federal Pinotepa Nacional - Puerto Escondido (15°55' latitud N, 97°09' longitud O) con una altitud de 15 m. De acuerdo con la clasificación de Köppen, modificado por García (2004), el clima predominante en la zona es el cálido subhúmedo (AWo AWI) con lluvias en verano y temperatura media anual de 24°C a 26°C, y una precipitación pluvial media anual de 731.9 mm a 2 054 mm, con mayor ocurrencia en los meses de mayo a octubre.

6.2. Animales experimentales

Se utilizaron 36 ovejas locales de pelo, de 3.5 a 4.0 años de edad, clínicamente sanas, peso corporal promedio de 42.21 ± 1.09 kg y condición corporal de 3.0 a 3.5 en una escala de 0 a 5 (Thompson & Meyer 1994), en condiciones de semi estabulación.

6.3. Alimentación y manejo general de los animales

Cinco días antes de iniciar el experimento, las ovejas se revisaron por ultrasonografía transrectal (SonoScape® S2/S2BW, China) con un transductor lineal de 7.5 Mhz, con el propósito de confirmar que no estuvieran gestantes. Se determinó el peso de los animales al inicio del experimento.

Las ovejas fueron alimentadas con alfalfa (*Medicago sativa*) deshidratada a libre acceso y 150 g animal d⁻¹ de alimento comercial (Purina®, México) con 14 % de proteína y energía metabolizable de 3.4 Mcal/kg/MS, cubriendo los requerimientos nutricionales (PC 8.9, MS 1.2, EM 1.8 Mcal/Kg) de mantenimiento de NRC (2007). Las ovejas pastorearon de 09:00 h a 17:00 h en un sistema silvopastoril dentro de los potreros establecidos con pasto estrella de África (*Cynodon plectostachyus*), pasto bermuda (*Cynodon dactylon*) y guacimo (*Guazuma ulmifolia*); posteriormente, los animales se estabularon y se adicionó concentrado, Fosforysal Borrego® (Purina premezcla de minerales y vitaminas) y agua fresca a libre acceso.

6.4. Diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar, teniendo como fuente de variación el tratamiento hormonal (progesterona, uno o dos aplicaciones prostaglandina). El experimento se llevó a cabo en la época reproductiva (Noviembre - Diciembre; Arroyo *et al.* 2007; Arroyo *et al.* 2016), las ovejas se asignaron de manera aleatoria a uno de tres tratamientos: Tratamiento 1 (T1; n=12): inserción de dispositivo intravaginal con 300 mg de progesterona durante 10 d (CIDR, Zoetis®, Nueva Zelanda), Tratamiento 2 (T2; n=12): dos dosis IM de 0.075 mg de PGF2 α (Cloprostenol, Croniben®, Biogénesis Bagó, Argentina) con un intervalo de 8 d. Tratamiento 3 (T3; n=12): una dosis IM de 0.075 mg de PGF2 α (Cloprostenol, Croniben®, Biogénesis Bagó, Argentina) aplicada de manera que coincidiera con el día 8 del segundo tratamiento y con el retiro del CIDR del primer tratamiento.

6.5. Detección de estros

Dieciocho horas después de retirar el CIDR y aplicar la segunda o única dosis de cloprostenol, se inició la detección de estros. Se utilizaron dos machos adultos provistos con mandil. Los machos se introdujeron cada 3 horas a los corrales de las hembras por 15 min. Las ovejas en estro fueron marcadas y separadas del grupo durante el periodo de revisión y se incorporaron nuevamente al corral al concluir la detección. Doce horas después del inicio del estro, las ovejas recibieron monta natural con dos carneros de pelo adultos.

6.6. Diagnóstico de gestación y ocurrencia de partos

Se realizó diagnóstico temprano de gestación a los 20 d post servicio por ultrasonografía transrectal, se utilizó un ultrasonido portátil (SonoScape, modelo S2/S2BW, China) con una sonda de 5.5 Mhz. La gestación se confirmó con la ocurrencia del parto de las ovejas, con dicho evento se registraron las pérdidas gestacionales, el tamaño de la camada y la duración de la gestación.

6.7. Análisis estadístico

Las variables duración del estro e intervalo retiro de dispositivo, segunda o única aplicación de prostaglandina al estro se comparó a través de un análisis de varianza (PROC GLM) y comparación de medias con el estadístico de prueba Tukey (SAS, 2003). Las proporciones de estros, gestación, pérdidas embrionarias y parto, se analizaron con la prueba de Ji-cuadrada (SAS 2003).

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente estudio, más de 80% de las hembras respondieron a los tratamientos mostrando celo (Cuadro 1), lo cual coincide con los resultados de Aké *et al.* (2014) y Arroyo *et al.* (2015). No se encontraron diferencias ($P>0.05$) entre tratamientos en la proporción de ovejas en estro.

Cuadro 1. Respuesta reproductiva en ovejas de pelo sincronizadas con progesterona o cloprostenol sódico.

Variable	Tratamientos de sincronización		
	Progesterona (CIDR)	Cloprostenol sódico (2 dosis)	Cloprostenol sódico (1 dosis)
n	12	12	12
Estro (%)	83.33 ^a	91.67 ^a	83.33 ^a
Intervalo final tratamiento al estro (h; media ± E.E.)	33.84 ± 4.65 ^a	35.33 ± 1.38 ^a	37.52 ± 2.97 ^a
CV (%)	43.50	13.00	25.03
Intervalo inicio del estro al servicio (h; media ± E.E.)	12.34 ± 0.27 ^a	11.89 ± 0.03 ^a	11.99 ± 0.03 ^a
CV (%)	6.93	1.05	0.98
Duración estro (h; media ± E.E.)	33.51 ± 3.08 ^a	37.78 ± 4.34 ^a	31.14 ± 3.80 ^a
CV (%)	29.10	38.10	38.59

^aMedias con la misma literal en una fila, indican que no hay diferencias ($P>0.05$). EE: Error estándar CV: Coeficiente de variación.

Romano (1998) mencionó que una sola dosis de PGF2 α sin conocimiento previo del momento del ciclo estral induce celo en un menor número (60%) de hembras tratadas, durante los ocho días siguientes a la aplicación del tratamiento, en comparación con dos dosis aplicadas con intervalo de 12 d. El mismo autor explicó que esto sucede porque la respuesta al agente luteolítico es distinta en los diferentes estadios del ciclo estral. De manera contraria a esta afirmación, en el presente estudio, se obtuvo 83.33 % de respuesta estral al aplicar una dosis de cloprostenol, porcentaje de respuesta similar al grupo de ovejas sincronizadas con CIDR. Al respecto, Moreira *et al.* (2000) mencionaron que las ovejas no responden al tratamiento de sincronización del estro porque probablemente ocurre una luteólisis incompleta o tardía después de la aplicación de PGF2 α .

Por su parte, Menchaca *et al.* (2004), observaron un porcentaje de ovejas en estro de 80%, la expresión de estros ocurrió entre las 25 h y 48 h posteriores al término del tratamiento, el cual consistió en la aplicación de dos dosis de un análogo de PGF2 α con intervalo de 7 d. Alavez-Ramírez *et al.* (2018) reportaron 87% de ovejas en estro al sincronizar con D-cloprostenol, aplicado en dos dosis con intervalos de 12 d. Los datos anteriores coinciden con los obtenidos en la presente investigación, por lo tanto se encuentran dentro de un rango considerado como normal.

Algunos autores afirman que es necesario aplicar dos dosis de PGF2 α con un intervalo de 10 - 14 d (Evans *et al.* 2001), 9 d -10 d (Abecia *et al.* 2012) u 11 d o 12 d para obtener respuestas reproductivas aceptables. McNatty *et al.* (1982) mencionaron que al inicio del ciclo estral, el tejido luteal en formación es más resistente a la luteólisis provocada por la PGF2 α y que, debido a la vida media

corta de la PGF2 α , dosis repetidas y reducidas de esta hormona, pueden tener el mismo efecto de una dosis única elevada. En este sentido, los resultados obtenidos en este estudio, sugieren que en ovejas de pelo en el trópico, una dosis única de PGF2 α es suficiente para que más de 80% de las hembras responda al tratamiento, respuesta similar a la obtenida al sincronizar con dos dosis de PGF2 α .

En el Tratamiento 2 del presente estudio, que corresponde a la aplicación de dos dosis de PGF2 α (cloprostenol) se obtuvo 91.67% de respuesta estral, similar al 96% de ovejas en estro reportado por Koyuncu & Ozis-Alucekic (2010) y menor al 97% informado por Zeleke *et al.* (2005) en ovejas sincronizadas con FGA+PMSG. Los resultados obtenidos son similares a los porcentajes de presentación de celos reportados por otros autores, pero aplicando dos dosis de PGF2 α separados por 10 y 14 d (Bozkurt & Aköz 2006; Abdalla *et al.* 2014).

El uso de PGF2 α y sus análogos para la sincronización de estros en ovejas de pelo en el trópico presenta una respuesta más favorable que el uso de dispositivos de progestágeno vaginales (Alavez-Ramírez *et al.* 2014). En el presente trabajo, el intervalo final de tratamiento al estro no fue diferente ($P>0.05$) entre tratamientos. El estro se presentó a las 33.84 ± 4.65 h en el tratamiento con CIDR, a las 35.33 ± 1.38 h al aplicar dos dosis de PGF2 α y a las 37.52 ± 2.97 h con una dosis de PGF2 α (Cuadro 1); estos valores son similares a los reportados por Arroyo *et al.* (2015), donde el estro después de la segunda aplicación de cloprostenol ocurrió a las 34.4 ± 4.9 h; pero menores que los reportados por Martínez *et al.* (2008) y Hernández *et al.* (2001).

La duración del estro fue similar entre grupos (Cuadro 1), con valores superiores a las 30 h. Estos resultados difieren de los reportes de Zeleke *et al.* (2005), quienes obtuvieron estros con duración de 19.9 ± 1.3 h y 20.3 ± 1 h en ovejas Dorper sincronizadas con esponjas intravaginales + PMSG. Es importante considerar que estas diferencias pueden asociarse con el método de sincronización o la raza de las ovejas. Por su parte, Arroyo *et al.* (2013), en ovejas de pelo, observaron 100% de estros, con una duración de 54.2 h al sincronizar con CIDR + eCG y 51.8 h al aplicar dos dosis de prostaglandina, con intervalo de 11 d. Cambellas (1993) indicó que la duración del estro en ovejas sincronizadas varía según la raza y el protocolo utilizado. Para la sincronización de estros, Olivera *et al.* (2012) mencionaron que los análogos de $\text{PGF}_{2\alpha}$ muestran hasta 90% de efectividad en la aparición de celo en ovejas después de las 48 h. Aunado a esta información, estudios previos muestran que el trópico más de 60% de las ovejas de pelo presentan celo durante todo el año (Arroyo *et al.* 2016); por tanto, la sincronización de estros con $\text{PGF}_{2\alpha}$ y sus análogos, pueden ser utilizadas en ovejas de pelo en el trópico en cualquier época del año.

Godfrey *et al.* (1999) y Contreras *et al.* (2009) mencionaron que sincronizar el estro con prostaglandinas es eficaz, pero la fertilidad en ovejas al primer servicio es baja, alcanzando solo 70% en el porcentaje de gestación al compararla con tratamientos con progesterona. En contraste, en el presente estudio, no se encontraron diferencias ($P > 0.05$) en el porcentaje de gestación entre tratamientos (Cuadro 2). Demiral *et al.* (2014) combinaron el efecto de la administración de una dosis única de prostaglandina (125 μg cloprostenol) y la introducción del carnero al momento de la aplicación en ovejas nulíparas y

multíparas Kangal White Karaman en periodo de anestro. Concluyeron que las ovejas multíparas en periodo anestro respondieron mejor a la administración combinada de PGF2 α y el carnero que las ovejas nulíparas. La administración de PGF2 α en el momento de la introducción del carnero aumentó la proporción de partos en ovejas nulíparas. Lo anterior puede ser una estrategia importante aplicada en los programas de sincronización de estros en ovejas en el trópico.

Cuadro 2. Indicadores de fertilidad y prolificidad en ovejas de pelo sincronizadas con progesterona o cloprostenol sodico.

Variable	Tratamiento de sincronización		
	Progesterona (CIDR)	Cloprostenol sódico (2 dosis)	Cloprostenol sódico (1 dosis)
n	12	12	12
Gestación (%)	66.67 ^a	58.33 ^a	66.67 ^a
Partos (%)	58.33 ^a	58.33 ^a	66.67 ^a
Duración de la gestación (días; media \pm E.E.)	146 \pm 0.86 ^a	146 \pm 0.55 ^a	147 \pm 0.26 ^a
Tamaño de camada (Media \pm E.E.)	1.71 \pm 0.18 ^{ab}	1.14 \pm 0.14 ^b	1.75 \pm 0.16 ^a
CV (%)	28.46	33.07	28.45

^{a,b} Medias con distinta literal en la misma fila indican diferencia estadística (P>0.05). EE: Error estándar CV: Coeficiente de variación.

El porcentaje de partos fue similar (P>0.05) entre grupos, varió de 58.3 % a 66.67 % (Cuadro 2). Sin embargo, las ovejas del T3 lograron mantener la gestación hasta el momento del parto. Al respecto, Ávila *et al.* (2019)

mencionan que en ovejas sincronizadas con dos dosis de PGF2 α + GnRH, la ausencia de pérdidas embrionarias podría estar influenciada por las altas concentraciones de P₄ que se registran en los animales. De Brun *et al.* (2016) observaron que, las ovejas que tuvieron más altas concentraciones de P₄ mantuvieron su gestación hasta el parto, sugieren que el medio endocrino entre el día 7 a 18, condiciona el desarrollo del producto, guiando a la pérdida de la preñez después del día 18. Así también, las pérdidas embrionarias se asocian a niveles bajos de P₄ e insulina una semana después del estro. No se encontraron diferencias (P>0.05) en la duración de la gestación entre tratamientos (Cuadro 2). El tamaño de camada fue similar (P>0.05) entre los grupos sincronizados con progesterona y una dosis de cloprostenol, pero diferente con respecto al grupo sincronizado con dos dosis de cloprostenol (Cuadro 2).

VIII. CONCLUSIÓN

Se concluye que la respuesta reproductiva en ovejas de pelo sincronizadas con una dosis de cloprostenol sódico es similar a la de ovejas sincronizadas con progesterona o dos dosis de cloprostenol sódico, lo cual representa un método sencillo y eficiente que puede implementarse como parte del manejo reproductivo de los rebaños ovinos en regiones cercanas al ecuador.

IX. LITERATURA CITADA

- Abdalla, E.B., Farrag, B., Hashem, A.L.S., Khalil, F.A. & Abdel-Fattah, M.S. 2014. Effect of progestagen, PGF₂ α , PMSG and GnRH on estrus synchronization and some reproductive and productive traits in Barki ewes. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies* 20(1): 93-101.
- Abecia, M.A. & Forcada, M.F. 2010. Manejo reproductivo en ganado ovino. 1^a Ed. Servet. España. 195 p.
- Abecia, J.A., Forcada, F. & González-Bulnes, A. 2011. Pharmaceutical control of reproduction in sheep and goats. *Vet. Clin. Food Anim.* 27:67–79.
- Abecia, J.A., Forcada, F. & González-Bulnes, A. 2012. Hormonal control of reproduction in small ruminants. *Animal Reproduction Science* 130:173-179.
- Acritopoulou, S., Haresign, W., Foster, J.P. & Lamming, G.E. 1977. Plasma progesterone and LH concentrations in ewes after injection of an analogue of prostaglandin F-2a. *Journal of Reproduction and Fertility* 49: 337–40.
- Acritopoulou, S., Haresing, W., Foster, J.P. & Lamming, G.E. 1978. Plasma progesterone and LH concentrations in ewes after injection of analogue of prostaglandin F-2alpha. *Journal of Reproduction and Fertility* 49: 337-340.
- Aisen, EG. 2004. Reproducción ovina y caprina. Editorial. Intermedica, S.A.I.C.I., Buenos Aires, Argentina. 216 p
- Alonso, A.J.I. 1981. Manejo de la reproducción en el ovino. *Ciencia Veterinaria* 3: 434-463.
- Amendola, L., Castillo, E. & Martínez, P.A. 2005. Perfiles por país de recursos pastura/forraje, México. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). México.
- Alila-Johansson, A., Eriksson, L., Soveri, T., & Laakso, M. L. 2001. Seasonal variation in endogenous serum melatonin profiles in goats: a difference between spring and fall? *Journal of Biological Rhythms* 16(3): 254-263.
- Alavez-Ramírez, A., Arroyo-Ledezma, J., Montes-Perez, R., Zamora-Bustillos, R., Navarrete-Sierra, L. F. & Magaña-Sevilla, H. 2014. Short communication: Estrus synchronization using progestogens or cloprostenol in tropical hair sheep. *Tropical Animal Health and Production* 46:1515–1518.
- Alavez-Ramírez, A.A., Meza-Villalvazo, V.M., Sosa-Arredondo, E., Ramírez-Ramírez, H.A. & Magaña-Sevilla, H. 2018. D-Cloprostenol enhances estrus

- synchronization in tropical hair sheep. *Tropical Animal Health and Production* 50(5): 991-996.
- Álvarez, R.L. & Zarco, Q.L.A. 2001. Los fenómenos de bioestimulación sexual en ovejas y cabras. *Veterinaria México* 32(2):117-129.
- Arroyo, L.J., J. Gallegos-Sánchez, A. Villa-Godoy, J.M. Berruecos, G. Perera & J. Valencia. 2007. Reproductive activity of Pelibuey and Suffolk ewes at 19° north latitude. *Animal Reproduction Science* 102:24-30.
- Arroyo, L.J. 2011. Estacionalidad reproductiva de la oveja en México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 14:829-845.
- Arroyo, L.J., J. De la Torre-Barrera & N.Y. Ávila-Serrano. 2013. Respuesta reproductiva de ovejas de pelo sincronizadas con progesterona o prostaglandinas. *Agrociencia* 47:661-670.
- Arroyo, L.J., Hernández-López, J., Ávila-Serrano, N.Y. & Camacho-Escobar, Marco A. 2015. Respuesta estral y perfil hormonal en ovejas de pelo sincronizadas con protocolos cortos a base de prostaglandinas. *Agrociencia* 49:475-482.
- Arroyo, J., Sánchez-Hernández, N.J., Ávila-Serrano, N.Y., Camacho-Escobar, M.A. & Rodríguez-De la Torre, M. 2016. Reproductive seasonality in creole hair sheep in the tropic. *Tropical Animal Health and Production* 48:219-222.
- Aké, L.J.R., Centurión-Castro, F.G., Magaña-Monforte, J.G. & Aké-Villanueva, R. 2014. Efecto del progestágeno y de la dosis de gonadotropina corionica equina en la sincronización del estro y tasa de gestación en ovejas Pelibuey inseminadas por laparoscopia. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 1(3):261-268.
- Avendaño, R.L., Álvarez, F.D., Salome, J., Correa, A., Molina, L. & Cisneros, F.J. 2004. Assessment of some productive traits of the Pelibuey sheep in northwestern Mexico: Preliminary results. *Cuban Journal of Agriculture Science* 38:129-134.
- Avendaño, R.L., Álvarez-Valenzuela, F.D., Molina-Ramírez, L., Rangel-Santos, R., Correa-Calderón, A., Rodríguez-García, J., Cruz-Villegas, M., Robinson, P.H. & Famula, T.R. 2007. Reproductive performance of Pelibuey ewes in response to estrus synchronization and artificial insemination in Northwestern Mexico. *Journal of Animal and Veterinary Advances* 6:807-812.

- Ávila, C.B.R., García, F.E.O., Molina, M.P., Peralta, O.J.G. & Sánchez, T.E.M.T. 2019. Sincronización del estro en ovejas de pelo mediante protocolo basado en prostaglandinas + GnRH. *Ciencia UAT* 13(2):141-151.
- Baird, D.T. & Scaramuzzi, R.J. 1975. Prostaglandin F2a and luteal regression in the ewe: comparison with 16 aryloxyprostaglandin (I.C.I. 80, 996). *Ann. Biol. Anim. Bioch. Biophys.* 15:161-74
- Barrera, D., Ávila, E. & Díaz, L. 2007. Papel inmunológico de la progesterona en el mantenimiento del embarazo. *Revista de Investigación Clínica* 59:139-145.
- Barioglio, C., Varela, L., Ventura, J., Arnanudo, R., Bonardi, C., Campos, M. & Rodríguez, T. 1991. Evaluación de distintos métodos de sincronización de celos en ovinos. *Agriscientia* 8:37-40.
- Bautista, T.M., López, O.S., Pérez, H.P., Vargas, M.M., Gallardo, L.F. & Gómez, M.F.C. 2011. Sistemas agro y silvopastoriles en la comunidad El Limón, Municipio de Paso de Ovejas, Veracruz, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 14:63-76.
- Bozkurt, A.M. & Aköz, M. 2006. GnRH-PGF2 α and PGF2 α - PGF2 α synchronization in Akkaraman cross-bred sheep in the breeding season. *Bull Vet Inst Pulawy* 50:101-104.
- Bretzlaff, K.N. & Romano, J.E. 2001. Advanced reproductive techniques in goats. Review. *Food Animal Practice* 17:421-434.
- Cambellas, J.B. 1993. Comportamiento reproductivo en ovinos tropicales. *Revista Científica FCV-LUZ* 3:173-196.
- Castellanos, P.E., Arranz, C.M.C., Rodríguez, P.B.V., García, D.G. & González, S.R.M. 2002. Determinación de la hormona luteinizante (LH) en plasma por un método inmunoenzimático. *Revista Cubana de Investigaciones Biomedicas* 21(1):15-20.
- Cerna, C., Porras, A. & Valencia, M.J. 2000. Effect of an inverse subtropical (19° 13' N) photoperiod on ovarian activity, melatonin and prolactin secretion in Pelibuey ewes. *Animal Reproduction Science* 60:511-525.
- Clare, I.J. & Pompolo, S. 2005. Synthesis and secretion of GnRH. *Animal Reproduction Science* 88:29-55.
- Cuevas, E. A., Rodríguez-Hernández, V., Gutiérrez-Vargas, R., Soto-Camargo, R. & Martínez-Rojero, R.D. 1993. Sincronización de estros en ovejas Pelibuey con implantes nuevos y reciclados Norgestomet. *Veterinaria México* 24(4):327-329.

- Cooper, M.J. 1974. Control of oestrus cycles in heifers with a synthetic prostaglandin analogue. *Veterinary Record* 95:200-203.
- Chemineau, P., Daveau, A., Cognié, Y., Aumont, G., & Chesneau, D. 2004. Seasonal ovulatory activity exists in tropical Creole female goats and Black Belly ewes subjected to a temperate photoperiod. *BMC Physiology* 4:12.
- Cruz, L., S. Fernández-Baca, J.A. Álvarez & H. Pérez. 1994. Variaciones estacionales en presentación de ovulación, fertilización y sobrevivencia embrionaria de ovejas Tabasco en el trópico húmedo. *Veterinaria México* 25:19-38.
- Contreras, S.I., Vasquez, B., Díaz, T., Letelier, C., Lopez, S.A. & Gonzalez, B.A. 2009. Efficiency of estrous synchronization in tropical sheep by combining short-interval cloprostenol-based protocols and male effect. *Theriogenology* 71:1018-1025.
- Das, G.K., Naqvi, S.M.K., Gulyani, R., Joshi, A. & Mittal, J.P. 1999. Effect of two protocols of PGF₂ α treatment for synchronization of estrus in a tropical sheep. *Theriogenology* 51(1):283.
- Demiral, O.O., Abay, M., Canooglu, E., Ozalp, G.R. & Risvanli, A. 2014. The combined effect of prostaglandin administration and ram introduction in multiparous and nulliparous sheep in anestrus period on prolificacy. *Kafkas Universitesi Veteriner Fakültesi Dergisi* 20(5):787-792.
- Dogan, I. & Nur, Z. 2006. Different estrous induction methods during the non-breeding season in Kivircik ewes. *Veterinari Medicina* 51:133-138.
- Douglas, R.H. & Ginther, O.J. 1973. Luteolysis following a single injection of PGF₂ α in sheep. *Journal of Animal Science* 37:990-993.
- De Brun, V., Meikle, A., Fernández, F.A., Forcada, F., Palacín, I., Menchaca, A., Sosa, C. & Abecia, J.A. 2016. Failure to establish and maintain a pregnancy in undernourished recipient ewes is associated with a poor endocrine milieu in the early luteal phase. *Animal Reproduction Science* 173:80-86.
- De la Concha, B.A. 2014. Diagnóstico de pérdida de la gestación en pequeños rumiantes. XVIII Congreso Internacional de Ovinocultura. Congreso Nacional Caprino, Puebla. pp. 13-42.
- De Lucas, T.J., Zarco, Q.L.A. & Vásquez, P.C. 2008. El efecto macho como inductor de la actividad reproductiva en sistemas intensivos de apareamiento en ovinos. *Veterinaria México*. 39: 117-127.

- Echeverria, J. 2006. Endocrinología reproductiva: Prostaglandina F2 en vacas. Revisión bibliográfica. Revista Electrónica de Veterinaria REDVET 7(1): 1-12. http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/inseminacion_artificial/158-prostaglandina.pdf. Consulta: abril 24 2019.
- Evans, A.C.O., Flynn, J.D., Quinn, K.M., Duffy, P., Quinn, P., Madgwick, S., Crosby, T.F., Boland, M.P. & Beard, A.P. 2001. Ovulation of aged follicles does not affect embryo quality or fertility after a 14-day progestagen estrus synchronization protocol in ewes. *Theriogenology* 56: 923–936.
- FAO. 2000. Mejorando la nutrición a través de huertos y granjas familiares. Manual de capacitación para trabajadores de campo en América latina y el caribe. Servicio de programas de nutrición. Dirección de Alimentación y Nutrición. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación, FAO Roma.
- Fierro, S., Gil, J., Viñoles, C. & Olivera-Mazunte, J. 2013. The use of prostaglandins in controlling estrous cycle of the ewe: A review. *Theriogenology* 79:399-408.
- Fitzgerald, J.A., Ruggles, A.J., Stellflug, J.N. & Hansel, W. 1985. A seven-day synchronization method for ewes using medroxyprogesterone acetate (MAP) and prostaglandin F2 alpha. *Journal of Animal Science* 61:446-449.
- Forde, N., Beltman, M.E., Lonergan, P., Diskin, M., Roche, J.F. & Crowe, M.A. 2011. Oestrous cycles in *Bos taurus* cattle. *Animal Reproduction Science* 124:163-169.
- Franco, J. & Uribe, V.L.F. 2012. Hormonas reproductivas de importancia veterinaria en hembras domésticas rumiantes. *Biosalud* 1(11):41-56.
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climático de Köppen. 5ª ed., Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía. México.
- González, B.A., Veiga-López A., García P., García-García R.M., Ariz-Navarreta, C., Sánchez, M.A., Tresguerres, J.A., Cocero, M.J. & Flores, J.M. 2005. Effects of progestagens and prostaglandin analogues on ovarian function and embryo viability in sheep. Abstract. *Theriogenology* 63:2523-2534.
- Godfrey, R.W., Gray, M.L. & Collins, J.R. 1997. A comparison of two methods of oestrous synchronization of hair sheep in the tropics. *Animal Reproduction Science* 47:99-106.
- Godfrey, R.W., Collins, J.R., Hensley, E.L. & Wheaton, J.E. 1999. Estrus synchronization and artificial insemination of hair sheep in the tropics. *Theriogenology* 51:985-997.

- Goldman, B.D. 2001 Mammalian photoperiodic system: formal properties and neuroendocrine mechanisms of photoperiodic time measurement. *J. Biol. Rhythms* 16:283–301.
- Goodman, R.L. & Inskeep, E.K. 2006. Neuroendocrine control of the ovarian cycle of the sheep. In: Neill J, editor. *Knobil and Neill's Physiology of Reproduction*. 3rd ed. San Diego: Elsevier Incorporated. pp 2389-447
- Gottsch, M.L., Cunningham, M.J., Smith, J.T., Popa, S.M., Acohido, B.V., Crowley, W.F., Seminara, S., Clifton, D.K. & Steiner, R.A. 2004. A role for kisspeptins in the regulation of gonadotropin secretion in the mouse. *Endocrinology* 145:4073-4077.
- Hafez, E.S.E. 1996. *Reproducción e inseminación artificial en animales*, 3° ed., McGraw-Hill, México. 542 p.
- Hafez, E.S.E. & Hafez, B. 2002. *Reproducción e inseminación artificial en animales*. 7° ed. McGraw-Hill. México. 520 p.
- Hansel, W. & Convey, E.M. 1983. Physiology of the estrous cycle. *Journal of Animal Science* 57: 404-424.
- Haresign W. 1992. Manipulation of reproduction in sheep. Review. *Journal of Reproduction and Fertility* 45:127-139.
- Hernández, C.J., Valencia, J. & Zarco, L. 2001. Regresión del cuerpo lúteo y presentación del estro en ovejas con dos inyecciones de prostaglandina con 8 días de intervalo. *Técnica Pecuaria en México* 39:53-58.
- Hernández, C.I., Rejón, A.M., Valencia, H.E. & Araujo, A.L. 2014. Análisis de inversión para la producción de ovinos en el municipio de Tzucacab, Yucatán, México. *Revista Mexicana de Agronegocios* 34:677-687.
- Hunzicker-Dunn, M. & Mayo, K. 2006. Gonadotropin Signaling in the Ovary. In: Neill J, editor. *Knobil and Neill's Physiology of Reproduction*. 3rd ed. San Diego: Elsevier Incorporated. p. 547-592.
- Knights, M., Ramgattie, R., Siew N., Singh-Knights, D. & Bourne, G. 2011. Effectiveness of a short-term treatment with progesterone injections on synchrony of lambing and fertility in tropical hair sheep. *Animal Reproduction Science* 126:70-75.
- Kusina, N.T., Tarwirei, F., Hamudikuwanda, H., Agumba, G., Mukwena, J. 2000. A comparison of the effects of progesterone sponges and ear implants, PGF2 α ,

- and their combination on efficacy of estrus synchronization and fertility of Mashona goat does. *Theriogenology* 53:1567-1580.
- Koyuncu, M. & Ozis-Alucekic S. 2010. Effects of progestagen and Pmsg on estrous synchronization and fertility in Kirviricik ewes during natural breeding season. *Asian Australasian Journal of Animal Science* 23(3):308-311.
- Kraus, S., Naor, Z. & Seger, R. 2001. Intracellular signaling pathways mediated by the gonadotropin-releasing hormone (GnRH) receptor. *Archives of Medical Research* 32:499-509.
- Leymaster, K.A. 2002. Fundamental aspects of crossbreeding of sheep. Use of breed diversity to improve efficiency production. *Sheep and Goat Research Journal* 17(3):50-59.
- Macías-Cruz, U., Álvarez-Valenzuela, FD., Olguín-Arredondo, HA., Molina-Ramírez, L. & Avendaño-Reyes, L. 2012. Ovejas Pelibuey sincronizadas con progestágenos y apareadas con machos de razas Dorper y Katahdin bajo condiciones estabuladas: Producción de la oveja y crecimiento de los corderos durante el período predestete. *Archivos de Medicina Veterinaria* 44:29-37.
- Macedo, R. & Alvarado, A. 2005. Efecto de la época de monta sobre la productividad de ovejas pelibuey bajo dos sistemas de alimentación en Colima, México. *Archivos de Zootecnia* 54:51-62.
- Malpaux, B., Thiery, J.C. & Chemineau, P. 1999. Melatonin and the seasonal control of reproduction. *Reprod. Nutr. Dev.* 39:355-366.
- Malpaux, B., Tricoire, H., Mailliet, F., Daveau, A., Migaud, M., Skinner, D.C., Pelletier, J. & Chemineau, P. 2002. Melatonin and seasonal reproduction: understanding the neuroendocrine mechanisms using the sheep as a model. *Reproduction Supplement* 59:167-179.
- Martin, G.B., Milton, J.T., Davidson, R.H., Banchemo, H.G.E., Lindsay, D.R., Blache, D. 2004. Natural methods for increasing reproductive efficiency in small ruminants—review. *Animal Reproduction Science* 83:231–245.
- Martínez, T.J.J., Torres, E.S.M.T., Torres, H.G., Herrera, H.L., Bucio, A.L., Rojo, R.R. & Hernández, M.J. 2008. Comportamiento reproductivo de ovejas F1 (Damara x Merino) sincronizadas con CIDR y dos tiempos de aplicación de GnRH. *Trópico Húmedo* 24:175-182.
- Martínez, P.J.A., Jiménez-Sánchez, L., Herrera-Haro, J.G., Valtierra-Pacheco, E., Sánchez-López, E. & López-Reyna, M.C. 2011. Ganadería ovino-caprina en el

- marco del programa de desarrollo rural en Baja California. *Universidad y Ciencia*. 27:331-344.
- Martínez-Peña, M., Villagómez-Cortés, J.A., Mora-Brito, A.H. 2018. Rentabilidad del sistema de producción ovina en el bajo Mixe, Oaxaca, México. *Agrociencia* 52: 107-122.
- McCracken, J.A., Carlson, J.C., Glew, M.E., Goding, J.R., Baird, D.T., Gréen, K., Samuelsson, B. 1972. Prostaglandin F₂ identified as a luteolytic hormone in sheep. *Nat. New Biol.* 238(83):129-34.
- McDonald, L.E. 1991. *Endocrinología Veterinaria y Reproducción*. Cuarta edición. Interamericana. McGraw-Hill. pp 512.
- McNatty, K.P., Gibb, M., Dobson, C., Ball, K., Coster, J., Heath, D. & Thurley, D.C. 1982. Preovulatory follicular development in sheep treated with PMSG and/or prostaglandin. *Journal of Reproduction and Fertility* 65:111-123.
- Menchaca, A., Miller, V., Gil, J., Pinczak, A., Laca, M. & Rubianes, E. 2004. Prostaglandin F_{2a} Treatment Associated with Timed Artificial Insemination in Ewes. *Reproduction in Domestic Animals* 39(5):352-355.
- Millar, R.P. 2005. GnRH and GnRH receptors. *Animal Reproduction Science* 88:5-28.
- Morales, U.J., Gómez, V.H.G. & Ramírez, A.B.M. 2003. Influencia del pastoreo restringido en el efecto macho en cabras en baja condición corporal durante la estación de anestro. *Técnica Pecuaria en México* 41(3):251-260.
- Morales, M.M., Martínez, D.J., Torres, H.G. & Pacheco, V.J.E. 2004. Evaluación del potencial para la producción ovina con el enfoque de agroecosistemas en un ejido de Veracruz, México. *Técnica Pecuaria en México* 42:347-359.
- Moreira, F., de la Sota, R.L., Díaz, T. & Thatcher, W.W. 2000. Effect of day of the estrous cycle at the initiation of a timed artificial insemination protocol on reproductive responses in dairy heifers. *Journal of Animal Science* 78:1568–1576.
- Nasroallah, M.K., Khanghah, K.M. & Veisi, A. 2012. Efficiency of short time protocols based on combined FGA, PGF_{2α}, GnRH and eCG treatments on oestrus synchronization and reproductive performance of kermani ewes during the breeding season. *Int. J. Biol. Med. Res.* 3(3):1966-1970.
- NRC, 2007. *Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids and New World Camelids*. National Academic. Press, Washington, DC, USA. 362 p.

- Olvera, S.M.D., Gómez, G.A., Plascencia, B.E. 2011. La región del trópico húmedo Mexicano, principal productor agrícola de temporal en México. Segundo Congreso Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. 18-20 de agosto. Tabasco, México.
- Olivera, M.J., Fierro, S., López, V. & Gil, J. 2011. Comparison of prostaglandin and progesterone based protocols for timed artificial insemination in sheep. *Theriogenology* 75:1232-1238.
- Olivera, M.J., Gil, J., Rojas, N., Vinales, C., Espejo, L., Soca, F. & Fierro, S. 2012. Inclusion of a GnRH analogue to improve a prostaglandin F2 alpha-based protocol for timed artificial insemination (TAI) in sheep. *Reproduction in Domestic Animals* 47:422-422
- Ortega, A.J.C. 2006. Comparación de dos métodos de sincronización del estro en ovinos de pelo. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Chihuahua, Chihuahua, México. 62 p.
- Padilla, R.F.J., Mapes, S.G.E. & Jimenez, K.F. 1988. Perfiles hormonales durante el ciclo estral de la oveja. *Técnica Pecuaria en México* 28:96-108.
- Partida de la Peña, Rios-Rincón, De La Cruz-Colín, L., Domínguez-Vara, I.A. & Buendía-Rodríguez, G. 2017. Caracterización de las canales ovinas producidas en México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 8(3): 269-277.
- Pérez, C.R., Garese-Raffo, J.A., Fleischmann-Techera, R., Ganzábal-Planinich, A. & González-Stagnaro, C. 2012. Sincronización de celos en cabras en estación reproductiva: uso de esponjas de medroxiprogesterona o aplicación de prostaglandina después de cinco días de detección de celos. *Revista Científica FCV-LUZ* 22(3):245-251.
- Plumb, D.C. 2011. *Veterinary Drug Handbook*. 7° Ed. PharmaVet Inc. Stockholm, Wisconsin, USA.
- Prieto, G. B. & Velázquez, P.M. 2002. Fisiología de la reproducción: hormona liberadora de gonadotrofinas. *Revista de la Facultad de Medicina UNAM* 45(6):252-257.
- Rahman, A.N.M.A., Abdullah, R.B. & Wan Khadijah W.E. 2008. Estrus synchronization and superovulation in goats: a review. *Journal of Biological Science* 8(7):1129-1137.

- Recabarren, S.E., Muñoz, P., Lobos, A., Vilches, C. & Parilo, J. 2006. Análogo de GnRH disminuye la secreción de hormona folículo estimulante (FSH) en ovejas prepúberes. *Archivos de Medicina Veterinaria* 38(1): 39-46.
- Romano, J.E. 1998. Effect of two doses of cloprostenol in two schemes for estrous synchronization in Nubian goats. *Small Ruminant Research* 28:171-176.
- Rubianes, E., Menchaca, A. & Carbajal B. 2003. Response of the 1-5 day-aged ovine corpus luteum to prostaglandin F2alpha. *Animal Reproduction Science* 78(1-2):47-55.
- SAS. 2003. SAS/STAT. User's guide statistics released 9.12. Edition Cary, N.C. SAS Institute, Inc.
- SIAP, 2020. Ovino, población ganadera 2009-2018, cabezas. Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural, México. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/516348/Inventario_2018_Ovino.pdf. Fecha de consulta: 28 de mayo de 2020.
- SIAP, 2020a. Anuario estadístico de la producción ganadera, ovino. Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural, México. https://nube.siap.gob.mx/cierre_pecuario/. Fecha de Consulta: 28 de mayo de 2020.
- Santos, E.R., Calderón, R.R.C., Vera, A.H.R., Perera, M.G., Arreguín, A.J.A., Nett, T.M., Guillermo, A.G.C. & Villa-Godoy, A. 2014. Hormona luteinizante y actividad ovárica en respuesta a kisspeptina-10 y su asociación con IGF-1 y leptina en becerras pre-púberes. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 5(2):181-200.
- Senger, P.L. 2003. Pathways to pregnancy and parturition. 2nd ed. Pullman (WA): Current Conceptions Inc. USA.
- Simões, J., Baril, G., Almeida, J.C., Azevedo, J., Fontes, P. & Mascarenhas, R. 2008. Time of ovulation in nulliparous and multiparous goats. *Animal* 2(5): 761-768.
- Simonetti, L., Ramos, G. & Gardón, J.C. 1999. Estrus presentation and distribution in ewes treated with intravaginal sponges impregnated with medroxiprogesterone acetate (MAP) in combination with pregnant mare serum gonadotropin (PMSG). *Braz. J. Vet. Res. Anim. Sci.* 36:102-117.
- Sharkey, S., Callan, R.J., Mortimer, R. & Kimberling, C. 2001. Reproductive techniques in sheep. *Review Food Animal Practice* 17: 435-455.

- Sosa, P.G., Muñoz, G.F., Pérez, H.P., Vaquera, H.H. & Gallegos, S.J. 2014. Efecto de la administración de Jalea Real en la sincronización del estro y actividad ovárica de ovejas Pelibuey. XVIII Congreso Internacional de Ovinocultura. Congreso Nacional Caprino, Puebla, México. pp. 195-199.
- Tekin, N., Gunzel-Apel, A.R., Yurdaydin, N., Yavas, Y., Daskin, A., Keskin, O. & Etem, H. 1992. Investigations upon oestrus synchronization and artificial insemination in ewes of different breeds. *Reproduction in Domestic Animals* 27(3):141-142.
- Thompson, J. & Meyer, H. 1994. Body condition scoring of sheep. Oregon State University extension service. USA.
- Ungerfeld, R., & Sánchez-Davila, F. 2012. Oestrus synchronization in postpartum autumn-lambing ewes: effect of postpartum time, parity, and early weaning. *Span. J. Agric. Res.* 10: 62-68.
- Uribe, V.L.F., Oba E. & Souza, M.I.L. 2008. Población folicular y concentraciones plasmáticas de progesterona en ovejas sometidas a diferentes protocolos de sincronización. *Archivos de Medicina Veterinaria* 40: 83-88.
- Valencia, J., Porras, A., Mejía, O., Berruecos, J.M., Trujillo, J. & Zarco, L. 2006. Actividad reproductiva de la oveja Pelibuey durante la época de anestro: Influencia de la presencia del macho. *Revista Científica FCV-LUZ* 26(2):136-141.
- Viñoles, C., Forsberg, M., Banchemo, G. & Rubianes, E. 2001. Effect of long term and short-term progestagen treatment on follicular development and pregnancy rate in cyclic ewes. *Theriogenology* 55(4): 993-1004.
- Viñoles, G.C. 2011. Avances de la sincronización de celo y ovulación en ovejas. Asociación Peruana de reproducción animal. *Spermova* 1(1): 95-97.
- Wheaton, J.E., Carlson, K.M., Windels, H.F. & Johnston, L.J. 1993. CIDR: a new progesterone-releasing intravaginal device for induction of estrus and cycle control in sheep and goats. *Animal Reproduction Science* 33: 127-139.
- Whitlock, K.E., Illing, N., Brideau, N.J., Smith, K.M. & Twomey, S. 2006. Development of GnRH cells: Setting the stage for puberty. *Mol. Cell. Endocrinol.* 25:39-50.
- Wildeus, S. 2000. Current concepts in synchronization of estrus: sheep and goats. *Journal of Animal Science* 77:1-14.
- Zelege, M., Greyling, J.P.C., Schwalbach, L.M.J., Muller, T. & Erasmus, J.A. 2005. Effect of progestagen and PMSG on oestrous synchronization and fertility in Dorper ewes during the transition period. *Small Ruminant Research* 56:47-53.

Zerbe, P., Clauss, M., Codron, D., Bingaman, L.L., Rensch, E. & Streich, J.W. 2012. Reproductive seasonality in captive wild ruminants: implications for biogeographical adaptation, photoperiodic control, and life history. *Biological Reviews* 87(4): 965-990.