



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
LICENCIATURA EN MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

TESIS

**UN TRATAMIENTO FOTOPERIÓDICO DE 75 DÍAS
LARGOS ARTIFICIALES DURANTE EL INVIERNO
MODIFICA LA ESTACIONALIDAD REPRODUCTIVA DE
MACHOS OVINOS CRIOLLOS LOCALIZADOS A 20° N**

**Para obtener el título de
Médica Veterinaria Zootecnista**

PRESENTA

Miriam Iveth Baños Islas

Director

Dr. Alfonso Longinos Muñoz Benítez

Codirector

Dr. Rodolfo Vieyra Alberto

Comité tutorial

Dr. Juan Carlos Ángeles Hernández
Dr. Jesús Armando Salinas Martínez
Dr. Oscar Enrique Del Razo Rodríguez



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Instituto de Ciencias Agropecuarias

Institute of Agricultural Sciences

Área Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia

Academic area of Veterinary Medicine and Zootechnics

Tulancingo de Bravo, Hidalgo., a 4 de diciembre de 2024

Asunto: Autorización de impresión

Mtra. Ojuky del Rocío Islas Maldonado

Directora de Administración Escolar de la UAEH

Por este conducto y con fundamento en el Título Cuarto, Capítulo I, Artículo 40 del Reglamento de Titulación, le comunico que el jurado que le fue asignado a la pasante de Licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia, **Miriam Iveth Baños Islas**, quien presenta el trabajo de Tesis denominado **“UN TRATAMIENTO FOTOPERIÓDICO DE 75 DÍAS LARGOS ARTIFICIALES DURANTE EL INVIERNO MODIFICA LA ESTACIONALIDAD REPRODUCTIVA DE MACHOS OVINOS CRIOLLOS LOCALIZADOS A 20° N”**, que después de revisarlo en reunión de sinodales, ha decidido autorizar la impresión de este, hechas las correcciones que fueron acordadas.

A continuación, se anotan las firmas de conformidad de los miembros del jurado:

PRESIDENTE	Dr. Oscar Enrique Del Razo Rodríguez	
SECRETARIO	Dr. Jesús Armando Salinas Martínez	
VOCAL	Dr. Alfonso Longinos Muñoz Benítez	
VOCAL	Dr. Rodolfo Vieyra Alberto	
VOCAL	Dr. Juan Carlos Ángeles Hernández	
SUPLENTE	Dr. Blas Rogelio Ávila Castillo	

Sin otro particular por el momento, me despido de usted.

Atentamente
“Amor, Orden y Progreso”

Dra. Maricela Ayala Martínez

Coordinadora del Programa Educativo de Medicina Veterinaria y Zootecnia

Av. Universidad Km. 1 Exhacienda de Aquetzalpa.
C.P. 43600. Tulancingo, Hidalgo. México



DEDICATORIAS

A Dios, porque no hubiera podido lograr nada de esto sin él, por haberme dado la oportunidad de superar cada obstáculo que se ha presentado en mi camino.

A mis padres; Paty y Fito, por ser mi pilar fundamental, por haber confiado en mí, por todo el trabajo y sacrificio que han hecho para brindarme la oportunidad de formarme y ser una profesionista, por enseñarme que puedo lograr lo que me proponga a pesar de las dificultades y que todo esfuerzo siempre tendrá su recompensa, por los valores que me han inculcado y que el día de hoy me caracterizan, pero sobre todo, por su amor, paciencia y apoyo incondicional.

A mi hermana Ari, por ser mi cómplice, por cuidarme y acompañarme en muchos momentos memorables de mi vida, por darme ánimos de seguir adelante y motivarme para jamás rendirme y lograr todas mis metas.

A mi pequeño "Twin", por ser mi motivación para esforzarme a diario para poder ser un modelo a seguir para él, por su amor y compañía, por enseñarme como vivir y disfrutar las cosas simples de la vida tal como lo hacen los niños como él.

A mi segunda familia; Clau, Dii y Coco, por todo lo que han hecho por mí, por cuidarme como una hija o hermana, pero sobre todo por brindarme su cariño y apoyo incondicional.

A Juan Pablo, por ser mi soporte, brindarme su apoyo y amor en todo momento pero sobre todo en los momentos más difíciles y estresantes que he vivido, por siempre estar a mi lado y creer siempre en mí.

Y a todos aquellos que me acompañaron y apoyaron en mi proceso de formación como MVZ.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto de Ciencias Agropecuarias de la UAEH por haberme brindado la oportunidad de formarme profesionalmente en el Área Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia, y por los grandes guías que me brindó en toda mi estancia universitaria.

A mi Director de tesis, el Dr. Alfonso Longinos Muñoz Benítez, por guiarme y apoyarme en la realización de mi tesis, por enseñarme y compartir conmigo incontables y valiosos conocimientos, ha sido y seguirá siendo un privilegio trabajar y vivir experiencias profesionales a su lado. Gracias por tenerme paciencia y por ser un gran ejemplo para mí, por sus consejos tanto profesionales como personales y sobre todo por haber confiado en mí y en mis capacidades.

A mi Co-director, el Dr. Rodolfo Vieyra Alberto, por el apoyo y tiempo que dedicó a guiarme en la realización de esta tesis, por las enseñanzas, sugerencias y conocimientos que ha compartido conmigo. Gracias por los consejos que me ha brindado, es un gran privilegio contar con ellos.

A mis asesores de tesis, Dr. Juan Carlos Ángeles Hernández, Dr. Jesús Armando Salinas Martínez y Dr. Oscar Enrique Del Razo Rodríguez, gracias por el tiempo invertido en la lectura de esta tesis, por los valiosos aportes y sugerencias que compartieron conmigo para que pudiera concluir con la escritura de la misma.

A todos los profesores que compartieron en algún punto de mi carrera conocimientos y experiencias que me ayudaron a crecer profesionalmente.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIAS	I
AGRADECIMIENTOS.....	II
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
I. INTRODUCCIÓN	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1 Estacionalidad reproductiva en mamíferos	5
2.1.1 Estacionalidad reproductiva en pequeños rumiantes	5
2.1.2 Estacionalidad reproductiva en hembras.....	5
2.1.3 Estacionalidad reproductiva en machos	7
2.1.3.1 Anatomía del testículo del ovino	7
2.1.3.2 Testosterona.....	8
2.1.3.3 Espermatogénesis	9
2.1.3.4 Comportamiento sexual.....	12
2.2 Fotoperiodo como principal regulador de la estacionalidad reproductiva	13
2.2.1 Interpretación de la duración del día.....	14
2.2.2 Síntesis de melatonina	15
2.2.3 El papel de la kisspeptina en el fotoperiodo	16
2.2.4 Eje hipotálamo-hipófisis-gonadal.....	16
2.3 Variaciones estacionales de la actividad reproductiva con relación a la latitud.....	18
2.3.1 Regiones ecuatoriales y tropicales	19
2.3.2 Regiones subtropicales	19

2.3.3	Regiones templadas	20
2.3.4	Variaciones estacionales en el diámetro testicular	20
III.	JUSTIFICACIÓN	23
IV.	HIPÓTESIS	24
V.	OBJETIVOS	25
5.1	Objetivo general	25
5.2	Objetivos específicos	25
VI.	MATERIALES Y MÉTODOS	26
VII.	RESULTADOS	30
VIII.	DISCUSIÓN	34
8.1	Conducta sexual	34
8.2	Circunferencia escrotal	34
IX.	CONCLUSIONES	36
X.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37
XI.	ANEXOS	44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Efecto del tratamiento fotoperiódico sobre el comportamiento sexual de machos ovinos adultos localizados a 20° N.....	30
Tabla 2. Efecto del tratamiento fotoperiódico sobre la circunferencia escrotal de machos ovinos adultos localizados a 20° N.....	33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de la estructura del testículo.....	8
Figura 2. Fases de la espermatogénesis.	10
Figura 3. Desarrollo de las espermatidas a espermatozoides.	11
Figura 4. Interpretación de la duración del día.....	15
Figura 5. Eje hipotálamo-hipófisis-gonadal.	18

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Efecto del tratamiento fotoperiódico sobre el número de aproximaciones a la hembra de machos ovinos adultos.....	31
Gráfica 2. Efecto del tratamiento fotoperiódico sobre el número de olfateos a la hembra de machos ovinos adultos.	31
Gráfica 3. Efecto del tratamiento fotoperiódico sobre el número de intentos de monta a la hembra de machos ovinos adultos.....	32
Gráfica 4. Efecto del tratamiento fotoperiódico sobre la circunferencia escrotal de machos ovinos adultos.	33

RESUMEN

La estacionalidad reproductiva en el ovino compromete la producción continua a lo largo del año de productos y subproductos. El objetivo del presente estudio fue determinar si un tratamiento de 75 días largos artificiales, proporcionados a partir del 01 de noviembre, modifica la actividad sexual y reproductiva de ovinos criollos localizados a 20° N. Fueron utilizados 10 ovinos machos adultos criollos de la región del Valle de Tulancingo encastados con Suffolk y Hampshire, con una condición corporal de 2.5 ± 0.3 . Los ovinos fueron asignados aleatoriamente en uno de los grupos experimentales: 1) Grupo control (GC) = ovinos mantenidos en condiciones naturales de percepción de fotoperiodo; y, 2) Grupo tratado (GTx) = ovinos con un tratamiento de 75 días largos artificiales, del 01 de noviembre de 2020 al 15 de enero de 2021. Las variables respuesta analizadas fueron el comportamiento sexual y la circunferencia escrotal. El análisis estadístico se ejecutó en el software R mediante la función prueba de Wilcox. Se observaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en el mes de marzo al comparar la conducta sexual y la circunferencia escrotal del GC con el GTx. En conclusión, un tratamiento de 75 días largos artificiales modifica la estacionalidad reproductiva de machos ovinos criollos localizados a 20° N, activándose sexual y reproductivamente durante el periodo de reposo sexual estacional.

ABSTRACT

Reproductive seasonality in sheep compromises the continuous production of products and by-products throughout the year. The objective of the present study was to determine whether a treatment of 75 artificial long days, provided from November 1, modifies the sexual and reproductive activity of creole sheep located at 20° N. Ten adult male creole rams from the Tulancingo Valley region, bred with Suffolk and Hampshire, with a body condition score of 2.5 ± 0.3 , were used. The rams were randomly assigned to one of the experimental groups: 1) Control group (GC) = rams kept under natural photoperiod perception conditions; and, 2) Treated group (GTx) = rams with a treatment of 75 artificial long days, from November 1, 2020 to January 15, 2021. The response variables analyzed were sexual behavior and scrotal circumference. Statistical analysis was performed in R software using the Wilcox test function. Significant differences ($P \leq 0.05$) were observed in March when comparing sexual behavior and scrotal circumference of GC with GTx. In conclusion, a treatment of 75 artificial long days modifies the reproductive seasonality of male creole sheep located at 20° N, becoming sexually and reproductively active during the seasonal sexual rest period.

I. INTRODUCCIÓN

Existe una demanda creciente de productos alimenticios impulsada por el crecimiento acelerado de la población y la modificación de los patrones de consumo (Thornton, 2010), lo cual determina la necesidad de incorporar nuevas estrategias que permitan potencializar la producción de alimentos de origen animal y maximizar el aprovechamiento de los recursos naturales en pro de la seguridad alimentaria. Los sistemas de producción de ovinos contribuyen de manera importante a la producción de carne, leche y/o sus derivados (FAO, 2020), principalmente en las regiones en donde se dificulta la implementación de sistemas de producción de otras especies pecuarias.

Sin embargo, la producción ovina presenta desafíos diversos, siendo la estacionalidad reproductiva uno de los retos más importantes ya que compromete el abasto continuo de productos y subproductos ovinos. La estacionalidad reproductiva, es un mecanismo de adaptación evolutiva desarrollado por algunos mamíferos para tratar de contrarrestar el impacto negativo del ambiente (por ejemplo, la disponibilidad de alimento) y aumentar las probabilidades de supervivencia de sus crías (Lincoln y Short, 1980). El principal factor ambiental que regula estos eventos reproductivos estacionales en los ovinos es el fotoperiodo, a través de la variación anual de los niveles plasmáticos de la hormona melatonina influenciados por la estimulación lumínica, lo cual les permite diferenciar entre días cortos y días largos (Malpaux et al., 1996; Malpaux et al., 1997; Malpaux et al., 1999; Barrell et al., 2000). A lo largo del año, los machos ovinos manifiestan dos etapas reproductivas bien definidas: una fase de reposo sexual durante los días largos en primavera y verano con una disminución considerable de la libido y la espermatogénesis; y, otro periodo considerado propiamente como época reproductiva (durante los días cortos: otoño e invierno), caracterizada por el incremento de la espermatogénesis y el comportamiento más marcado de la conducta sexual (Chemineau et al., 2010).

El nivel de sensibilidad al fotoperiodo entre genotipos raciales está determinado por el origen y localización geográfica de los mismos, las razas ovinas originarias de latitudes altas ($>35^{\circ}$ N) manifiestan una marcada estacionalidad reproductiva; por el contrario, los ovinos de origen mediterráneo o tropical (de 0° a 23° N) expresan estacionalidad reproductiva reducida o incluso nula a lo largo del año (Arroyo, 2011).

Tanto en latitudes templadas (Chemineau et al., 1992) como en latitudes subtropicales (Delgadillo et al., 2002) se implementan diferentes estrategias para tratar de contrarrestar los efectos de la estacionalidad reproductiva sobre la producción de pequeños rumiantes, entre las cuales se encuentra la inducción de la actividad sexual y reproductiva durante los meses de febrero, marzo y abril mediante la aplicación de un tratamiento fotoperiódico de 75 días largos artificiales a partir del 01 de noviembre.

El presente estudio determinará la influencia de un tratamiento fotoperiódico de 75 días largos artificiales sobre la estacionalidad reproductiva de machos ovinos criollos localizados a 20° N.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Estacionalidad reproductiva en mamíferos

La estacionalidad reproductiva es una característica de diferentes especies de mamíferos silvestres (ciervos, venados, renos, alces, entre otros) y domésticos (ovinos, caprinos, equinos y felinos), desarrollada como una adaptación evolutiva que ha permitido la codificación de genes con la finalidad de hacer más eficiente su reproducción en ciertas épocas del año con el objetivo de garantizar la supervivencia tanto de las madres como de las crías al permitir que los partos y la lactancia se desarrollen en los meses del año cuando la temperatura ambiental es más favorable y existe mayor disponibilidad de alimento (Galina, 2008; Boeta et al., 2018).

2.1.1 Estacionalidad reproductiva en pequeños rumiantes

Los ovinos y caprinos manifiestan, en mayor o menor medida de acuerdo con la raza, su actividad reproductiva de manera estacional, es decir, en una época del año manifiestan una intensa actividad sexual y reproductiva y, en otro periodo del año están en reposo sexual y su actividad reproductiva es minimizada (Chemineau et al., 1992; Porras et al., 2003; Arroyo, 2011). Esta actividad reproductiva es influenciada por distintos factores entre los que se pueden incluir a los ambientales (fotoperiodo, localización geográfica, temperatura, etc.), estado nutricional, grupo genético, edad y fenómenos sociosexuales o de bioestimulación (Gómez-Brunet et al., 2012; Espinosa et al., 2013; Ungerfeld, 2016).

2.1.2 Estacionalidad reproductiva en hembras

En el hemisferio norte, en hembras ovinas y caprinas, la actividad ovárica cíclica inicia a partir de agosto y culmina hasta febrero, característica de días con luminiscencia corta; esta actividad se caracteriza por el establecimiento de la

retroalimentación positiva del estradiol sobre el eje reproductivo, la cual promueve la activación de los núcleos hipotalámicos encargados de sintetizar la hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH), la liberación de gonadotropinas (la hormona folículo estimulante [FSH] y la hormona luteinizante [LH]) y, en consecuencia, un desarrollo folicular constante hasta alcanzar la ovulación (Karsch et al., 1984). Además, durante este periodo las hembras presentan ciclos estrales de manera repetida, cada 17 días en las hembras ovinas (Arroyo, 2011) y cada 21 días en promedio en las hembras caprinas (Fatet et al., 2011), así como un significativo incremento en su conducta sexual (Gómez-Brunet et al., 2012; Ungerfeld, 2020; Galina, 2021).

Durante la época reproductiva se pueden identificar dos fases del ciclo estral: 1) la fase folicular en la cual se lleva a cabo el desarrollo de folículos primordiales hasta evolucionar a folículos preovulatorios, incrementándose como consecuencia los niveles plasmáticos de estradiol; durante esta fase, la concentración de progesterona permanece en niveles basales ya que en esta etapa ocurre la lisis del cuerpo lúteo debido a la acción de la $\text{PGF}_{2\alpha}$ y, a su vez, se fija la retroalimentación positiva del estradiol, necesaria para que se pueda llevar a cabo la ovulación. 2) la fase lútea, la cual comprende el metaestro y el diestro, se caracteriza por un incremento significativo en la concentración plasmática de progesterona debido a la formación y maduración del cuerpo lúteo, el cual ejerce un efecto de retroalimentación negativa que inhibe la secreción pulsátil de GnRH y por consecuencia de LH. Finalmente, el anestro estacional se caracteriza por la ausencia del ciclo estral, la conducta de estro y la ovulación. En el hemisferio norte, este periodo se presenta desde marzo hasta julio, meses durante los cuales la luz del día es más larga. En este periodo, el estradiol se encuentra en niveles basales provocando un efecto de retroalimentación negativa que actúa inhibiendo la síntesis de GnRH y en consecuencia el desarrollo folicular no puede ocurrir (Karsch et al., 1980; Karsch et al., 1984; Arroyo, 2011).

2.1.3 Estacionalidad reproductiva en machos

Los machos ovinos y caprinos también manifiestan su actividad sexual de forma estacional, iniciando en mayo con un incremento exponencial en la concentración plasmática de testosterona, hormona que desencadena cambios fisiológicos como el aumento de la espermatogénesis (por lo que incrementa de la circunferencia escrotal), volumen del eyaculado y mejoramiento de la calidad espermática (Delgadillo et al., 2002). Este mayor contenido plasmático de testosterona también provoca cambios evidentes en la conducta sexual o la libido, factor importante para la implementación de los fenómenos de bioestimulación (Bustos y Torres, 2012).

2.1.3.1 Anatomía del testículo del ovino

Los testículos son glándulas tanto exocrinas (espermatogénesis) como endocrinas (producción de testosterona e inhibina). Este par de estructuras pendulares, se encuentran ubicadas en la región inguinal ventral al pene y se mantienen suspendidos dentro del escroto con ayuda del músculo cremáster y el cordón espermático. El cordón espermático en su interior contiene nervios, vasos sanguíneos y el conducto deferente. Los testículos tienen la capacidad de subir y bajar por medio de las contracciones del cordón espermático, este ascenso y descenso les permite mantener su temperatura ideal (4 - 5°C menor a su temperatura corporal: 39°C), de no ser así, la espermatogénesis podría verse afectada (Fernández, 1993; Galotta, 2009; González-Reyna et al., 2021).

Las estructuras testiculares están cubiertas por la túnica albugínea de textura fibrosa y color blanquecina, esta misma túnica divide el parénquima en diferentes lóbulos que se unen en el centro formando el cuerpo de Highmore o mediastino. Al interior de los lóbulos se encuentra una gran cantidad de túbulos seminíferos (7 000 metros) rodeados de tejido intersticial encargado de secretar hormonas. Estos túbulos se encuentran aglomerados con un diámetro de 0.1 – 0.3 mm y una longitud de 50 - 100 mm, se unen al centro con el cuerpo de Highmore por medio de un

canalículo del mismo. Estos canalículos a su vez se unen formando la *rete testis* o red testicular por la que pasan y se colectan los espermatozoides. En la parte proximal del testículo, la *rete testis* atraviesa la túnica albugínea y se conecta con el epidídimo por medio de los canales eferentes (Fernández, 1993; González-Reyna et al., 2021).

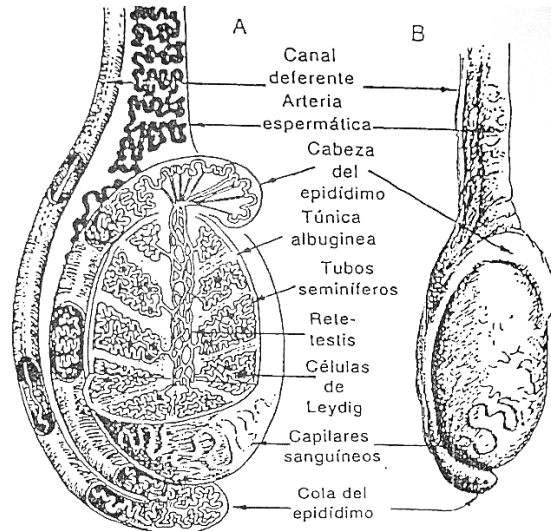


Figura 1. Diagrama de la estructura del testículo. A) El tamaño de los túbulos está aumentado para mostrar los detalles estructurales. B) Testículo normal del carnero.

(Sutherland, 1972).

Los túbulos seminíferos están formados por una membrana basal y epitelio germinal encargado de producir espermatozoides y formado por células germinales y de Sertoli que regulan la producción y liberación de espermatozoides. Entre estos túbulos hay tejido conectivo laxo, vasos sanguíneos, vasos linfáticos, nervios y células intersticiales o de Leydig que se encargan de secretar testosterona (Fernández, 1993).

2.1.3.2 Testosterona

La testosterona es sintetizada en los testículos, específicamente en las células de Leydig, los cuales son controlados funcionalmente por el Sistema Nervioso Central (SNC) a través de las gonadotropinas sintetizadas en la hipófisis, la hormona

luteinizante (LH) y la hormona folículo estimulante (FSH). La LH actúa sobre las células de Leydig y la FSH sobre las células de Sertoli. La síntesis de estas gonadotropinas está mediada por la hormona liberadora de gonadotropina (GnRH) que es sintetizada en el hipotálamo, esta hormona tiene una importante influencia en la espermatogénesis y la síntesis de diversas hormonas involucradas en la reproducción (Fernández, 1993; Galina, 2021; Sánchez y Pedraz, 2024).

Una vez que la LH es secretada comienza a ejercer su función sobre las células de Leydig estimulando la síntesis de andrógenos como la testosterona que es formada a partir del colesterol. Posteriormente la testosterona llega a las células de Sertoli y en conjunto con la FSH estimulan a la enzima aromatasa para que la testosterona se convierta en estradiol. Esta transformación es necesaria para que se lleve a cabo la retroalimentación negativa en el hipotálamo e hipófisis para reducir la secreción de GnRH. La razón por la que, en el caso de los machos, la testosterona debe convertirse en estradiol se debe a la ausencia de receptores androgénicos en las neuronas productoras de GnRH, por lo que se vuelve necesaria la existencia de estradiol para que la función de retroalimentación negativa pueda ocurrir (Ungerfeld, 2020; Galina, 2021).

La testosterona tiene una importante función en el desarrollo y maduración de los espermatoцитos, también está involucrada en el desarrollo de los caracteres sexuales secundarios de los machos y su comportamiento dominante, de agresividad y competencia por parejas sexuales (González-Reyna et al., 2021; Sánchez y Pedraz, 2024).

2.1.3.3 Espermatogénesis

Los espermatozoides se forman a partir de espermatogonias del epitelio germinal que se encuentra en los túbulos seminíferos, ahí ocurren diversas divisiones celulares en las que estas células se van modificando morfológicamente hasta ser liberadas como espermatozoides, a todo este proceso se le conoce como

espermatogénesis. La producción de las células reproductoras masculinas (espermatozoides), en el caso de los ovinos y caprinos, tarda alrededor de 49 días y otros 14 días para madurar en el epidídimo (Fernández, 1993; Simonetti et al., 2014; Schoenian, 2021).

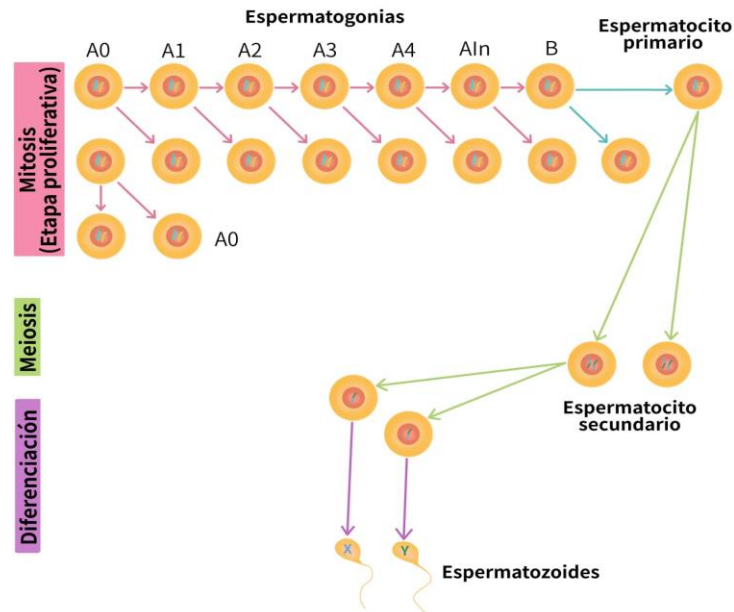


Figura 2. Fases de la espermatogénesis.

(Galina, 2021).

La espermatogénesis ocurre en tres fases principales:

1. Fase proliferativa: una vez que el macho llega a la edad reproductiva, las espermatogonias se comienzan a dividir rápidamente por mitosis dando origen a 4 tipos de células diferentes: células tronco o madres (tipo A0), espermatogonias en proliferación (tipo A1-A4), espermatogonias intermedias (tipo AIn) y espermatogonias en diferenciación (tipo B); todos estos tipos de células son los diferentes estadios por los que pasan las espermatogonias durante su desarrollo a espermatozoides. La célula A0 se divide mitóticamente dando origen a células A1 que se vuelven a dividir por mitosis sucesivamente (A2 - A3 - A4) hasta dar

origen a una célula A1n que tras otra división mitótica da origen a una célula B que después de pasar por mitosis dará origen a un espermatocito primario.

2. Fase meiótica: el espermatocito primario se divide por meiosis dando origen a los espermatocitos secundarios que contienen el material genético recombinado. Las fases de esta división son las mismas que en las que ocurren en las hembras (profase, metafase, anafase y telofase). En la primera división meiótica que ocurre en esta fase se reduce la cantidad de cromosomas y los cromosomas se separan dando origen a dos espermatocitos secundarios (X y Y); posteriormente en la segunda división meiótica, cada uno de los espermatocitos secundarios da origen a dos espermátidas.
3. Fase de diferenciación o espermiogénica: las espermátidas se transforman en espermatozoides al estar en contacto con las células de Sertoli, primero se forma la cabeza a partir del núcleo y posteriormente el acrosoma, cuello y cola (Fernández, 1993; Ortiz et al., 2003; Galina, 2021; González-Reyna et al., 2021).

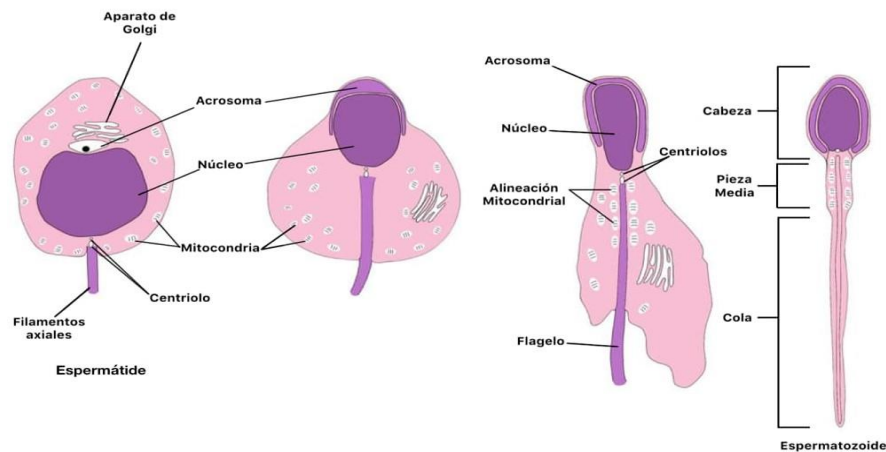


Figura 3. Desarrollo de las espermátidas a espermatozoides.

(Galina, 2021).

A pesar de que los machos son menos afectados por las variaciones climáticas que las hembras, el tamaño de sus gónadas, producción espermática y libido sexual varían conforme a la estación del año, siendo el otoño la estación en la cual ocurre su reproducción. Además de la estación del año, la temperatura ambiental también

puede afectar la espermatogénesis, considerándose que si la temperatura corporal del macho aumenta o disminuye, aun en rangos muy bajos, la espermatogénesis puede verse afectada (Schoenian, 2021; Sánchez y Pedraz, 2024).

Diversos estudios señalan que el tamaño de los testículos tiene una importante influencia en la cantidad de espermatozoides que son producidos, ya que, entre mayor sea el tamaño de los testículos, mayor será el número de espermatozoides que se producen (Schoenian, 2021). Por lo cual, la circunferencia escrotal se ha convertido en un parámetro reproductivo importante a considerar en los carneros y machos cabríos, ya que la producción de espermatozoides está relacionada hasta un 85% con esta medida (Schoenian, 2021); este parámetro se mide en centímetros y se relaciona con la cantidad de epitelio seminífero que está presente en el parénquima testicular, tejido en el cual se originan los espermatozoides (Espitia et al., 2017). Durante el pico reproductivo más alto de los machos (otoño), el peso promedio de los testículos es de 300 gramos y la circunferencia escrotal es de 30 a 32 cm (Simonetti et al., 2014).

2.1.3.4 Comportamiento sexual

La actividad sexual de los carneros y los machos cabríos se controla por las hormonas androgénicas, estas hormonas deben encontrarse en determinado nivel para permitir la aparición de la conducta sexual del macho, debido a que si los niveles de testosterona se encuentren por encima de los niveles normales los machos van a presentar conductas agresivas y de competencia por las hembras en la época reproductiva, más no mejorará su libido (Orihuela, 2014).

Las concentraciones de testosterona que presentan los machos a lo largo del año pueden variar con relación a la época; durante la época no reproductiva los niveles de testosterona se encuentran en niveles bajos (<5pg/ml). En contraste, durante la época reproductiva, la testosterona se encuentra en niveles elevados (>5pg/ml) para que el animal pueda manifestar actividad sexual; además, existen otros

factores que pueden influir sobre la conducta sexual como la temperatura ambiental y el estado nutricional (Orihuela, 2014).

Otro factor involucrado en la aparición de la libido del macho son las hembras, cuando éstas se encuentran en época reproductiva emiten olores y feromonas que provocan un incremento de la producción de testosterona en los machos, ellos detectan estos olores por medio del reflejo de Flehmen que permite que el olor inhalado llegue hasta del órgano vomeronasal (Espinosa et al., 2013; Simonetti et al., 2014).

Además del reflejo de Flehmen, los machos presentan otras conductas sexuales características: golpes con la cabeza, olfateo a genitales de una hembra, micción en su propia cara o barbas, cortejo (sacan la lengua, extienden la cabeza y vocalizan), manoteos a la hembra y monta (Espinosa et al., 2013).

2.2 Fotoperiodo como principal regulador de la estacionalidad reproductiva

Los ovinos y los caprinos utilizan un factor ambiental conocido como fotoperiodo para determinar en qué momento inicia y finaliza su época reproductiva, tomando como referencia para el inicio de su estro la reducción de la duración de la luz del día, en el Valle de Tulancingo, en el Altiplano de México se presenta durante el otoño (Bustamante, 2022).

Debido a que el fotoperiodo es un mecanismo basado en las variaciones medioambientales, llega a ser un suceso más marcado en determinadas zonas geográficas, principalmente asociadas con su latitud. Por ejemplo, en regiones con clima templado la sensibilidad de los animales al fotoperiodo es mayor debido a que la variación de la duración del día comparada con la noche es mucho más marcada que en regiones tropicales en donde las variaciones fotoperiódicas son mínimas (Nuñez et al., 2013).

Además el fotoperiodo funciona como un mecanismo de “sincronización” en pequeños rumiantes, también funciona como mecanismo para asegurar que en la época en la que ocurrirán los partos haya una buena disponibilidad de alimento tanto para las madres como para las crías de manera que les permita cubrir las demandas nutricionales (principalmente energía y proteína) que se presentan al final de la gestación, así como durante el parto, lactancia y destete, al igual que una temperatura ambiental más adecuada para que las crías puedan desarrollarse con menos dificultad (Nuñez et al., 2013).

El fotoperiodo se da gracias a un sistema neurofisiológico con el que cuentan estas especies, permitiéndoles identificar una señal luminosa y transformarla en una señal hormonal (melatonina) que les permite determinar el tiempo que durará su época reproductiva, deteniéndose en el momento en el que detectan que la duración de las horas del día se hace más larga (Arroyo, 2011).

2.2.1 Interpretación de la duración del día

El mecanismo por el que ocurre la síntesis de la melatonina comienza en el ojo, en el momento en el que la luz es captada por la retina, esta señal luminosa se transforma en una señal eléctrica que viaja por el tracto retino-hipotalámico desde la retina hasta el hipotálamo. Una vez que la señal eléctrica se encuentra en el hipotálamo es captada por el núcleo supraquiasmático y la transfiere al núcleo paraventricular y posteriormente al ganglio cervical superior en donde la señal se convierte de eléctrica a química. El ganglio cervical superior libera noradrenalina que es captada por receptores alfa y beta adrenérgicos en la membrana celular de los pinealocitos y se induce la síntesis de N-acetil-transferasa (enzima fundamental para la síntesis de melatonina) y de esta manera la melatonina se sintetiza en la glándula pineal durante las horas de oscuridad a partir del triptófano (precursor de la melatonina) (Arroyo, 2011; Correa et al., 2022).

La retina actúa como un receptor que se encarga de registrar la presencia o ausencia de luz, el núcleo supraquiasmático toma el papel de un reloj biológico interno que marca el ritmo circadiano endógeno y la glándula pineal sirve como traductor que convierte la información química neuronal en señal hormonal secretando la melatonina (Correa et al., 2022).

La secreción de melatonina se presenta un ritmo circadiano, en el cual la secreción se reduce durante las horas luz y se eleva durante la noche, va incrementando poco a poco durante las primeras 2 horas después de que ocurre la puesta del sol y permanece elevada hasta ocurre el amanecer (Correa et al., 2022).

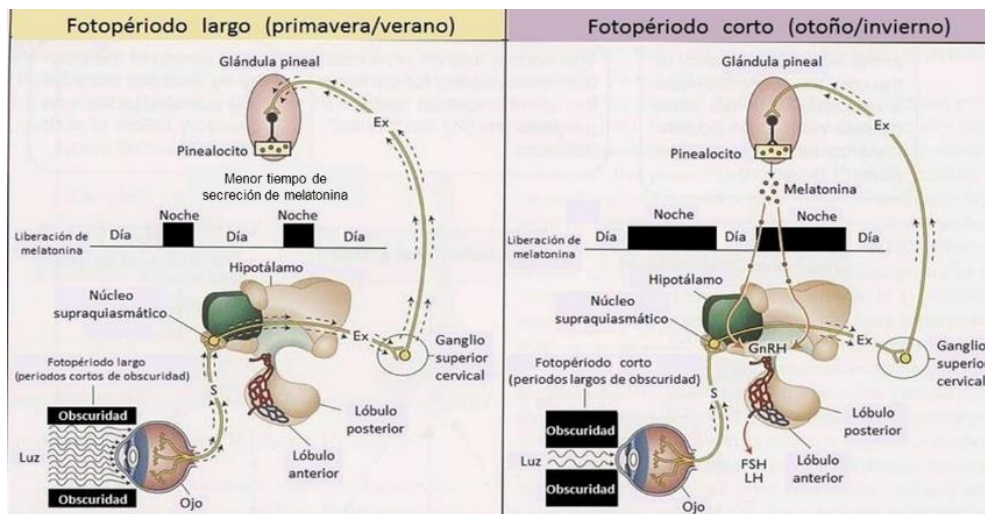


Figura 4. Interpretación de la duración del día.

(Adaptado de Senger, 2003).

2.2.2 Síntesis de melatonina

El triptófano es un aminoácido esencial, por la enzima triptófano hidroxilasa, este se convierte en 5-hidroxitriptófano, en el que la 5-hidroxitriptófano descarboxilasa lo transforma en 5 hidroxitriptamina (serotonina), posteriormente esta se convierte en N-acetil-serotonina por la acción de la N-acetil-transferasa, y finalmente de N-acetil-serotonina en melatonina por el hidroxindolol-metil transferasa. La N-acetiltransferasa sólo se sintetiza durante las horas oscuras (Correa et al., 2022).

El patrón de secreción de la melatonina es nocturno, por ello hay una menor duración en la secreción de esta hormona cuando las horas lumínicas del día son largas. Durante estos días ocurre la síntesis de dopamina que induce el anestro estacional, la dopamina es inhibida por la melatonina cuando las horas lumínicas del día son cortas y eso permite que la actividad estral y la ovulación se reestablezcan (Galina, 2008; Arroyo, 2011).

Aunque la melatonina tiene un papel importante en la programación endógena del ciclo reproductivo, esta hormona no se encarga de guiar los cambios de la estacionalidad reproductiva (Correa et al., 2022).

2.2.3 El papel de la kisspeptina en el fotoperiodo

La kisspeptina es un neuropéptido que participa en la activación del eje reproductivo y es fundamental para el inicio de la pubertad en los pequeños rumiantes, su función es estimular la secreción de gonadotropinas, actuando sobre las neuronas GnRH que expresan el receptor Kiss Ir. En las ovejas, las kisspeptinas se localizan en el núcleo arcuato (ARC o núcleo A12) y en el área preóptica. La influencia de las kisspeptinas sobre el núcleo arcuato está vinculada principalmente con el establecimiento de la retroalimentación negativa que ejercen los esteroides gonadales sobre el eje hipotálamo-hipófisis-gonadal durante el periodo de anestro estacional (Días et al., 2015). Además, existe evidencia de que las kisspeptinas son un factor determinante para la aparición del pico preovulatorio de LH (Arroyo, 2011).

2.2.4 Eje hipotálamo-hipófisis-gonadal

El fotoperiodo influye en el sistema nervioso para promover la secreción de melatonina en la glándula pineal, en el momento en el que la secreción de melatonina incrementa durante el otoño, el eje hipotálamo-hipófisis-gonadal se activa para promover el ciclo estral que en el caso de las ovejas tiene una duración de 17 días y de 21 días en las cabras. Como tal, el estro tiene una duración promedio

de 30 horas durante las cuales el hipotálamo segrega la GnRH que es depositada en el sistema porta hipofisiario para trasladarse al lóbulo anterior de la hipófisis y poder estimular la secreción de la FSH y la LH. Tanto la GnRH como las gonadotropinas se presentan en dos tipos de secreción en las hembras: tónica y cíclica (Correa et al., 2022).

La secreción tónica de FSH se encarga de promover el crecimiento folicular y la de LH se encarga de la maduración folicular en los ovarios que ocurre con 2 a 3 oleadas en cada ciclo estral. En cada oleada se da un reclutamiento, selección y dominancia, bajo la influencia de las gonadotropinas (Correa et al., 2022).

La acción de FSH y LH en conjunto desencadena la síntesis de estradiol en los folículos ováricos que a su vez secretan inhibina, cuando hay un incremento en la producción de estradiol se presenta la retroalimentación positiva sobre el hipotálamo que incrementa la secreción de GnRH y origina un pulso cíclico que se encarga de estimular la producción de LH para establecer el pulso preovulatorio. Transcurridas 30 horas se presenta la ovulación después del inicio del estro. El pulso preovulatorio presenta una amplitud diferente que la FSH debido a que la inhibina ejerce una retroalimentación negativa sobre la hipófisis lo que reduce la secreción de FSH (Correa et al., 2022).

Una vez que ya ha ocurrido la ovulación, las células que se encuentran en la pared folicular (teca y granulosa) se luteinizan y forman el cuerpo lúteo, este cuerpo lúteo junto con la LH producen progesterona que al día 4 del ciclo presenta la más alta concentración en sangre hasta la regresión del cuerpo lúteo que se da en el día 14 del ciclo. Mientras esto ocurre se presenta una retroalimentación negativa sobre el hipotálamo y la hipófisis que provoca una reducción en la secreción de gonadotropinas que consecuentemente provoca que ya no haya una manifestación de estro en el periodo de más alta secreción de progesterona (Correa et al., 2022).

La regresión del cuerpo lúteo ocurre gracias a la $\text{PGF}_{2\alpha}$, para que este suceso ocurra primero la progesterona debe regular la disminución de receptores de prostaglandina, de esta manera permite la síntesis de receptores 1 para estradiol (ESR1) y oxitocina (OXTR). La oxitocina es vital en el endometrio ya que se encarga de promover la secreción de $\text{PGF}_{2\alpha}$ y a su vez la luteólisis. Cuando la luteólisis se ha completado, los folículos ováricos producen suficiente estradiol para que ocurra la retroalimentación positiva sobre el hipotálamo para otro pulso cíclico de GnRH y así pueda ocurrir otra ovulación debido a la LH y poder tener otra oportunidad para que ocurra la concepción, además de que el estradiol permite la aparición de las manifestaciones de estro. De esta forma el ciclo estral se va repitiendo sucesivamente hasta que la oveja quede gestante o bien, hasta que la estación cambia y las horas luz incrementan durante el día (Correa et al., 2022).

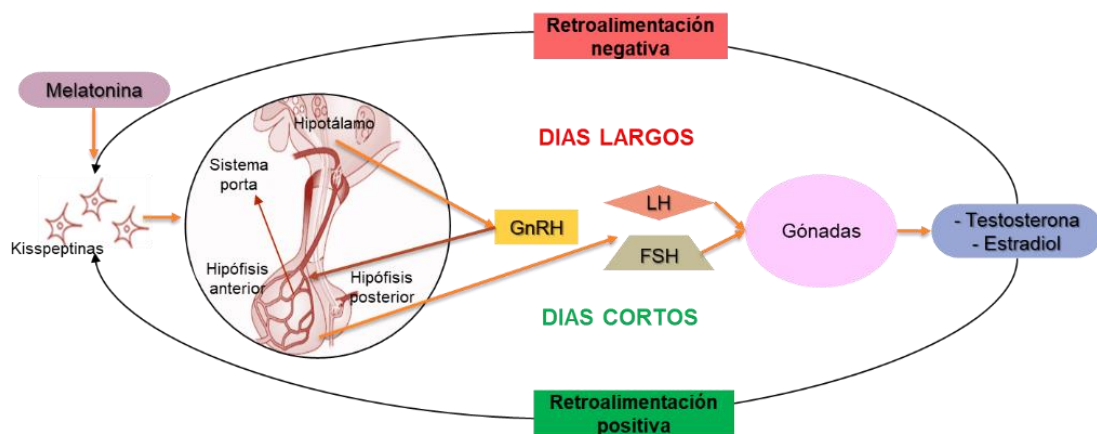


Figura 5. Eje hipotálamo-hipófisis-gonadal.

(Adaptado de Pinilla et. al. 2012)

2.3 Variaciones estacionales de la actividad reproductiva con relación a la latitud

La clasificación de las regiones de acuerdo a su latitud es la siguiente: ecuador (0°), tropical ($0-23^\circ$), subtropical ($24-40^\circ$), templado ($41-60^\circ$) y polar ($>60^\circ$) (Rivera et al., 2003).

Los mamíferos han ido evolucionando adquiriendo la capacidad de adaptación a diversos hábitats, mismos que presentan variaciones climáticas, así como de la duración del día y de la noche (Nuñez et al., 2013).

A mayor latitud la disponibilidad de alimento para los animales se ve comprometida en ciertas épocas del año. En las regiones en las que hay variaciones más marcadas en cuanto a la cantidad de horas luz, los animales sufren cambios fisiológicos y comportamentales más notorios que en algunas regiones con menor variación a lo largo del año (Nuñez et al., 2013).

2.3.1 Regiones ecuatoriales y tropicales

En estas regiones las condiciones óptimas ambientales están asociadas principalmente a la temporada de lluvias. Debido a la menor variación de la duración del día en estas regiones, las ovejas tienden a reproducirse todo el año y las razas originarias de estas regiones presentan estacionalidad reproductiva reducida e incluso en ocasiones inexistente. Los ovinos y caprinos que se encuentran en estas regiones comúnmente son denominadas “criollas” ya que son razas mejoradas o mezcladas de diversas razas de Australia y Europa (Arroyo, 2011; Atuesta y Gonella, 2011; Nuñez et al., 2013).

2.3.2 Regiones subtropicales

Las razas nativas de estas regiones no muestran cambios estacionales muy marcados en el fotoperiodo y generalmente tienen una larga temporada de reproducción, incluso pueden reproducirse durante todo el año y no mostrar período anovulatorio. Un ejemplo claro son las razas ovinas Merino y Rambouillet originarias de España con latitudes de 27-43°, la Pelibuey originaria de África a una latitud de 35° y las razas caprinas Boer y Pygmy originarias de Sudáfrica y África (Luginbuhl y Pietrosevoli, 2004; Gómez et al., 2012; Aguilar-Martínez et al., 2017; SADER, 2024).

En términos generales, los tipos raciales cuyos orígenes se ubican alrededor los 35° tienen tendencia a reproducirse en todas las épocas del año, en contraste con las razas de latitudes mayores a 35° en las que es normal encontrar ovejas poliéstricas estacionales cuyas épocas reproductivas se inician con la disminución de la duración de las horas luz durante el día (Rosa y Bryant, 2003).

2.3.3 Regiones templadas

En estas regiones las condiciones óptimas medioambientales se presentan durante la primavera y principios del verano, la estacionalidad reproductiva está regida por el fotoperiodo, es decir por la variación en la cantidad de horas luz diarias a través del año, factor que es constante con el paso de los años. Por ello, los animales presentan periodos de actividad sexual y posteriormente períodos de reposo, ambos regulados por el fotoperiodo. Las razas que son originarias de estas regiones de latitudes mayores a 40° comienzan su época reproductiva a principios del otoño y termina a mediados de invierno cesando la ovulación durante primavera y verano. Un ejemplo es la raza Île de France ubicadas en Francia o la raza Racka de Hungría, ambas regiones ubicadas a una latitud de 45° que comienzan su época reproductiva en agosto y se detiene en febrero; las razas Landrace finlandesa, Lincoln y Blackface escocesa originarias de Reino Unido a una latitud de 56° y la Suffolk originaria de Inglaterra a una latitud de 51°; y razas caprinas como la Alpina originaria de Suiza con latitud de 45°, todas ellas presentan anestro desde marzo o abril hasta octubre (Gómez et al., 2012; Nuñez et al., 2013).

En resumen, en la medida que se incrementa la latitud, mayor es la fotodependencia y más restringido es el período de actividad reproductiva (Rosa y Bryant, 2003).

2.3.4 Variaciones estacionales en el diámetro testicular

Los machos a diferencia de las hembras comienzan a evidenciar cambios reproductivos 1.5 a 2 meses antes, esto se debe a que la sensibilidad al fotoperiodo

en los machos es diferente, en ellos la variación de los días largos a los días cortos provoca un aumento en la secreción de gonadotrofinas en el que la LH en cada pico secretorio induce un pico secretorio de testosterona que va aumentando su concentración en conjunto con la mayor pulsatilidad de LH (Ortavant et al., 1988; Nuñez et al., 2013).

Debido a estas modificaciones endocrinológicas en los machos ocurre un aumento en el tamaño testicular y epididimal, y en la cantidad de espermatozoides presentes en el eyaculado, todo esto ocurre 2 a 3 semanas posteriores al cambio lumínico. Los cambios estacionales provocan una modificación en la concentración de las hormonas gonadotróficas y otras como la prolactina misma que disminuye conforme los días va cambiando de largos a cortos en conjunto con los niveles de FSH y LH, y posteriormente la testosterona incrementa (Nuñez et al., 2013).

En el caso de los machos se presentan fluctuaciones estacionales en el comportamiento sexual, la actividad hormonal, la gametogénesis, y el peso y volumen testicular. Aunque las variaciones fisiológicas y comportamentales son menos notorias en los machos que en las hembras, tanto que, en las hembras la ovulación y el estro se detienen en determinada época del año, pero la espermatogénesis y la actividad sexual en el macho nunca se detienen y generalmente todos los parámetros reproductivos en los machos son altos al final del verano y durante el otoño (Rosa y Bryant, 2003).

El aumento del peso testicular comienza antes del inicio del verano y la regresión comienza antes del invierno en machos no entrenados para el apareamiento. El peso de los testículos tiene una estrecha relación con la eficiencia de la espermatogénesis, en promedio se producen 8.5×10^6 espermatozoides por gramo de parénquima testicular en primavera en contraste a 12.2×10^6 en el otoño. Así mismo la calidad del semen y su fertilidad son menores durante la primavera que en el otoño, de la misma forma que el comportamiento sexual siendo mayor en verano y otoño que en invierno o primavera (Ortavant et al., 1988).

La circunferencia escrotal varía significativamente a lo largo del año teniendo los valores más bajos durante el invierno, la actividad espermatogénica se mantiene presente durante todo el año con variaciones no significativas en la morfología del semen, pueden presentarse variaciones estructurales en el epitelio seminífero durante el invierno con presencia de células de Sertoli afectadas, así mismo, pueden detectarse cambios temporales similares en las células de Leydig, los niveles plasmáticos de testosterona son más altos en otoño y disminuyen en invierno. El diámetro del túbulo seminífero se relaciona con la circunferencia escrotal y con los niveles de testosterona (Gastel et al., 1995).

La libido, el tamaño testicular, los niveles de testosterona y las características seminales de los carneros presentan una variación significativa a lo largo del año siendo las más bajas durante el verano y las más altas durante el otoño (Dufour et al., 1984).

La variación estacional de la circunferencia testicular varía según el origen de la raza de oveja y generalmente es mayor en latitudes más altas (>40°). El comportamiento sexual de los carneros también varía en paralelo con los cambios en el peso testicular, con un pico en verano-otoño y un punto mínimo en primavera (Avdi et al., 2004).

Se ha observado que, a mayor tamaño testicular, mayor es el volumen de semen y mayor es la concentración espermática en el animal (Pabón-Quevedo y Pulido-Medellín, 2021).

III. JUSTIFICACIÓN

La producción ovina presenta un reto importante debido a la ciclicidad de su proceso productivo, determinado principalmente por los patrones reproductivos estacionales propios de la especie. Sin embargo, estos patrones reproductivos tienen la posibilidad de ser manipulados si se conoce de manera puntual las características fisiológicas que lo rigen.

Actualmente, se conocen las características con relación a la época reproductiva (machos y hembras) y el periodo de reposo sexual (anestro estacional en las hembras) de una amplia variedad de grupos genéticos en diversas zonas geográficas incluyendo a nuestro país. Sin embargo, la información de los patrones reproductivos de ganado ovino criollo localizado en la región del Valle de Tulancingo es escasa, por lo que el diseño de estrategias de mejora de los parámetros productivos es limitado. Es importante enfatizar que el Valle de Tulancingo destaca por su importante producción ovina basada tanto en sistemas de producción extensivos como intensivos.

Por lo anterior, es de suma importancia definir los patrones anuales reproductivos de los machos ovinos criollos de esta región, lo cual permitirá el diseño e implementación de estrategias como métodos hormonales y/o bioestimulación con la finalidad de contrarrestar los efectos de la estacionalidad reproductiva sobre la producción ovina. La mejora a los parámetros productivos estará basada en la reducción en el intervalo entre partos, el cual en los sistemas tradicionales de producción de ovinos utilizando grupos genéticos criollos está regido fuertemente por la estacionalidad reproductiva.

IV. HIPÓTESIS

La implementación de un tratamiento fotoperiódico de 75 días largos artificiales incrementa la actividad sexual y la circunferencia testicular durante la fase de reposo sexual en machos ovinos criollos localizados a 20° N.

V. OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

Evaluar si un tratamiento fotoperiódico con días largos artificiales durante 75 días, modifica la actividad sexual y reproductiva durante la época natural de reposo sexual (febrero y marzo) de machos ovinos criollos localizados a 20° N.

5.2 Objetivos específicos

- Definir los parámetros de conducta sexual y circunferencia escrotal basales de machos ovinos criollos localizados a 20° N durante el inicio del periodo experimental (noviembre).
- Evaluar si la conducta sexual desplegada por machos ovinos criollos localizados a 20° N se modifica al ser expuestos a un tratamiento fotoperiódico de 75 días largos artificiales a partir del 01 de noviembre.
- Evaluar si la circunferencia escrotal de machos ovinos criollos localizados a 20° N se modifica al ser expuestos a un tratamiento fotoperiódico de 75 días largos artificiales a partir del 01 de noviembre.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Localización

El estudio se llevó a cabo durante el periodo de noviembre de 2022 a marzo 2023 en las instalaciones del Módulo de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Ovina

(MEIEPO) del Instituto de Ciencias Agropecuarias, perteneciente a la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, ubicado en el municipio de Tulancingo de Bravo, Hidalgo (20° 03' 40" N). La temperatura media anual en esta región es de 16.8 °C, con una precipitación pluvial media anual de 337.8 mm. El fotoperiodo natural en la región varía de 13:20:56 horas en el solsticio de verano a 10:55:04 horas durante el solsticio de invierno (MapLogs, 2024).

6.2 Unidades experimentales y sus características

Fueron utilizados 10 machos ovinos con una edad aproximada de 2 años y una condición corporal de 2.5 ± 0.3 , en una escala de 1 para animales excesivamente delgados y 5 para animales obesos. Los animales fueron alimentados con heno de alfalfa a libre acceso y 100 g por animal al día de alimento balanceado comercial (14% PC). En todo momento los animales tuvieron disponibilidad de agua de bebida limpia.

6.3 Periodo de experimentación

El experimento se llevó a cabo en dos fases:

Fase 1. Aplicación del tratamiento fotoperiódico

a. Separación de grupos

Los animales fueron separados en dos grupos homogéneos con base en su condición corporal y edad.

El grupo control (GC; n=5), permaneció en un corral abierto de 5 x 5 m. Otro grupo denominado tratado (GTx, n=5), fue alojado en un corral abierto de 5 x 5 metros el cual fue acondicionado con 9 lámparas LED de 2000 lúmenes cada una, equivalentes a 135 watts.

b. Aplicación de tratamiento fotoperiódico

El grupo GC se mantuvo percibiendo la variación natural de fotoperiodo durante todo el periodo de estudio.

El grupo GTx estuvo bajo un tratamiento fotoperiódico de 75 días largos artificiales comenzando el día 1 de noviembre de 2020 y culminando el 15 de enero de 2021. Cada día largo artificial contó con una duración de 16 horas de luz que se distribuyeron de la siguiente manera: encendido automático de luces artificiales a las 05:00 h y apagado a las 08:00 h, posteriormente, se encendían las luces a las 17:00 h y se apagaban a las 21:00 h. A partir de las 21:00 h y hasta las 5:00 h los animales permanecían sin ninguna fuente de luz natural y/o artificial.

c. Regreso al fotoperiodo natural

El día posterior al término de la aplicación del tratamiento (16 de enero de 2021), los machos tratados fueron expuestos a las variaciones naturales del fotoperiodo.

Fase 2. Mediciones

a. Circunferencia escrotal

La medición se realizó una vez por semana a partir del mes de noviembre de 2020 hasta el mes de mayo de 2021, se utilizó una cinta métrica flexible graduada en centímetros.

Se midió la zona ecuatorial en ambos testículos de acuerdo a la técnica descrita por Aguirre y colaboradores (2007).

b. Conducta sexual

Una vez por mes los machos fueron expuestos individualmente a una hembra sin signos de estro, fueron observados durante 15 minutos y se registró el número de conductas desplegadas por cada uno de ellos.

Las conductas registradas fueron: aproximaciones laterales por parte del macho a la hembra, intentos de monta macho-hembra y olfateo anogenital macho-hembra.

6.4 Análisis estadístico

Para el análisis de datos sobre la circunferencia testicular de carneros se utilizó un modelo mixto con medidas repetidas en el tiempo, tomando como efectos fijos los tratamientos y el mes de registro de la medición, y como efecto aleatorio al carnero, utilizando el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ijt} = \mu + \text{Foto}_i + D_{j(i)} + \text{Mes}_t + (\text{Foto} * \text{Mes})_{it} + e_{ijt}$$

Dónde:

Y_{ijt} = Es la variable respuesta (diámetro testicular)

μ = Es el efecto de la media general

Foto_i = Es el efecto fijo del tratamiento (GC t GT)

$D_{j(i)}$ = Es el efecto aleatorio del carnero

Mes_t = Es el efecto fijo del mes de medición

$(\text{Foto} * \text{Mes})_{it}$ = Es el efecto fijo de la interacción entre el tratamiento y el mes de medición

e_{ijt} = Es el error residual

La selección de la matriz de varianzas-covarianzas que mejor ajustara a la estructura de nuestros datos se llevó a cabo utilizando el Criterio de Información Akaike (AIC) y el Criterio de Información Bayesiano (BIC). Las matrices que se

evaluaron fueron las siguientes: Auto-regresiva de primer grado AR (1), Anterregresiva de primer grado ANTE (1), Toeplitz, no estructurada (UN) y componente de simetría (CS) (Littell et al., 2000).

En donde se rechazó la hipótesis de nulidad se realizó comparación entre tratamientos con la prueba Tukey. Se dictó significancia cuando el valor de P fue menor a 0.05 y se estableció que existe una tendencia en el efecto de los tratamientos cuando el valor a P fue menor a 0.1.

Para los datos de conteo obtenidos de aproximaciones laterales, olfateos anogenitales e intentos de montas de los machos ovinos se utilizó la prueba U de Mann-Whitney, ya que este método es adecuado para datos no paramétricos y se prefiere para la comparación de dos promedios independientes. El análisis estadístico se ejecutó con el software R mediante la función Wilcox test, la cual permite evaluar las diferencias entre grupos sin asumir una distribución normal de los datos.

VII. RESULTADOS

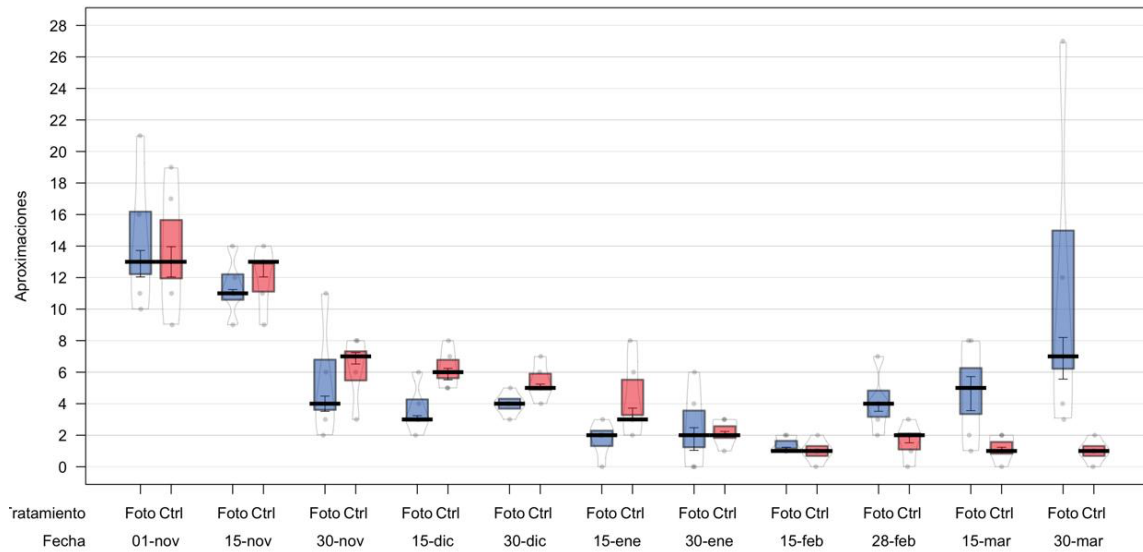
La Tabla 1 muestra el número de aproximaciones laterales, intentos de monta y olfateos anogenitales por los machos ovinos localizados a 20° N, en un periodo comprendido desde el mes de noviembre de 2022 a marzo de 2023. Para el mes de febrero los animales tratados con luz artificial mostraron 1.4 veces más aproximaciones laterales ($P=0.06$) y 1.8 veces más olfateos anogenitales ($P<0.05$) comparado con el grupo control. Posteriormente, en el mes de marzo se observó una mayor ($P<0.05$) actividad sexual en machos ovinos del grupo tratado comparado con el grupo control.

Tabla 1. Efecto del tratamiento fotoperiódico sobre el comportamiento sexual de machos ovinos adultos localizados a 20° N.

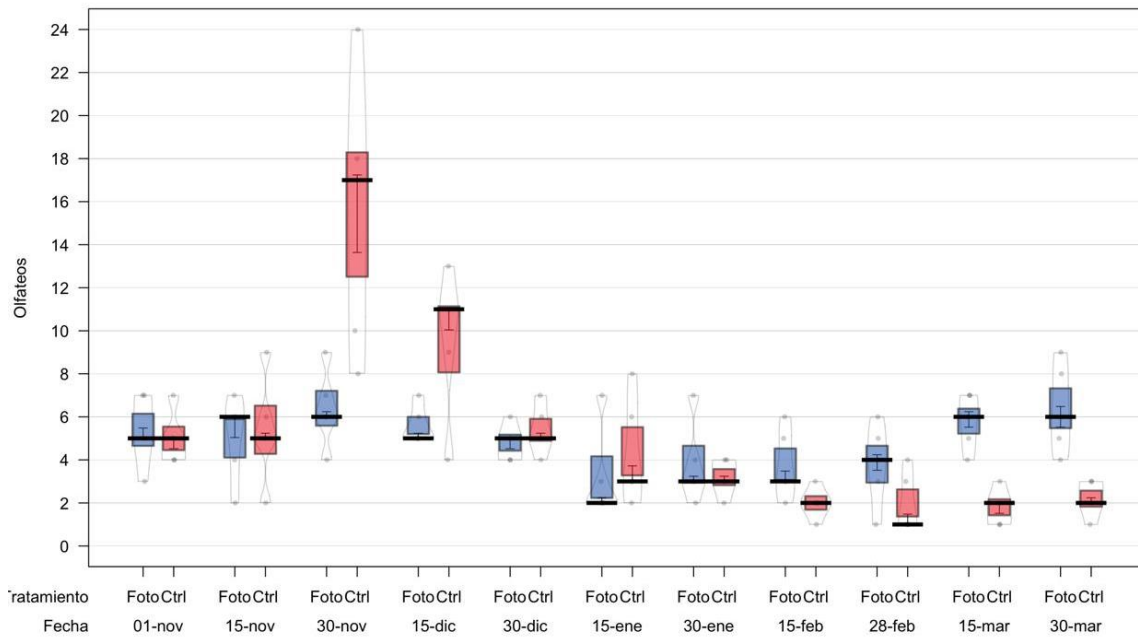
Item	Mes				
	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo
Aproximaciones laterales					
Control	10.7	5.8 ^a	3.3	1.3	1.1 ^b
Tratado	10.3	3.8 ^b	2.1	2.7	7.7 ^a
Valor de P	0.86	0.03	0.18	0.06	<0.01
Intentos de monta					
Control	5.8	2.9	0.9 ^a	0.6	0.1 ^b
Tratado	5.2	1.6	0.0 ^b	0.5	1.9 ^a
Valor de P	0.89	0.24	0.01	0.86	<0.01
Olfateos anogenitales					
Control	8.6	7.5	3.8	2.0 ^b	2.0 ^b
Tratado	5.6	5.2	3.5	3.8 ^a	6.1 ^a
Valor de P	0.35	0.16	0.51	0.01	<0.01

Letrales diferentes en la misma columna en la misma variable son estadísticamente distintas ($P<0.05$). Control = ovinos mantenidos en condiciones naturales de percepción de fotoperiodo; tratado = ovinos con un tratamiento largo artificial de 75 días, del 01 de noviembre de 2022 al 15 de enero de 2023.

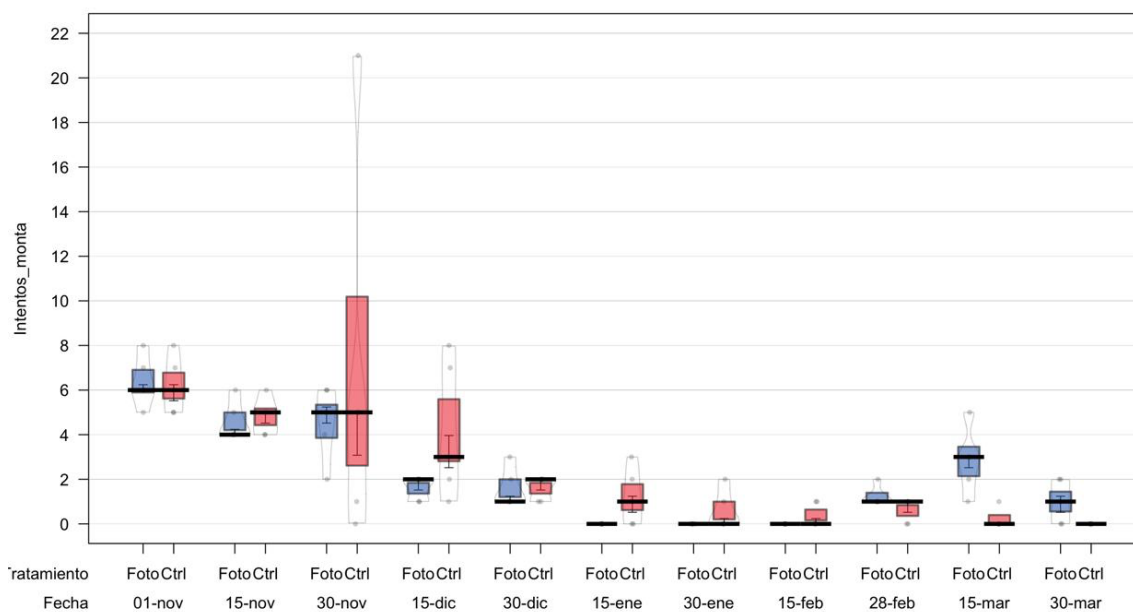
Gráfica 1. Efecto del tratamiento fotoperiódico sobre el número de aproximaciones a la hembra de machos ovinos adultos.



Gráfica 2. Efecto del tratamiento fotoperiódico sobre el número de olfateos a la hembra de machos ovinos adultos.



Gráfica 3. Efecto del tratamiento fotoperiódico sobre el número de intentos de monta a la hembra de machos ovinos adultos.



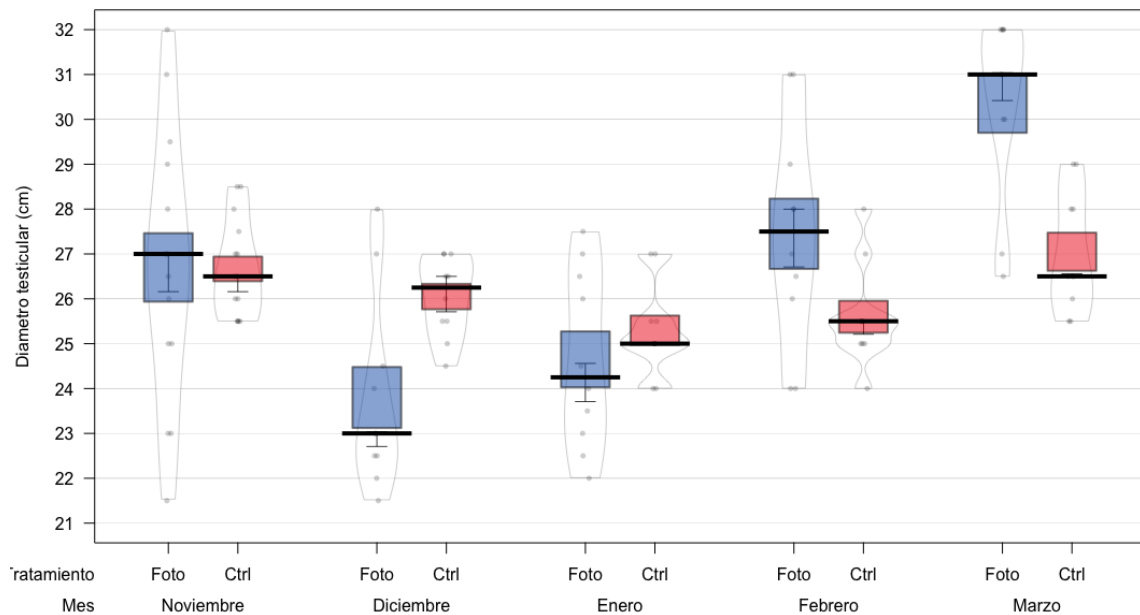
La Tabla 2 muestra la circunferencia escrotal de los machos ovinos localizados a 20° N, en un periodo comprendido desde el mes de noviembre de 2022 a marzo de 2023. Se observa un efecto de interacción ($P < 0.05$) del tratamiento con el mes de medición, este se debió a que en los primeros meses del estudio, la circunferencia escrotal no fue distinta en ambos tratamientos a través de los meses; sin embargo, en marzo, los ovinos tratados con luz artificial mostraron una circunferencia de 3.3 cm mayor comparado con el grupo control ($P < 0.05$).

Tabla 2. Efecto del tratamiento fotoperiódico sobre la circunferencia escrotal de machos ovinos adultos localizados a 20° N.

Item	Mes					EEM	Valor de P		
	Nov	Dic	Enero	Feb	Marzo		Foto	Mes	Foto*Mes
Control	26.7	26.1	25.3	25.6	27.1 ^b	0.79	0.680	0.001	0.001
Tratado	26.7	23.8	24.6	27.4	30.4 ^a				
Valor de P	0.97	0.08	0.58	0.13	0.02				

Literales diferentes en la misma columna son estadísticamente distintas ($P < 0.05$). Control = ovinos mantenidos en condiciones naturales de percepción de fotoperiodo; tratado = ovinos con un tratamiento largo artificial de 75 días, del 01 de noviembre de 2022 al 15 de enero de 2023.

Gráfica 4. Efecto del tratamiento fotoperiódico sobre la circunferencia escrotal de machos ovinos adultos.



VIII. DISCUSIÓN

Los resultados del estudio demuestran que la actividad endocrina y sexual de los machos ovinos criollos del Valle de Tulancingo (20° N) fueron inducidas durante el periodo natural de reposo sexual (marzo) al ser sometidos a 75 días largos artificiales a partir del 1 de noviembre.

8.1 Conducta sexual

La mayor actividad sexual de machos con tratamiento fotoperiódico artificial, evidenciada a través de las aproximaciones laterales, intentos de monta y olfateos anogenitales en marzo, sugiere una activación pronta de la conducta sexual, por tanto, los machos ovinos podrían ser capaces modificar el desempeño sexual una vez que retornan a la percepción natural del fotoperiodo (Abecia et al., 2015; Abecia et al., 2017). Además, estos resultados concuerdan con los descritos por Palacios y colaboradores (2023) donde demuestran que la conducta sexual manifestada a través de olfateos anogenitales, aproximaciones laterales e intentos de monta desplegados en primavera por machos ovinos expuestos a un tratamiento fotoperiódico de días largos artificiales es significativamente mayor en comparación con la conducta manifestada por machos ovinos mantenidos en condiciones naturales de percepción del fotoperiodo.

8.2 Circunferencia escrotal

La circunferencia escrotal registrada en los machos fue significativamente diferente ($P \leq 0.05$) en los meses de diciembre y marzo al realizar la comparación entre ambos grupos experimentales. De acuerdo con Martin y colaboradores (2002), el tratamiento fotoperiódico implementado tiene un efecto inhibitorio sobre la producción espermática, esto puede ser debido al efecto que la interpretación de los días largos artificiales sobre el eje reproductivo hipotálamo-hipófisis-gonadal y por lo tanto sobre los niveles plasmáticos de testosterona. Sin embargo, después

de finalizar el tratamiento fotoperiódico y retornar a la percepción del fotoperiodo natural, los machos muestran un incremento significativo en su actividad espermatogénica y; por lo tanto, en los valores de su circunferencia escrotal. Esto concuerda con lo reportado en ovinos por Hanif y Williams, (1991) quienes mencionaron que existe un efecto positivo de un tratamiento fotoperiódico de días largos artificiales sobre la circunferencia escrotal, incluso a partir de cuando este tiene una duración de un mes.

Los resultados del presente estudio y los reportados previamente por otros autores, evidencian el efecto que tienen los tratamientos fotoperiódicos con días largos artificiales sobre la actividad sexual y reproductiva de machos ovinos. Este mismo efecto se ha reportado en machos ovinos y caprinos de latitudes templadas ($>40^{\circ}$ N) y del subtropical (26° N); Delgadillo y colaboradores (2002) demostraron que la actividad sexual y reproductiva puede ser inducida durante la fase de reposo sexual natural al someterlos a un tratamiento fotoperiódico de días largos artificiales. Sin embargo, es importante mencionar que no existen estudios que demuestren el efecto de tratamientos fotoperiódicos en machos ovinos criollos localizados a 20° latitud norte.

En ambas especies, se ha demostrado que este efecto es mediado por una actividad endócrina primaria, el incremento de los niveles plasmáticos de testosterona, inducido una vez que los animales perciben y por lo tanto interpretan los días como cortos (Chemineau et al., 1992; Delgadillo et al., 2002). Debido a dicho incremento, parámetros tomados como referentes de la actividad sexual y reproductiva, como lo son la intensidad de la conducta sexual desplegada (Palacios et al., 2023) y la circunferencia escrotal son directamente influenciados.

IX. CONCLUSIONES

La implementación de un tratamiento fotoperiódico de 75 días artificiales a machos ovinos criollos localizados a 20° N, modifica su actividad sexual y reproductiva durante el periodo natural de reposo sexual.

X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abecia, J. A., Chemineau, P., Flores, J. A., Keller, M., Duarte, G., Forcada, F., & Delgadillo, J. A. (2015). Continuous exposure to sexually active rams extends estrous activity in ewes in spring. *Theriogenology*, 84(9), 1549-1555.
- Abecia, J. A., Chemineau, P., Keller, M., & Delgadillo, J. A. (2017). Extended day length in late winter/early spring, with a return to natural day length of shorter duration, increased plasma testosterone and sexual performance in rams with or without melatonin implants. *Reproduction in Domestic Animals*, 52(5), 851-856.
- Aguilar-Martínez, C., Berruecos-Villalobos, J., Espinoza-Gutiérrez, B., Segura-Correa, J., Valencia-Méndez, J., & Roldán-Roldán, A. (2017). Origen, historia y situación actual de la oveja Pelibuey en México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 20, 429-439.
- Aguirre, V., Orihuela, A., & Vázquez, R. (2007). Effect of semen collection frequency on seasonal variation in sexual behaviour, testosterone, testicular size and semen characteristics of tropical hair rams (*Ovis aries*). *Tropical Animal Health and Production*, 271-277.
- Arroyo, J. (2011). Estacionalidad reproductiva de la oveja en México. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 14(3).
- Atuesta, J., & Gonella, Á. (2011). Control hormonal del ciclo estral en bovinos y ovinos. *Revista Spei Domus*, 7(14), 15-25.
- Avdi, M., Banos, G., Stefos, K., & Chemineau, P. (2004). Seasonal variation in testicular volume and sexual behavior of Chios and Serres rams. *Theriogenology*, 62(1-2), 275-282.

- Barrell, G., Thrun, L., Brown, M., Viguié, C., & Karsch, F. (2000). Importance of photoperiodic signal quality to entrainment of the circannual reproductive rhythm of the ewe. *Biology of reproduction*, 63(3), 769-774.
- Boeta, M., Balcázar, A., Cerbón, J., Hernández, J., Hernández, J., Páramo, R., . . . Zarco, L. (2018). *Fisiología Reproductiva de los Animales Domésticos*. Ciudad de México: UNAM.
- Bustamante, J. (septiembre de 2022). Estacionalidad reproductiva y ciclo estral en caprinos. Torreón, Coahuila, México.
- Bustos, E., & Torres, L. (2012). Reproducción Estacional en el Macho. *International Journal of Morphology*, 30(4), 1266-1279.
- Chemineau, P., Bodin, L., Migaud, M., Thiéry, J., & Malpaux, B. (2010). Neuroendocrine and Genetic Control of Seasonal Reproduction in Sheep and Goats. *Reproduction in domestic animals*, 45(3), 42-49.
- Chemineau, P., Daveau, A., Maurice, F., & Delgadillo, J. A. (1992). Seasonality of estrus and ovulation is not modified by subjecting female Alpine goats to a tropical photoperiod. *Small Ruminant Research*, 8(4), 299-312.
- Correa, P., Cortés, Z., Aréchiga, C., Rincón, R., Valdez, C., López, M., & Mejía, I. (2022). El ciclo reproductivo de la oveja. *South Florida Journal of Development*, 3(6), 6903-6929.
- Delgadillo, J., Flores, J., Véliz, F., Hernández, H., Duarte, G., Vielma, J., . . . Malpaux, B. (2002). Induction of sexual activity in lactating anovulatory female goats using male goats treated only with artificially long days. *Journal of Animal Science*, 80(11), 2780–2786.

- Días, J., Veloso, C., de Oliveira, C., & de Carvalho, G. (2015). O neuropeptídeo kisspeptina e a reprodução animal: uma revisão. *Multi-Science Journal*, 96-110.
- Dufour, J., Fahmy, M., & Minvielle, F. (1984). Seasonal changes in breeding activity, testicular size, testosterone concentration and seminal characteristics in rams with long or short breeding season. *Journal of animal science*, 58(2), 416-422.
- Espinosa, R., Córdova, A., & Soto, R. (2013). Comportamiento sexual en ovinos y caprinos. *Sociedades rurales, producción y medio ambiente*, 13(25), 99-116.
- Espitia, A., Montes, D., Hernández, E., & Sfeir, H. (2017). Circunferencia escrotal y parámetros morfométricos en machos *Bubalus bubalis* de la raza Murrah. *Revista colombiana de ciencia animal*, 9(1), 73-80. <http://www.scielo.org.co/pdf/recia/v9n1/2027-4297-recia-9-01-00073.pdf>
- FAO. (2020). Sistemas pecuarios. Obtenido de <https://www.fao.org/livestock-systems/global-distributions/sheeps/es/>
- Fatet, A., Pellicer-Rubio, M., & Leboeuf, B. (2011). Reproductive cycle of goats. *Animal reproduction science*, 124(3-4), 211-219.
- Fernández, D. (1993). Principios de fisiología reproductiva ovina. Editorial hemisferio sur.
- Galina, C. (2008). Reproducción de Animales Domésticos. México: LIMUSA.
- Galina, C. (2021). Reproducción de los animales domésticos. México: UNAM.
- Galotta, J. (2009). Anatomía del aparato reproductor del macho.

- Gastel, T., Bielli, A., Perez, R., Lopez, A., Castrillejo, A., Tagle, R., . . . Rodríguez-Martínez, H. (1995). Seasonal variations in testicular morphology in Uruguayan Corriedale rams. *Animal reproduction science*, 40(1-2), 59-75.
- Gómez-Brunet, A., Santiago-Moreno, J., Toledano-Diaz, A., & López-Sebastián, A. (2012). Reproductive seasonality and its control in spanish sheep and goats. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 15(1), S47-S70.
- González-Reyna, A., Vázquez-Armijo, J. F., & Lucero-Magaña, F. A. (2021). *Fisiología de la reproducción y productividad en pequeños rumiantes*. Editorial académica española.
- Hanif, M., & Williams, H. L. (1991). The effects of melatonin and light treatment on the reproductive performance of yearling Suffolk rams. *British Veterinary Journal*, 147(1), 49-56.
- Karsch, F., Bittman, E., Foster, D., Goodman, R., Legan, S., & Robinson, J. (1984). Neuroendocrine Basis of Seasonal Reproduction. *Proceedings of the 1983 Laurentian Hormone Conference*, 185-232.
- Karsch, F., Goodman, R., & Legan, S. (1980). Feedback basis of seasonal breeding: test of an hypothesis. *Reproduction*, 58(2), 521-535.
- Lincoln, G., & Short, R. (1980). Seasonal Breeding: Nature's Contraceptive. *Proceedings of the 1979 Laurentian Hormone Conference*, 36, 1-52.
- Littell, R., Pendergast, J., & Natarajan, R. (2000). Modelling covariance structure in the analysis of repeated measures data. *Statistics in medicine*, 19(13), 1793-1819.
- Luginbuhl, J., & Pietrosevoli, S. (2004). Razas de caprinos de carne en los USA y sus características productivas. *Animal Science Facts*.

<https://content.ces.ncsu.edu/razas-de-caprinos-de-carne-en-los-usa-y-sus-caracteristicas-productivas>

- Malpaux, B., Thiéry, J., & Chemineau, P. (1999). Melatonin and the seasonal control of reproduction. *Reprod. Nutr. Dev.*, 39, 355-366.
- Malpaux, B., Viguié, C., Skinner, D., Thiéry, J., & Chemineau, P. (1997). Control of the Circannual Rhythm of Reproduction by Melatonin in the Ewe. *Brain Research Bulletin*, 44(4), 431-438.
- Malpaux, B., Viguié, C., Skinner, D., Thiéry, J., Pelletier, J., & Chemineau, P. (1996). Seasonal breeding in sheep: Mechanism of action of melatonin. *Animal Reproduction Science*, 42(1-4), 109-117.
- MapLogs. (noviembre de 2024). Salida y Puesta del sol. Obtenido de Tiempo de búsqueda: <https://sunrise.maplogs.com/es/>
- Martin, G. B., Hötzel, M. J., Blache, D., Walkden-Brown, S. W., Blackberry, M. A., Boukhliq, R., ... & Miller, D. W. (2002). Determinants of the annual pattern of reproduction in mature male Merino and Suffolk sheep: modification of responses to photoperiod by an annual cycle in food supply. *Reproduction, Fertility and Development*, 14(3), 165-175.
- Núñez, R., Bonaura, M., García, M., Stornelli, M., Stornelli, M., & de la Sota, R. (2013). Estacionalidad Reproductiva en Animales Domésticos. *Nuevas Perspectivas en el Gato (Felis silvestris catus)*. *Analecta Vet*, 33(1), 42-49.
- Orihuela, A. (2014). La conducta sexual del carnero. Revisión. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 5(1).
- Ortavant, R., Bocquier, F., Pelletier, J., Ravault, J., Thimonier, J., & Volland-Nail, P. (1988). Seasonality of reproduction in sheep and its control by photoperiod. *Australian journal of biological sciences*, 41(1), 69-86.

- Ortíz, E., Uría, E., Silva-Olivares, A., Tsutsumi, V., & Shibayama, M. (2003). Estudio de la ultraestructura de la espermatogénesis de *Anadara tuberculosa* (Sowerbi 1833) (Mollusca: Pelecipoda: Arcidae). *Hidrobiológica*, 13(2). https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-88972003000200007#:~:text=La%20espermatog%C3%A9nesis%20se%20puede%20dividir,transformaci%C3%B3n%20de%20las%20esperm%C3%A1tidas%20en
- Pabón-Quevedo, H., & Pulido-Medellín, M. (2021). Circunferencia escrotal como criterio de selección para carneros de reemplazo. *Pensamiento y Acción*, 31, 52-73.
- Palacios, C., Martínez-López, A. A., Campos-Marmolejo, S. A., Plaza, J., Keller, M., Chemineau, P., ... & Abecia, J. A. (2023). Rams sexually activated in spring by light treatment stimulate social and sexual activities in non-activated rams. *Journal of Veterinary Behavior*, 61, 25-29.
- Porras, A., Zarco, L., & Valencia, J. (2003). Estacionalidad reproductiva en ovejas. *Ciencia veterinaria*, 1-32.
- Rivera, G., Alanis, G., Chaves, M., Ferrero, S., & Morello, H. (2003). Seasonality of estrus and ovulation in Creole goats of Argentina. *Small Ruminant Research*, 48(2), 109-117.
- Rosa, H., & Bryant, M. (2003). Seasonality of reproduction in sheep. *Small ruminant research*, 48(3), 155-171.
- SADER. (2024, agosto 10). Detrás de la Ovinicultura: Una Mirada a la Crianza de Ovejas en México. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/detras-de-la-ovinicultura-una-mirada-a-la-crianza-de-ovejas-en->

XI. ANEXOS



Asociación Mexicana de Técnicos Especialistas en Ovinocultura, A.C.
Universidad Autónoma de Guerrero



Otorgan el presente

RECONOCIMIENTO

A: R. Vieyra-Alberto, J. C. Ángeles-Hernández, L. M. Tejada-Ugarte, J. L. Ponce-Covarrubias, G. Ávila-Ortega, B. Martínez-Hernández, M. I. Baños-Islas, F.J. Pastor-López y A. L. Muñoz-Benítez



Como **PONENTE** con el trabajo titulado:

“LA CIRCUNFERENCIA ESCROTAL DE MACHOS OVINOS CRIOLLOS LOCALIZADOS A 20°N INCREMENTA A PARTIR DEL MES DE MAYO”

Los días 23, 24 y 25 de octubre de 2024 en Acapulco, Guerrero, México.

MPA. Rosa Berta Angulo Mejorada
Presidente AMTEO

MC. Gustavo Erick Olivares Valladolid
Director ESMVZ3-UAGro



Escuela Superior de
Medicina Veterinaria
y Zootecnia No.3

DIRECCIÓN 2024-2028

