

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

INSTITUTO DE CIENCIAS AGRÍCOLAS



ACTIVIDAD REPRODUCTIVA DE OVEJAS PELIBUEY BAJO CONDICIONES

ARIDAS DEL VALLE DE MEXICALI

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

PRESENTA

MIGUEL ANGEL GASTELUM DELGADO

DIRECTOR DE TESIS

Dr. ULISES MACIAS CRUZ

MEXICALI, B.C. MÉXICO

Marzo 2015

**ESTA TESIS FUE REALIZADA BAJO LA DIRECCIÓN DEL CONSEJO
PARTICULAR INDICADO, HA SIDO APROBADA POR EL MISMO Y ACEPTADA
COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE:**

DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

CONSEJO PARTICULAR

Dr. Ulises Macías Cruz
Director de tesis

Ph. D. Leonel Avendaño Reyes
Sinodal

Ph. D. Abelardo Correa Calderón
Sinodal

Dra. Nohemí Guadalupe Torrentera Olivera
Sinodal

Dr. Cesar Alberto Meza Herrera
Sinodal

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por otorgarme una beca para realizar mis estudios de Doctorado.

A la Universidad Autónoma de Baja California y al Instituto de Ciencias Agrícolas por haberme dado la oportunidad de seguir superándome profesionalmente al estudiar un posgrado.

A la Universidad Autónoma de Sinaloa por haber dado el permiso y las facilidades para poder realizar mis estudios de Doctorado.

Al Dr. Ulises Macías Cruz, por brindarme su amistad y haberme aceptado en realizar investigación en uno de sus proyectos ayudándome a través de su conocimiento y experiencia en mi formación en este mundo de la investigación.

Al Ph. D Leonel Avendaño Reyes, por compartir su tiempo y sus conocimientos conmigo, gracias.

Al Ph D Abelardo Correa Calderón, por su disponibilidad en ayudarme en todos los momentos que le solicite su apoyo y en compartir siempre su valioso tiempo.

A la Ph D Nohemí Torrentera Olivera por brindarme su amistad y compartir su experiencia y conocimiento.

Al Ph. D Cesar Meza Herrera por compartir sus conocimientos y experiencias conmigo.

Al Dr. Raúl Díaz Molina, por su gran apoyo y ayuda en las pruebas de laboratorio.

Al Dr. Juan Eulogio Guerra Liera por su amistad y por el gran apoyo brindado para la culminación de esta etapa.

Al Dr. Juan Moreno Quiroz que siempre me da ánimos y palabras para seguir adelante, gracias.

A todos y cada uno de los maestros que fueron parte de mi formación durante mis estudios de Doctorado.

Por último a cada uno de mis compañeros y amigos lo cual compartimos el tiempo dentro y fuera de las aulas motivándonos para seguir adelante en cada una de las etapas de Doctorado, a José Luis Ponce, Alfredo Villarreal, Mario Sandoval, Bill Henry, Eudor Vázquez, Gustavo Carrillo, Arturo Callejas, Andrea Filatoff, Teresita de SIRM, Gustavo Oroz, Ismael, Felipe Menchaca, Citlali Peña Calderón, Luis Alaniz, Juanito, Angelito, y Ricardo Vicente. Reconozco que faltaron muchos de mis amigos en este texto pero me faltarían hojas para poder agradecer a tantas personas que me acompañaron en este andar.

DEDICATORIAS

A Dios por darme la vida y mostrándome que sin el nada es posible en cada una de las decisiones que me permite realizar.

A mis hijos, Miguel Ángel, José Antonio y Myriam. Les doy las gracias por haberme prestado este tiempo para tratar de superarme, y darles algo mejor, muchas gracias.

A mi esposa, Myriam Contreras, por darme el apoyo y el tiempo para realizar este logro, te quiero mucho.

A mí Mamá Yolanda Delgado Renteria, porque siempre he tenido su apoyo incondicional en cada etapa de mi vida mosteándome su amor y siempre al pendiente de todo lo que he necesitado para llegar hasta donde he llegado.

A mi Papá Wilfrido Gastélum Rivas por enseñarme a trabajar y valorar lo que tengo, por su amistad y cariño, por estar siempre al pendiente de lo que ocupamos, gracias.

A cada uno de mis hermanas Nereyda, Magnolia y Marifeli por creer en mí y siempre al pendiente para darme ánimos en cada momento difícil en los que me encontrado y mostrándome su cariño y amor.

A mis sobrinos que son parte de mi familia a todos y cada uno de ustedes los quiero mucho.

A todos y cada uno de mis familiares que han sido parte importante en mi vida ayudándome con sus oraciones para estar con salud y bienestar estando lejos de casa.

ÍNDICE TEMÁTICO

ÍNDICE DE CUADROS	VIII
ÍNDICE DE GRÁFICAS	IX
RESUMEN	X
ABSTRACT	XI
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVO	3
2.1 General.....	3
2.2. Específicos.....	3
III. REVISIÓN DE LITERATURA	4
3.1. Producción ovina en México.....	4
3.2. Producción ovina en Baja California.....	5
3.3. Ciclo estral en ovinos.....	7
3.4. Estacionalidad reproductiva.....	9
3.4.1. Fotoperiodo.....	10
3.4.2. Época reproductiva.....	12
3.4.3. Actividad reproductiva en ovejas Pelibuey.....	13
3.5. Estrés calórico animal.....	15
3.6. Estrés calórico sobre la reproducción.....	17
3.7. Termorregulación en ovinos de pelo.....	21
IV. ARTÍCULO 1	23
CONDUCTA ESTRUAL CIRCANUAL EN OVEJAS PELIBUEY BAJO CONDICIONES ÁRIDAS DEL NOROESTE DE MÉXICO	
4.1. Resumen.....	23
4.2. Abstract.....	24
4.3. Introducción.....	25

4.4. Materiales y métodos.....	26
4.4.1. Análisis estadísticos.....	28
4.5. Resultados y discusión.....	28
4.6. Conclusiones.....	34
V. ARTÍCULO 2.....	35
EFECTO DEL ESTRÉS POR CALOR DEL VERANO EN LAS VARIABLES FISIOLÓGICAS, LA OVULACIÓN Y LA SECRECIÓN DE PROGESTERONA EN OVEJAS PELIBUEY EN CONDICIONES NATURALES EN UNA REGIÓN ÁRIDA	
5.1. Resumen.....	35
5.2. Abstract.....	36
5.3. Introducción.....	37
5.4. Materiales y métodos.....	38
5.4.1. Sitio de estudio.....	38
5.4.2. Animales y manejo.....	39
5.4.3. Tratamientos y mediciones.....	39
5.4.4. Análisis estadístico.....	41
5.5. Resultados.....	41
5.6. Discusión.....	46
5.7. Conclusiones.....	51
VI. CONCLUSIONES GENERALES.....	52
VII. LITERATURA CITADA.....	53

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Distribución mensual de las ovejas en estro dentro de las diferentes longitudes de estro.....	35
Cuadro 2. Condiciones climáticas durante el periodo experimental de verano y otoño....	43
Cuadro 3. Peso vivo, condición corporal y actividad reproductiva de ovejas de raza Pelibuey durante el verano y otoño.....	46

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Temperaturas promedio, máximas y mínimas diarias mensuales registradas durante el estudio.....	30
Gráfica 2. Humedad relativa promedio, máxima y mínima mensual registrada durante el estudio.....	30
Gráfica 3. Índice de Temperatura y humedad (ITH) promedio, máximo y mínimo mensual registrada durante el estudio.....	30
Gráfica 4. Peso vivo y condición corporal mensual de la ovejas durante el estudio.....	31
Gráfica 5. Conducta de estro mensual de ovejas de pelo.	32
Gráfica 6. Distribución individual de la presencia de estros a través del año en ovejas de pelo.....	33
Gráfica 7. Patrón del índice diario de temperatura y humedad durante los periodos de muestreo en verano y otoño.....	43
Gráfica 8. Temperatura rectal registrada, semanalmente, por la mañana y por la tarde, durante el verano y el otoño en ovejas de.....	44
Gráfica 9. Frecuencia respiratoria registrada, semanalmente, por la mañana y por la tarde, durante el verano y el otoño en ovejas de pelo.....	45
Gráfica 10. Concentraciones de progesterona en suero durante el ciclo estral de las ovejas Pelibuey por efecto de la temporada en condiciones natural.....	47

RESUMEN

Actualmente, los ovinos de raza de pelo se encuentran distribuidos a través de todo el territorio Mexicano debido a su rusticidad, adaptación a cualquier clima y capacidad para aprovechar esquilmos agrícolas. Sin embargo, poco se conoce sobre la actividad reproductiva que presentan los ovinos de pelo en climas diferentes al observado en regiones tropicales y subtropicales. Así, el objetivo del presente estudio fue caracterizar la actividad reproductiva de ovinos de pelo, específicamente de la raza Pelibuey, bajo condiciones áridas del noroeste de México. El estudio se realizó en el Valle de Mexicali, B.C., donde se registran temperaturas máximas en verano (hasta 50°C) y mínimas en invierno (0°C). En general, se realizaron dos experimentos. En el experimento 1, se estabularon en un corral 22 ovejas adultas de raza Pelibuey para evaluar la conducta estral circanual con ayuda de machos provistos de mandil. Los machos se introdujeron al corral de las hembras diariamente, mañana y tarde, durante un año. El porcentaje de ovejas en estro fue 100% de julio a diciembre ($P>0.05$), siendo mayor ($P<0.05$) en estos meses que de enero a junio. Comparado con los meses restantes, el mayor ($P<0.05$) porcentaje de ovejas presentaron estros de duración normal (24-36 h) de septiembre a enero. En el experimento 2, 10 ovejas adultas de raza Pelibuey mantenidas en condiciones estabuladas se sometieron a condiciones de estrés calórico de verano y termoneutrales de otoño. Se midieron variables fisiológicas, presencia de estro, ovulación y funcionalidad de cuerpo lúteo con base en los niveles de progesterona. El estrés calórico de verano incrementó ($P<0.05$) la temperatura rectal y la frecuencia respiratoria. La época del año no afectó ($P>0.05$) la longitud del ciclo estral, ni el porcentaje de ovejas en estro y ovulando. Las concentraciones de progesterona entre los d 8 y 14 del ciclo estral fueron mayores ($P<0.05$) en otoño que en verano. Se concluye que, bajo las condiciones áridas del noroeste de México, la actividad estral se reduce en el primer semestre del año sin llegar a considerarse un anestro profundo. Además, el estrés calórico de verano solamente afectó la funcionalidad del cuerpo lúteo.

ABSTRACT

Currently, hair breed sheep are widely distributed through all Mexican territory due to its rusticity, adaptation to any weather and ability to use agricultural residues. However, little is known on its reproduction activity under climatic conditions different to those observed in tropical or subtropical regions. Therefore, the objective of the present study was to characterize the reproduction activity of hair sheep, specifically of the Pelibuey breed, under arid conditions of northwestern México. The study was carried out in the Mexicali Valley, B.C., where maximum (until 50°C) and minimum (0°C) temperatures are recorded in summer and winter, respectively. In general, two experiments were performed. In experiment 1, 22 adult Pelibuey ewes were confined in a pen to evaluate circannual estrous behavior using males with apron, which were introduced to the pen of ewes twice daily, during the morning and afternoon, for a complete year. The percentage of ewes in estrus was 100% from July to December ($P<0.05$), being higher ($P<0.05$) those months than from January to June. Among September and January the percentage of ewes with estrous of normal duration (24-36h) was higher ($P<0.05$). In experiment 2, 10 Pelibuey adult ewes were maintained in confinement and subjected to summer heat stress and thermoneutral conditions of autumn. Physiological variables, estrus behavior, ovulation, and *corpus luteum* functionality based on progesterone levels were measured. Summer heat stress increased ($P<0.05$) rectal temperature and respiration frequency. The season of the year did not affect ($P>0.05$) estrus cycle length, neither percentage of ewes in estrus or ovulating. Progesterone concentrations between days 8 and 14 of the estrus cycle were higher ($P<0.05$) in autumn than in summer. It is concluded that under arid conditions of northwestern México, estral activity is reduced during the first semester of the year, without considering it as a deep anestrus. Furthermore, summer heat stress only affected the *corpus luteum* functionality.

I. INTRODUCCIÓN

Los pequeños rumiantes domésticos son animales caracterizados reproductivamente por ser estacionales, es decir, existe una época del año donde se muestran altamente receptivas al macho y otra donde son anéstricos (Rosa y Bryant, 2003). La estacionalidad reproductiva es un mecanismo de adaptación que asegura la supervivencia de las crías en los mamíferos a través de programar naturalmente los partos en la época de mayor disponibilidad de forraje (Malpaux *et al.*, 1996). El fotoperiodo en conjunto con el ritmo circanual endógeno son los dos factores claves que regulan a través del año el inicio y fin de la época reproductiva (Chemineau *et al.*, 2008), siendo los días cortos cuando se presenta dicha época. Esta situación obedece a que la síntesis de melatonina, hormona encargada de estimular la secreción de la hormona liberadora de gonadotropina (GnRH) a nivel de hipotálamo y hormona luteinizante (LH) en la hipófisis, es favorecida por una mayor cantidad de horas de oscuridad (Kriegsfeld *et al.*, 2014). Algunos estudios sugieren que el ritmo circanual endógeno marca el inicio de la época reproductiva mientras que el fotoperiodo se encarga de mantenerla (Arroyo, 2011).

En ovinos se ha demostrado que el grado de estacionalidad que presentan varía con la raza. Los ovinos originarios de latitudes altas ($>35^\circ$), generalmente de razas de lana, tienen una marcada estacionalidad reproductiva; mientras que los ovinos originarios de regiones cercanas al ecuador, principalmente razas de pelo, tienden a no presentar un anestro, y si la presentan, es poco profunda (Arroyo, 2011). Consecuentemente, los ovinos de pelo pueden reproducirse en cualquier época del año (Chemineau *et al.*, 2008).

Los ovinos Pelibuey son una raza de pelo caracterizada por no presentar anestro estacional en regiones ubicadas entre los 19° y 22° latitud norte (LN), aunque varios estudios coinciden en mencionar que tienden a reducir la presencia de estro entre los meses de enero a mayo, sin que esto implique la presencia de un anestro profundo (Porrás, 1999; Cerna *et al.*,

2000; Valencia *et al.*, 2006; Arroyo *et al.*, 2007). Aunque estudios recientes reportaron que existen ovejas Pelibuey que responden al efecto del fotoperiodo tal como lo hacen las ovejas de lana, eso podría explicar la reducción del porcentaje de ovejas en estro durante el primer semestre del año (Arroyo *et al.*, 2007).

Cabe mencionar que es necesario seguir realizando estudios para caracterizar la actividad reproductiva de ovinos de pelo bajo diferentes escenarios climáticos y en latitudes mayores a 22°. Esto considerando que actualmente los ovinos Pelibuey se encuentran distribuidos por todo el país debido a que se menciona que tienen una capacidad de reproducirse prácticamente en todas las épocas del año y adaptarse a cualquier condición climática. Sin embargo, bajo condiciones áridas del noroeste de México, donde la latitud geográfica es superior a los 32° LN y el clima es sumamente extremo (verano con temperaturas de hasta 50° C), no se tiene ningún antecedente de la actividad estral y ovulatoria que presentan los ovinos Pelibuey. Las temperaturas elevadas, la baja disponibilidad de forraje por la escasez de lluvia y la latitud cercana a los 35° LN, podrían ser factores que ocasionarán que esta raza de ovino presentara diferente actividad reproductiva a la descrita en regiones con climas tropicales o subtropicales ubicados a menor latitud.

II. OBJETIVOS

2.1. General

Caracterizar la actividad reproductiva de ovinos de pelo, específicamente de la raza Pelibuey, bajo condiciones áridas del noroeste de México.

2.2. Específicos

- Determinar la conducta estral circanual de ovejas multíparas Pelibuey bajo las condiciones ambientales áridas del Valle de Mexicali.
- Evaluar el efecto de las altas temperaturas ambientales de verano que prevalecen en las regiones áridas sobre el comportamiento estral, la ovulación y la funcionalidad del cuerpo lúteo de ovejas Pelibuey bajo las condiciones de producción de la región árida del Valle de Mexicali.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. Producción ovina en México

En México se tienen registradas alrededor de 53,000 unidades de producción ovina, las cuales se encuentran distribuidas a través del país de la siguiente manera: 53% en el centro, 24% en el sur-sureste y 23% en el norte (PROGAN, 2010). En conjunto todas estas unidades registran un inventario de 8'219,386 cabezas y producen 57,691 ton/año de carne de borrego, según datos de Arteaga-Castelan (2014). En términos generales, los niveles de producción de carne de borrego en el país se han incrementado en los últimos años, llegándose a registrar un aumento del 50% en la última década (SAGARPA, 2012), siendo los estados del centro del país y el Distrito Federal los principales consumidores (Estado de México, Hidalgo, Veracruz, Puebla Zacatecas y Jalisco).

Cabe mencionar que una gran problemática de la producción ovina en el país es que la producción de carne no es suficiente para abastecer la demanda nacional; consecuentemente se tiene una dependencia directa de las importaciones tanto de ganado en pie como de carne (Arteaga-Castelán, 2014). Los principales países que envían ovinos tanto en pie como en canal son Nueva Zelanda, Estados Unidos, Australia y Chile. Por lo tanto, esta problemática sugiere que la producción de borrego en el país es un área de oportunidad.

Por otra parte, los objetivos de producción de ovino son variables a través del país y dependen en gran medida del clima y las necesidades del mercado regional. En la zona central, el objetivo de producción es tanto para carne como para pieles, por lo cual razas de lana son abundantes, tales como Suffolk, Hampshire, Rambouillet y Dorset. Al sur del país se produce esencialmente ovino para carne basado en razas de pelo (Katahdin, Dorper, Black Belly y Pelibuey), lo cual obedece a las condiciones climáticas tropicales que prevalecen en esa

región. En el norte del país, los sistemas de producción ovina también tienen el objetivo de producir carne usándose principalmente razas de pelo y en menor proporción razas de lana. Cabe mencionar que en la región norte, hasta hace algunos años, el objetivo de producción era principalmente lana, por lo que aún se mantiene una población de ovinos de la raza Rambouillet, y en la última década se han introducido ovinos de pelo en forma masiva para producción de carne (SIAP, 2013).

En el norte del país se distribuye alrededor del 23% del inventario ovino nacional, siendo las razas predominantes Dorper, Katahdin, Pelibuey y sus cruzas (Arteaga-Castelán *et al.*, 2014). Las razas de pelo son preferidas por los productores del norte del país porque son rústicas y presentan una alta adaptabilidad a las condiciones climáticas extremas que registran varias regiones del norte. Además, tienen la capacidad de reproducirse prácticamente todo el año (Macías-Cruz *et al.*, 2010) y de aprovechar forrajes de mala calidad, incluyendo esquilmos agrícolas (Wildeus, 1997).

En general, el norte de México se caracteriza por presentar grandes extensiones de zonas áridas y semiáridas, en donde más de dos terceras partes de su superficie son áreas susceptibles de pastoreo (Gauthier *et al.*, 2003). Así, esta región es considerada como la zona de mayor potencial para la explotación de ovinos en el país, ya que el forraje de los agostaderos es la fuente de alimento más económica para el ganado (Esqueda y Gutiérrez, 2009).

3.2. Producción ovina en Baja California

En el estado de Baja California, localizado al noroeste de México, la actividad de la producción ovina es un tema relativamente nuevo. Martínez-Partida *et al.* (2011) mencionan que la ovinocultura en este estado era prácticamente inexistente hasta hace 12 años, por

consecuencia es escasa la información disponible sobre aspectos reproductivo y productivos bajo estas condiciones. En un estudio de caracterización de la situación ovino-caprino en Baja California, el cual fue realizado por estos mismos autores, encontraron que el 80% de la actividad ovino-caprino está concentrada en el municipio de Mexicali, 15 % en el municipio de Ensenada, 3% en el municipio de Tecate y solo 2% en el municipio de Tijuana. No obstante, este último municipio fue identificado como el de mayor consumo de carne de borrego. Además, señalaron que 94.4% de los productores utiliza la raza Pelibuey, 2.8% la raza Dorper y el 2.8% las cruces de Dorper con Pelibuey. Los sistemas de producción son principalmente semi-intensivos (70.5%) seguido del extensivo (20.5%) e intensivo (9%). No existe un manejo reproductivo como tal, por lo que la reproducción se lleva a cabo por empadre continuo y no se aplican técnicas de diagnóstico de gestación. El manejo sanitario es escaso y se limita principalmente a tratar animales que ya están enfermos. El 89.1% comercializa los animales en pie, tomando como referencia el precio de los demás productores o aceptando lo que el comprador sugiere. En general, los resultados de ese estudio (Martínez-Partida *et al.*, 2011) demuestran que la producción ovina en Baja California no es una actividad primaria sino secundaria. De tal manera, que los productores consideran tener ovinos más como una actividad de pasatiempo que empresarial.

Cabe mencionar que en los últimos años, la demanda de carne ha incrementado principalmente en el municipio de Tijuana. Sin embargo, al no ser en el estado de Baja California una actividad prioritaria la ovinocultura, el inventario ovino estatal se encuentra en franca caída, ya que los compradores de Tijuana han sacrificado gran parte de los rebaños. Actualmente, la ovinocultura en Baja California se encuentra en crisis por la elevada demanda de carne de ovino y la reducida disponibilidad de animales para abasto. Esta situación ha favorecido que los precios de ovino en pie y en canal mejoren circunstancialmente.

3.3. Ciclo estral en ovinos

El ciclo estral se define como el intervalo entre dos estros y se caracteriza por cambios fisiológicos que van desde la foliculogénesis, la ovulación, formación de cuerpos lúteos y la posible fecundación del gameto, hasta cambios en el comportamiento de la hembra, los cuales son regulados por procesos endocrinos (Hafez y Hafez, 2002). En la oveja, el ciclo estral tiene una duración promedio de 17 días, aunque este tiempo puede variar entre 15 y 19 días. Factores como raza, edad, época reproductiva y ambientales pueden ser responsables de esta variación en la duración del ciclo estral (Dobson et al., 2012).

El ciclo estral presenta dos fases que son identificadas como fase folicular y fase lútea (Arthur *et al.*, 1991). Durante la fase folicular se lleva a cabo el reclutamiento de folículos y tiene una duración de 2 a 3 días. En esta fase se presentan los signos del estro, los cuales tienen una duración aproximada de entre 24 y 36 horas. Igualmente, durante la fase folicular ocurre la ovulación, que en el caso de la oveja es de tipo espontánea y se presenta en el último tercio del estro. Por otra parte, el fin de los procesos de ovulación y del estro indica el inicio de la fase lútea. Esta fase tiene una duración en ovinos de entre 12 y 14 días, y se caracteriza por la formación y desarrollo de un cuerpo lúteo. Esta estructura ovárica es considerada como una glándula temporal, ya que en ella se sintetiza y secreta la hormona progesterona (P_4) que es encargada de mantener la gestación (Bartlewski *et al.*, 2011).

En ovejas así como en cualquier mamífero, el comienzo y mantenimiento de la actividad gonadal cíclica es compleja, ya que involucra el control del eje hipotálamo-hipófisis-gónada. La actividad de este eje además de ser regulado por un mecanismo de retroalimentación proveniente de los ovarios, es influenciado por factores ambientales y genéticos como el fotoperiodo, nutrición, raza y latitud donde se encuentra el rebaño (Karsh, 1988). El hipotálamo produce GnRH, la cual estimula la secreción de LH y de hormona

folículo estimulante (FSH) a nivel de hipófisis anterior. La FSH y LH actúan en el ovario promoviendo el desarrollo folicular y la ovulación, respectivamente. Aunque cabe destacar que LH también interviene en proceso de foliculogénesis controlando la maduración del folículo, una vez que el crecimiento folicular es independiente de FSH. Cuando uno de los folículos alcanzó la dominancia y un diámetro > 14 mm, se desencadena un pico de LH que estimula la liberación del óvulo a partir del folículo dominante (Bittman, 1983).

Cabe mencionar que los procesos de presencia de signos de estro y pico de LH están ligados al incremento en los niveles sanguíneos de estrógenos, los cuales aumentan rápidamente durante el proestro alcanzando su máximo nivel algunas horas antes del estro. Los estrógenos promueven la liberación de LH hipofisiaria debido a que generan una retroalimentación positiva a nivel de hipotálamo para incrementar la liberación de GnRH-LH. Una vez que tanto el estro como el pico de LH se presentaron, los niveles de estrógenos circulantes declinan rápidamente, llegando a ser indetectables 24 horas post-estro (Bartlewski *et al.*, 2011).

Terminada la fase folicular se inicia la fase lútea con la formación del cuerpo hemorrágico que más tarde dará lugar al cuerpo lúteo como tal. A medida que se va formando el cuerpo lúteo, los niveles de P_4 se van elevando, alcanzando sus niveles máximos entre los días 12 y 14 del ciclo estral. Si el óvulo liberado no es fecundado, el cuerpo lúteo comienza a sufrir regresión a fines de la etapa del diestro (día 14 o 15 del ciclo), disminuyendo las concentraciones de P_4 plasmática (Steinlechner y Niklowitz, 1992). Este proceso de regresión lútea es acelerado por la secreción uterina de prostaglandinas $F_{2\alpha}$ ($PGF_{2\alpha}$), la cual comienza a secretarse conforme los niveles de P_4 van descendiendo (Frandsen, 1988).

A nivel del eje hipotálamo-hipófisis-gónada, la presencia de P_4 en la fase lútea promueve una retroalimentación negativa a nivel de hipotálamo para reducir la secreción de

GnRH, lo cual impacta negativamente sobre la liberación de hormonas hipofisarias como FSH y LH. De esta manera se evita que las ovejas lleguen a presentar actividad estral durante la fase luteal. Con la regresión del cuerpo lútea, esta retroalimentación negativa de P₄ en hipotálamo comienza a desaparecer y con ello se inicia un nuevo ciclo estral (Seekallu *et al.*, 2010).

3.4. Estacionalidad reproductiva

La mayoría de los animales mamíferos presentan cierto grado de estacionalidad reproductiva, unos más marcados que otros. En pequeños rumiantes y yeguas es ampliamente conocido que su actividad reproductiva está principalmente regulada por el fenómeno de estacionalidad reproductiva, no así en bovinos o cerdos (Hafez y Hafez, 2002). Posiblemente, estas diferencias entre especies puedan deberse al grado domesticación y al lugar de origen.

En general, el fenómeno de estacionalidad reproductiva es considerado como un mecanismo adaptativo, el cual permite a los animales programar la época de partos en fechas donde la disponibilidad de alimento es abundante y las condiciones climáticas son benéficas para la sobrevivencia de las crías (Malpaux *et al.*, 1997). Esta estrategia reproductiva se presenta en las razas que viven en latitudes iguales o mayores a los 35°, donde los cambios ambientales (temperatura, precipitación pluvial, disponibilidad de alimentos) son contrastantes en las diferentes estaciones del año (Porrás *et al.*, 2003). Así, la selección natural ha permitido la adaptación de los mamíferos a los diferentes hábitats, favoreciendo que su reproducción ocurra armónicamente con las variaciones ambientales (Bronson y Heideman, 1994).

El fenómeno de estacionalidad reproductiva permite delimitar en el año dos épocas, una con actividad reproductiva y otra de anestro. En la primera, las hembras se muestran receptivas al macho con actividad cíclica continua, mientras que en la segunda, las hembras

presentan una ausencia total de ciclos estrales regulares, y consecuentemente no hay actividad reproductiva. En el caso de machos, la estacionalidad reproductiva también los afecta, principalmente reduciendo la libido y el proceso de espermatogénesis durante la época denominada de “anestro” para las hembras (Karagiannidis *et al.*, 2000). En ovinos, la época reproductiva coincide con la presencia de días cortos (julio a enero) y la época de anestro con días largos (febrero a junio).

Dos factores son encargados de regular la estacionalidad reproductiva en los mamíferos: fotoperiodo y ritmo circanual endógeno (Cerna *et al.*, 2000). Aunque indirectamente otros factores ambientales también modulan este fenómeno, tales como: temperatura, humedad y disponibilidad de alimento (Arroyo, 2011). Algunos estudios sugieren que el ritmo circanual endógeno es el encargado de indicar el inicio y fin de la época reproductiva, mientras que el fotoperiodo es el encargado de mantener la ciclicidad reproductiva (Malpaux *et al.*, 1996). De esta forma, ambos factores intervienen en el control de la reproducción de las especies estacionarias.

3.4.1. Fotoperiodo

El fotoperiodo juega un rol importante en la regulación de los eventos endócrinos de la estacionalidad reproductiva de los pequeños rumiantes. Una compleja red neural a nivel de sistema nervioso central se encarga de transformar las señales luminosas en una señal hormonal, específicamente a través de la síntesis y secreción de melatonina a nivel de la glándula pineal (Malpaux *et al.*, 1996; Barrell *et al.*, 2000). En este mecanismo, la luz es captada a través de la retina del ojo, y dicha señal luminosa se transforma en una señal eléctrica que es conducida de la retina al hipotálamo por medio del tracto retinohipotalámico. En el hipotálamo, el núcleo supraquiasmático capta la señal eléctrica y la transfiere al centro

paraventricular, de donde es enviada finalmente al cerebro posterior, específicamente al ganglio cervical superior (Arent, 1998). En este punto, la señal eléctrica se transforma en una señal química, ya que se comienza a liberar noradrenalina, la cual es captada por receptores α y β -adrenérgicos en la membrana celular de los pinealocitos localizados en la glándula pineal. Dentro de los pinealocitos, la noradrenalina provoca la síntesis N-acetil-transferasa, enzima fundamental en la síntesis de melatonina a partir del aminoácido triptófano (Malpaux *et al.*, 2002; Rosa y Bryant, 2003).

La presencia de días largos conlleva a una reducción en las horas de oscuridad, situación que decrece los niveles sanguíneos de melatonina e incrementa la síntesis de dopamina. La presencia de este neurotransmisor a nivel de cerebro provoca que las ovejas dejen de ciclar de manera regular y entren en una etapa de anestro estacional (Malpaux *et al.*, 1996). Caso contrario sucede durante los días cortos, donde la mayor duración en la síntesis y secreción de melatonina inhibe la producción de dopamina, con el subsecuente restablecimiento de la actividad estral y la ovulación (Viguié *et al.*, 1997; Malpaux *et al.*, 1999).

En estudios realizados con fotoperiodo artificial (Sanleir, 1972; Linsay, 1991), se encontró que la disminución en la cantidad de horas luz conllevaba el inicio de la actividad ovárica, mientras que el incremento en la cantidad de horas luz deprimía la presencia de actividad reproductiva. En otro estudio donde expusieron a un fotoperiodo corto (8 h de oscuridad/ 16 h de luz) durante 5 años a ovejas que se encontraban finalizando la época de crianza, observaron que las ovejas seguían presentando los mismos periodos de actividad reproductiva y anestro a través de los años. Estos resultados llevaron a concluir que, aparte del fotoperiodo, existía un ritmo circanual endógeno de las funciones neuroendócrinas de las ovejas, el cual marca el inicio y fin de las épocas reproductivas o anéstrica en forma

independientemente del fotoperiodo (Karsch *et al.*, 1989). Por otro lado, Pijoan y Williams (1983) estudiaron dos razas diferentes en condiciones naturales (51° 43' LN) o fotoperiodo artificial (similar al registrado en el ecuador), encontrando que independientemente de la raza se presentó más actividad ovulatoria en el fotoperiodo artificial. Basado en estos resultados, los autores indicaron que la función del fotoperiodo en el control de la estacionalidad reproductiva de ovejas era para ajustar a un año su ciclo reproductivo y sincronizar a época reproductiva con la disponibilidad de alimentos.

3.4.2. Época reproductiva

La época reproductiva en la oveja ocurre durante la temporada de días cortos y se caracteriza por la presencia de ciclos estrales regulares y en forma continua. De hecho las ovejas son consideradas desde un punto de vista reproductivo como poliéstricas estacionales con ciclos regulares cada 17 días (Hafez y Hafez, 2002; Arroyo, 2011). Aunque cabe mencionar que la duración de la época reproductiva varía entre razas y latitud norte o sur (Malpoux *et al.*, 1997). En este sentido, se pueden identificar ovejas que presentan actividad reproductiva durante 3 o 4 meses hasta ovejas que no presentan una época reproductiva definida, por lo que tienen la capacidad de reproducirse en cualquier momento del año.

Las ovejas de raza de lana, los cuales se originaron en latitudes mayores a los 35° al sur o al norte, generalmente presentan épocas reproductivas más definidas pero de menor duración. Por su parte, las ovejas de raza de pelo que fueron desarrolladas en las regiones tropicales cercanas al ecuador, tienden a presentar una actividad reproductiva constante a través del año (Porrás *et al.*, 2003). Aunque algunos estudios sugieren que las razas de pelo muestran una reducción en el porcentaje de ovejas en estro (Arroyo, 2011), lo cual obedece a que un cierto porcentaje de estas ovejas presentan anestros cortos y de duración normal durante

la época natural de anestro (Arroyo *et al.*, 2007). Esta discrepancia entre razas en la duración de la época reproductiva obedece a que las raza de pelo se desarrollaron en regiones donde el fotoperiodo permanece relativamente constante a través del año y la cantidad de forraje disponible es abundante en cualquier época (Wildeus, 1997). Contrariamente, las razas de lana se desarrollaron en climas fríos y latitudes altas, donde el ritmo del fotoperíodo tiene una alta fluctuación circanual, pero repetible año con año (Notter, 2008).

Bajo condiciones de México, diversos estudios se han llevado a cabo para conocer la época reproductiva tanto de ovinos de lana como de pelo (Porrás *et al.*, 2003; Valencia *et al.*, 2006; Arroyo, 2007, 2011). La mayoría de estos estudios indican que la época reproductiva comienza en julio y termina en enero. De tal manera que la época de anestro en razas de lana se sitúa entre los meses de marzo a junio; similarmente la época de baja actividad reproductiva de ovinos de pelo se localiza en ese periodo del año.

3.4.3. Actividad reproductiva en ovejas Pelibuey

En los años 50's se describía a los ovinos de pelo como razas que presentaban nula estacionalidad reproductiva (Castillo *et al.*, 1972; Castillo *et al.*, 1974). Posteriormente, a principios de los años 90's, se realizaron estudios para evaluar la actividad estral y ovulatoria a través del año de las ovejas Pelibuey, encontrando que este tipo de ovejas no presentaban un anestro estacional como tal, pero sí una reducción en la actividad estral durante la época natural de anestro de los ovinos de lana (González-Reyna *et al.*, 1991; González-Reyna *et al.*, 1992). Diversas causas han sido consideradas para explicar este patrón reproductivo, sin embargo, hasta el momento dichas causas son contradictorias y poco claras.

Inicialmente se pensaba que las razas de pelo, como la Pelibuey y Blackbelly, no presentaban estacionalidad reproductiva asociada con el fotoperíodo (González-Reyna y Murphy, 1987; González-Reyna *et al.*, 1992; Cruz *et al.* 1994), ya que en las regiones cercanas al Ecuador (lugar donde se desarrollaron) las variaciones en la cantidad de horas luz por día eran relativamente constantes a través del año (Porrás *et al.*, 2003). Así, en esos estudios adjudicaban el patrón reproductivo de ovinos Pelibuey a factores de carácter ambiental, tales como: disponibilidad y calidad del forraje, temperatura y humedad. Sin embargo, investigaciones posteriores indicaron que las ovejas Pelibuey seguían manteniendo los mismos patrones reproductivos circanales en condiciones de un plan nutricional constante y adecuado a sus requerimientos (Heredía *et al.*, 1991; Martínez *et al.*, 1995).

Actualmente se conoce que existe una variabilidad dentro de la misma raza Pelibuey relacionada con los patrones reproductivos circanales. Mientras que algunas ovejas presentan periodos de anestro de duración variada, otras no dejan de ciclar durante toda su vida reproductiva (Valencia *et al.*, 2006; Arroyo *et al.*, 2007; Arroyo, 2011). Además, la reproducción en los ovinos Pelibuey, al igual que los de lana, es regulada por efecto del fotoperíodo y modulada indirectamente por la temperatura, humedad y disponibilidad de alimento (Cerna *et al.*, 2000; Porrás *et al.*, 2003).

Cabe mencionar que en ovinos Pelibuey se considera que el impacto del fotoperíodo sobre su ciclicidad es relativamente inferior a las de lana. Esto juzgado por su reducida época de anestro poco profunda, y por la habilidad de estos ovinos para responder al contacto directo del macho sin un período previo de aislamiento (Valencia *et al.*, 2006). Por lo tanto, partiendo de la menor respuesta de razas de pelo al efecto refractario del fotoperíodo, se podría pensar

que a través del tiempo de domesticación de las diferentes especies animales, los ovinos de pelo han evolucionado mayormente que los de lana.

En general, Arroyo *et al.* (2007) plantearon en base a los patrones reproductivos que existen tres diferentes tipos de ovejas Pelibuey: 1) Ovejas insensibles a los ligeros cambios del fotoperíodo registrado en regiones tropicales, 2) ovejas insensibles a los cambios fotoperiódicos registrados a los 19° N, y 3) ovejas altamente insensibles a los cambios fotoperiódicos (aproximadamente 20%).

3.5. Estrés calórico animal

El estrés calórico es un término usado para denotar un estado donde un animal responde a condiciones ambientales de elevadas temperaturas a través de cambios fisiológicos y ajustes internos del cuerpo, esto con el fin de sobrevivir bajo ese tipo de escenarios climáticos (Renaudeau *et al.*, 2012). Los factores ambientales causantes del estrés por calor son temperatura, humedad relativa, radiación solar y velocidad de viento, los cuales solos o combinados afectan negativamente el confort de los animales, y consecuentemente, la capacidad productiva (Mader *et al.*, 2006). En general, el grado de estrés calórico al cual un animal está sometido se determina básicamente a través de índices desarrollados a partir de combinaciones entre factores (Silanikove *et al.*, 2000). El índice de temperatura-humedad (ITH) es el más popularmente empleado debido a su facilidad para calcular, sin embargo, en la actualidad se han desarrollado un serie de índices considerando otros factores tanto inherentes del animal como ambientales y productivos (Bernabucci *et al.*, 2010).

En animales estresados por calor, la necesidad de disminuir rápidamente la carga de calor corporal y mantener condiciones de homeotermia provoca la activación de pérdidas de calor principalmente de tipo evaporativas (respiración, jadeo y sudoración), dejando en segundo término las pérdidas no evaporativas (radiación, conducción y convección) como mecanismos de termorregulación (Arias *et al.*, 2008). A medida que la temperatura ambiental se aproxima a la temperatura corporal del animal, las pérdidas de calor no evaporativo se vuelven muy pequeñas, obligando al animal a disipar el calor por medio de la evaporación (Cena y Monteith, 1975a). La habilidad para transpirar y perder calor por evaporación varía con las diferentes especies animales (Cena y Monteith, 1975b). Mientras que en ovinos y bovinos la mayor pérdida de calor se da por incremento en frecuencia respiratoria y sudoración, en cerdos se da por el jadeo principalmente, ya que no sudan (Bell *et al.*, 1989).

La respiración es uno de los mecanismos a los que recurren regularmente los animales homotermos para regular la temperatura corporal cuando este se encuentra bajo estrés térmico. Thomas y Pearson (1986) mencionan que en el ganado vacuno una respiración basal es de 20 rpm, mientras que para pequeños rumiantes es un poco más elevada (25-30 rpm). Otros estudios también han indicado que los pequeños rumiantes pueden alcanzar hasta las 300 rpm bajo condiciones de estrés calórico (Hales y Browd, 1974). Esto último sugiere que la frecuencia respiratoria es el principal mecanismo de termorregulación fisiológico en pequeños rumiantes; situación que no sucede en rumiantes mayores donde la frecuencia respiratoria puede alcanzar hasta las 140 rpm bajo condiciones extremas (Arias *et al.*, 2008).

Cuando los medios evaporativos fallan en mantener las condiciones de homeotermia, los animales hacen uso de otros mecanismos de termorregulación, los cuales comprometen su capacidad productiva y reproductiva (Gaughan *et al.*, 2000; Marai *et al.*, 2010). Una reducción en el consumo de alimento y un incremento en el consumo de agua son dos ajustes fisiológicos

que el animal realiza para reducir la producción de calor metabólico, y con ello la carga de calor corporal (Silanikove, 2000). Aunque cabe mencionar que estos cambios tienen una repercusión directa sobre el estado metabólico y endocrinológico del animal, situación que a su vez compromete la fertilidad, productividad y crecimiento de los mismos (West, 1997; West, 2003). Una baja en el consumo de alimento y utilización del mismo, puede alterar el metabolismo del agua, proteínas, secreciones hormonales y metabolitos en la sangre (Marai *et al.*, 2007,2008, 2010).

En general, los mecanismos de termorregulación son muy parecidos entre los rumiantes, pero si existen diferencias en la prioridad con que cada uno los utiliza. Los rumiantes de razas criollas de lugares tropicales y subtropicales, están mejor adaptadas que los rumiantes de raza templada, y por lo tanto, tienden a tener mejor comportamiento reproductivo y expresar mejor su potencial genético (Bernabucci *et al.*, 2010). Existen animales que se han adaptado muy bien al estrés calórico de las regiones cálidas y tienen un mínimo ajuste de requerimientos de energía de mantenimiento (West, 2003).

3.6. Estrés calórico sobre la reproducción

Una de las principales problemáticas ocasionada en los sistemas de producción como consecuencia del estrés calórico son fallas en los procesos fisiológicos y endocrinológicos de la reproducción. Así, una reducida fertilidad se observa en las explotaciones durante la época de verano en regiones áridas, semiáridas, tropicales y subtropicales (Khodaei-Motlagh *et al.*, 2011). Esta situación conlleva a la presencia de una estacionalidad en la producción de leche, carne o crías (Nardone *et al.*, 2010).

En hembras, el estrés calórico suprime la conducta de estro y actividad ovulatoria, reduciendo la fertilidad. Dichos efectos negativos se deben a alteraciones en las interacciones

endócrinas a nivel del eje hipotálamo-hipófisis-gónada (HHG), las cuales son usualmente temporales (Dobson *et al.*, 2012). Cuando el factor estresor desaparece, todos los eventos reproductivos vuelven a funcionar de manera normal en un tiempo relativamente corto (Wolfenson *et al.*, 2000).

El estrés calórico estimula la activación del eje hipotálamo-hipófisis-adrenal (HHA), el cual promueve a nivel de hipófisis la secreción de hormonas adrenocorticosteroides (ACTH), las cuales a su vez modula el eje HHG y modifican la secreción de gonadotropinas (Goppelt-Struebe, 1997). Esto sugiere que la activación del eje HHA durante estrés calórico provoca un antagonismo entre las hormonas de los dos ejes, y consecuentemente alteraciones en los eventos reproductivos (Hansen y Aréchiga, 1999; Dobson *et al.*, 2012).

El incremento de glucocorticoides en respuesta al estrés calórico suprime la síntesis de la GnRH a nivel de hipotálamo, y consecuentemente, la liberación de LH y FSH por parte de la hipófisis anterior (Roth *et al.*, 2000; Ronchi *et al.*, 2001). Este incremento de glucocorticoides en sangre se ha reportado en situaciones de estrés calórico agudo pero no en estrés crónico (Collier *et al.*, 1982), aunque existen discrepancias entre estudios y especies sobre el efecto de altas temperaturas sobre la liberación o inhibición de hormonas reproductivas (Madan y Johnson, 1973; Wise *et al.*, 1988; Wolfenson *et al.*, 2000). No obstante, está ampliamente documentado que el estrés calórico tiene un efecto directo negativo sobre la hormona LH, la cual a su vez es la principal causante de las fallas en la ovulación, desarrollo del cuerpo lúteo (CL) y baja tasa de preñez después de la inseminación (Dobson *et al.*, 2012). Una disminución en la frecuencia pulsátil de LH en las primeras etapas del ciclo estral puede influir en la luteinización del CL (Wise *et al.*, 1988). La luteinización comienza antes de la ovulación en respuesta a la elevación preovulatoria de la LH y E₂, siendo LH la

hormona más importante para la ruptura del folículo y su posterior transformación en un cuerpo lúteo (Alila y Down, 1997).

En un estudio Gilad *et al.* (1993) reportaron bajas concentraciones de FSH y estradiol (E_2) en vacas por efecto del estrés calórico, lo cual repercutió disminuyendo desarrollo folicular y calidad del ovocito. Roth *et al.* (2000) señalaron que los efectos del estrés calórico en la dinámica folicular están asociados con niveles altos de FSH y bajas concentraciones de inhibina en plasma. También se ha estudiado los efectos del estrés calórico sobre el pico preovulatorio de LH, encontrándose resultados contradictorios. En vaquillas, una reducción en la frecuencia y amplitud del pico de LH endógeno (Madan y Johnson, 1973), mientras que en vacas no observaron efecto alguno (Gauthier *et al.*, 1981). Esta discrepancia entre resultados no ha sido del todo esclarecida, sin embargo, se ha relacionado con diferencias en la síntesis de E_2 preovulatorio por efecto de la edad bajo condiciones de estrés termal, siendo en vacas mayor la liberación de esta hormona que en vaquillas (Gilad *et al.*, 1993).

Por otra parte, las altas temperaturas también influyen directamente sobre el endometrio uterino, induciendo la expresión de las proteínas de choque calórico HSP70 y HSP90 (Malayer *et al.*, 1988; Malayer y Hansen, 1990). El incremento de estas proteínas en el endometrio uterino puede afectar la respuesta endometrial hacia la P_4 , debido a que estas proteínas son componentes del complejo de receptores de la hormona P_4 (Smith y Toft, 1993). La incapacidad de la P_4 para interaccionar con receptores endometriales puede promover la pérdida embrionaria temprana al no darse la implantación (Wolfenson *et al.*, 1993).

Está documentado que la P_4 es la responsable de la inhibición de los mecanismos luteolíticos maternos (Mann y Lamming, 1999). Por lo tanto, un nivel bajo de P_4 por efecto del estrés térmico durante fase lútea permite la liberación de $PGF_{2\alpha}$ con efectos luteolíticos sobre el CL (Mann y Lamming, 1995). En bovinos, la incubación del endometrio a temperaturas de

42°C provocó un aumento en la secreción de $\text{PGF}_{2\alpha}$, y una baja actividad de la P_4 en la inhibición de síntesis de $\text{PGF}_{2\alpha}$ (Putney *et al.*, 1989). Así, el incremento de la secreción de $\text{PGF}_{2\alpha}$ y la baja concentración de P_4 puede afectar el mantenimiento de la preñez temprana, lo cual puede estar relacionado con fallas en el reconocimiento maternal como una consecuencia de la reducida síntesis de interferon tau (proteína antiluteolítica) (Wolfenson *et al.*, 1993). Niveles bajos de P_4 en los días 3-8 posteriores a la concepción, fueron asociados con embriones pequeños al día 16 de la preñez por una insuficiencia en la producción de interferon tau para suprimir la luteolisis (Wolfenson *et al.*, 1993; Mann y Lamming, 2001).

En general, todo cambio endócrino por efecto de cualquier factor estresor se refleja en alteraciones ováricas y conductuales del animal. El tamaño de folículos pequeños en vaquillas bajo estrés calórico fue asociado con una concentración baja de E_2 entre los días 11 y 21 del ciclo estral (Wilson *et al.*, 1998). Gwazdauskas *et al.* (1981) encontraron que en vaquillas expuestas a temperaturas de 32°C, la duración del estro se redujo al igual que las concentraciones plasmáticas de E_2 durante la etapa de proestro y estro, en comparación de vaquillas expuestas a temperaturas de 21.3°C; concluyendo que el estrés calórico influye en la duración e intensidad del estro.

En machos, se ha observado que el estrés calórico produce una menor actividad motora reduciendo el número de montas, lo cual dificulta el detectar los celos en los animales (Hansen y Aréchiga, 1999). En un estudio en Virginia, Nebel *et al.* (1997) observaron que el número de montas se redujo de 8.6 en invierno a 4.5 en verano.

En el ganado bovino, la exposición a estrés calórico provoca alta incidencia de mortalidad embrionaria (Hansen *et al.*, 2001), reduce la expresión de la conducta estral (De Rensis y Scaramuzzi, 2003), afecta la esteroidogénesis en las células foliculares (Roth *et al.*, 2001; Bridges *et al.*, 2005) y disminuye el potencial de los ovocitos para desarrollar un

embrión viable (Al-Katanani *et al.*, 2002; Roth y Hansen, 2004). Además hay diferencias raciales en la resistencia de los embriones al estrés calórico, de tal manera que los embriones de bovinos de razas adaptadas a los climas cálidos (Brahman y Romosino) son más resistentes al estrés calórico que los embriones de las razas no adaptadas (Holstein y Angus) (Paula-Lopes *et al.*, 2003; Hernández-Cerón *et al.*, 2004). Mientras que en el ganado ovino, los estudios del efecto del estrés calórico en la función reproductiva son limitados.

La exposición a una temperatura ambiental mayor de 32 °C disminuye la fertilidad (Kleeman y Walter, 2005), asimismo 6 h de estrés calórico al día antes y después de la ovulación disminuye la proporción de embriones transferibles (Naqvi *et al.*, 2004). Al igual que en bovinos, en ovinos se han observado diferencias genéticas en la tolerancia al estrés calórico y consecuentemente en su impacto sobre la reproducción. Las razas que evolucionaron en climas cálidos regulan mejor su temperatura corporal en condiciones de estrés calórico que las razas que lo hicieron en climas templados o fríos (Marai *et al.*, 2007; 2008; McManus *et al.*, 2009). Además, los linfocitos de ovejas Pelibuey producen mayores concentraciones de la proteína de choque térmico (HSP-70) que los de ovejas Suffolk en condiciones de estrés calórico *in vitro* (Montero *et al.*, 2006; Romero *et al.*, 2013).

3.7. Termorregulación en ovinos de pelo

La capacidad de termorregulación de los ovinos varía ampliamente entre razas frente a escenarios de elevadas temperaturas ambientales. Las razas de lana generalmente son más susceptibles bajo este ambiente al ser menos eficientes para disipar el calor corporal. Contrariamente, razas de pelo se desarrollaron en condiciones tropicales y subtropicales, lo cual les favoreció para ser altamente adaptables a climas de estrés calórico (Wildeus, 1997). Así, Silanikove (2000) menciona que un índice de temperatura-humedad (ITH) de 72 unidades

es un indicativo del inicio de estrés calórico en ovejas de lana, mientras que Neves et al. (2009) encontraron que las ovejas de pelo comienzan a presentar signos de estrés térmico cuando el ITH alcanza las 79 unidades. Esto demuestra la tolerancia de las ovejas de pelo al estrés calórico, ya que su rango ambiental es más amplio para iniciar con una acción termorreguladora.

McManus et al. (2011) reportaron que los ovinos de raza de pelo tienen una mayor capacidad de adaptación a estrés calórico que los ovinos de raza de lana, dado que en estos últimos resulta difícil la pérdida de calor corporal por medio de la sudoración. Así, las características del pelo (corto y delgado) que presentan los ovinos Pelibuey, Dorper, Katahdin, y Blackbelly permiten la pérdida de calor a través de piel de forma eficiente, ya sea por una redistribución del flujo sanguíneo hacia el tejido periférico, o bien, por la sudoración (Correa et al., 2012). Además, comparado con los ovinos de lana, los ovinos de pelo tienden a presentar menor frecuencia respiratoria y temperatura rectal bajo condiciones de estrés calórico (Ross et al., 1985; Tabarez-Rojas et al., 2009; Correa et al., 2012; Romero et al., 2013), lo cual sugiere que las razas de pelo posiblemente realizan, simultáneamente con el incremento de la frecuencia respiratorio, otros ajustes fisiológicos o de conducta, tales como pérdidas de calor corporal por medios no evaporativos o reducción de su actividad motora. Algunos estudios también señalan mayor tolerancia celular al estrés calórico en ovinos de pelo que en ovinos de lana. En estudios in vitro, Romero et al. (2013) demostraron mayor viabilidad y menor apoptosis en células de ovinos Pelibuey en relación con células de ovinos Suffolk.

IV. ARTÍCULO 1:

CONDUCTA ESTRAL CIRCANUAL EN OVEJAS PELIBUEY BAJO CONDICIONES ÁRIDAS DEL NOROESTE DE MÉXICO

(Publicación: Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, 2015, 6:109-118)

4.1. Resumen

Con el objetivo de determinar la conducta estral circanual de ovejas Pelibuey bajo condiciones áridas del noroeste de México (32° LN), 22 ovejas adultas se mantuvieron en condiciones estabuladas con una alimentación constante durante un año. Diariamente, mañana y tarde, el grupo de ovejas fue expuesto a uno de tres machos provistos de mandil para detectar estro. El porcentaje de ovejas en estro y la duración del estro se calcularon en forma mensual. Las medias anuales de temperatura, humedad relativa e índice de temperatura-humedad fueron de $25.8\pm 8.4^{\circ}\text{C}$, $33.1\pm 11.2\%$ y 72.0 ± 8.8 unidades, respectivamente. El porcentaje mensual de ovejas en estro fue menor ($P>0.05$) de enero a junio que de julio a diciembre. El 100% de las ovejas presentaron estro en cada mes de julio a diciembre ($P>0.05$). Comparado con el resto de los meses, un mayor ($P<0.05$) porcentaje de ovejas mostraron estros cortos ($<24\text{h}$) en febrero y marzo, contrariamente, la proporción de ovejas con estros largos (>36 y $<48\text{h}$) fue mayor ($P<0.05$) en junio y agosto. En conclusión, bajo condiciones áridas del noroeste de México, las ovejas Pelibuey disminuyen su actividad estral de enero a junio, y las elevadas temperaturas ambientales de verano no son un factor que afecte la presencia de estro en dicha raza.

Palabras claves: ovinos de pelo, actividad reproductiva, estro, estrés calórico.

CIRCANNUAL ESTRUS BEHAVIOR IN PELIBUEY EWES UNDER ARID CONDITIONS OF NORTHWESTERN OF MÉXICO

4.2. Abstract

In order to determine the circannual estrus behavior of Pelibuey ewes under arid conditions of northwestern México (32° NL), 22 adult ewes were maintained in confinement conditions with constant feeding during one year. Daily, morning and afternoon, the ewe group was exposed to one of three ram fitted with an apron to detect estrus behavior. Annual averages of temperature, relative humidity and temperature-humidity index were $25.3\pm 8.1^{\circ}\text{C}$, $33.1\pm 10.7\%$ and 72.0 ± 8.4 units, respectively. Monthly percentage of ewes in estrus was lower ($P<0.05$) from January to June than from July to December. The 100% of ewes showed estrus signs in each months from July to December ($P>0.05$). Compared with others months, a higher ($P<0.05$) percentage of ewes showed shorter estrus (<24h) in February and March, contrarily, the proportion of ewes with longer estrus (>36 and <48h) was higher ($P<0.05$) in June and August. In conclusion, under arid-dry conditions of northwestern México, Pelibuey ewes decrease their estrus activity from January to June, and high environmental temperatures of summer are not a factor affecting the estrus presence in this sheep breed.

Keywords: Hair sheep, reproductive activity, estrus heat stress.

4.3. Introducción

Los ovinos se caracterizan por presentar una actividad reproductiva estacional a través del año, siendo en la época donde predominan días cortos (otoño-invierno) cuando esta especie tiene actividad estral en forma regular (Cerna, *et al.*, 2000). En este sentido, el fotoperiodo es el factor principal que regula la actividad reproductiva de los ovinos, aunque indirectamente otros factores ambientales también la afectan, tales como: disponibilidad de alimento, temperatura y humedad ambiental (Arroyo, 2011). El fenómeno de estacionalidad reproductiva es más marcado en razas de lana que en las de pelo (Porrás *et al.*, 2003). En estudios realizados en el noreste de México (Gonzales *et al.*, 1992) y en el altiplano mexicano (Arroyo, *et al.*, 2007) con ovinos Pelibuey, reportaron que estos ovinos se caracterizan por presentar actividad reproductiva todo el año, con una disminución en el porcentaje de ovejas en estro entre los meses de enero a mayo, sin considerarse una época de anestro profundo como en las razas de lana.

En el noroeste de México, los ovinos de raza de pelo, como los Pelibuey y Dorper, son preferidos por los productores debido a su gran capacidad reproductiva y de adaptación a las condiciones climáticas extremas que predominan en la región (hasta 50° C en verano y bajo 0° C en invierno) (Avendaño, *et al.*, 2004). Sin embargo, su conducta estral a través del año no ha sido evaluada bajo estas condiciones climáticas y latitudes. La mayor latitud y las altas temperaturas registradas durante verano son factores que pueden provocar una conducta reproductiva circanual diferente a la que presentan dichas ovejas en regiones del sur o centro del país. Se conoce que el fenómeno de estacionalidad reproductiva en ovejas se hace más evidente a medida que los animales se ubican a latitudes más lejanas del ecuador (Porrás, *et al.*, 2003). Por otra parte, las condiciones ambientales de estrés calórico afectan directamente la presencia y duración del estro en los rebaños de ovinos debido a un bajo crecimiento del

folículo dominante y reducidas concentraciones de hormona liberadora de gonadotropinas y hormona luteinizante, lo cual se refleja en una menor síntesis de estrógenos (Marai, *et al.*, 2008). Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue determinar la conducta estral circanual de ovejas multíparas Pelibuey bajo las condiciones ambientales del noroeste de México.

4.4. Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo del 1 de Enero al 31 de Diciembre del 2011 en el Instituto de Ciencias Agrícolas, de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), el cual se localiza en el Valle de Mexicali, a una latitud norte de 32° 24' y una longitud oeste de 115° 12'. El clima en esta región se caracteriza por ser árido y seco, muy similar a las condiciones del Desierto de Sonora (García, 1985).

Se utilizaron 22 ovejas adultas de raza Pelibuey, no lactantes, con 45 d de post-destete y nacidas en la región del estudio. Al inicio del experimento, las ovejas tenían una edad de entre 4 y 5 años, un peso vivo promedio de 51.3 ± 4.8 kg y una condición corporal en escala de 1 a 5 de 3.1 ± 0.2 unidades (Russel, *et al.*, 1969). Las ovejas se mantuvieron en condiciones estabuladas en un solo corral de 6.0 x 6.0 m provisto de comedero (0.5 m/animal), bebedero y sombra (0.6 m²). Las paredes del corral eran de malla metálica para garantizar un correcto flujo del aire, mientras que el techo estaba construido de lámina galvanizada en el centro del corral, a una altura de 2.5 m. Desde un mes antes del estudio hasta su finalización, la alimentación fue constante y *ad libitum* con una dieta formulada con 48% de paja de trigo picada, 48% de heno de alfalfa molido y 4% de pre-mezcla mineral. La dieta contenía 91.2% de materia seca (MS), 9.8% de PC y 1.8 Mcal de energía metabolizable/kg de MS. El agua se ofreció a libre acceso. Cabe mencionar, que un mes antes del inicio del experimento, todas las

ovejas se trataron con 3.0 mL de vitaminas A-D-E (Vigantol, Laboratorio Bayer, México), y 1.0 mL del desparasitante ivermectina (Ivermectin, laboratorio Sanfer, México).

La temperatura ambiental (T) y la humedad relativa (HR) diaria registrada durante el periodo de estudio se colectó de la Estación Meteorológica de la UABC. Con esta información climática se calculó el índice de temperatura-humedad (ITH) usando la siguiente fórmula (Hahn, 1999): $ITH = (0.81 \times T) + HR (T - 14.4) + 46.4$.

Medias mensuales de temperatura, humedad relativa e ITH diarios fueron calculados. Asimismo, promedios mensuales de máximas y mínimas de cada factor climático. Adicionalmente, el peso vivo y la condición corporal individual se registraron mensualmente para cada oveja.

La presencia de ovejas en estro también fue medida diariamente durante 30 min en la mañana (7:00) y 30 min en la tarde (19:00) para determinar el porcentaje mensual de ovejas en estro y la duración de éste. Se utilizaron 3 machos Pelibuey a través de todo el estudio para la detección de conducta de estro, los cuales permanecieron en un corral que se encontraba enfrente de donde estaban las hembras desde un mes antes de iniciar el experimento. Se consideró que una oveja estaba en estro cuando aceptaba la monta de un macho provisto de un mandil sin ningún reflejo de movimiento. Las ovejas detectadas en estro se colocaban en un corral adyacente y al finalizar el periodo de detección se regresaban al grupo. La detección de estro para cada oveja se realizó en forma repetida hasta que ya no aceptó la monta del macho, esto con el fin de poder determinar su duración. Solamente la duración de un estro por mes de cada oveja fue evaluado para duración, y se seleccionó aquel que fue producto de un ciclo estral completo desarrollado en el mismo mes. Como la metodología usada para detectar estro impidió calcular el tiempo exacto que duró éste en cada oveja, se decidió estimar la duración del estro distribuyendo en cada mes a las ovejas dentro de tres categorías de tiempo (<24 h

[estro corto], >24 y <36 h[estro normal] y, >36 y <48 h[estro largo]). Las ovejas se clasificaron en las categorías de tiempo a partir de la frecuencia con que presentaron signos de estro en forma continua cada 12 h: dos veces= <24 h, tres veces= >24 y <36 h, y cuatro veces= >36 y <48 h.

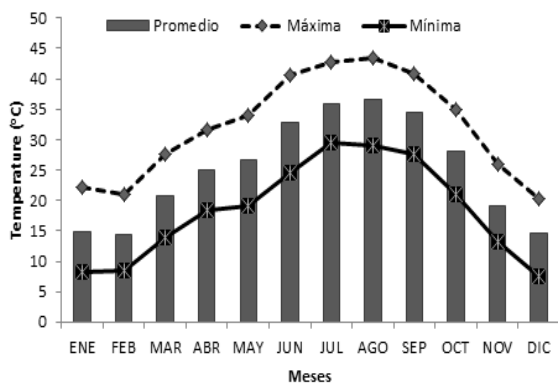
4.4.1. Análisis estadístico

El peso vivo y la condición corporal se analizaron bajo un diseño completamente al azar, usando el mes del año como tratamiento. Adicionalmente, se hicieron comparaciones de medias aplicando la prueba de Tukey a una $P < 0.05$. El porcentaje de ovejas en estro en cada mes se comparó usando la prueba de chi-cuadrada. Además, en cada mes, las ovejas con signos de estro se distribuyeron en tres tiempos de duración (<24 h, >24 y <36 h, y >36 y <48 h) y se compararon con la prueba exacta de Fisher. Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando el paquete estadístico SAS (SAS, 2004).

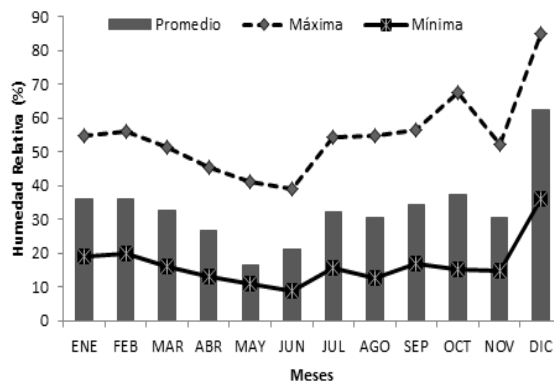
4.5. Resultados y discusión

Las condiciones climáticas registradas en el año de estudio se presentan en las Gráficas 1, 2 y 3. El promedio de temperatura, humedad relativa e ITH para todo el año fue de $25.8 \pm 8.4^{\circ}\text{C}$, $33.1 \pm 11.2\%$ y 72.0 ± 8.8 unidades, respectivamente. En los meses de verano prevaleció una temperatura promedio alta (32.8 a 36.7°C), lo cual conllevó a un incremento en los niveles de ITH (79.3 a 84.4 unidades). En el resto de los meses, la temperatura promedio se mantuvo por debajo de los 28°C , asimismo el ITH fue menor a las 72 unidades. Esto significa que las ovejas estuvieron en un ambiente de estrés por calor en verano, considerando el índice de estrés señalado por LPHSI (LPHSI, 1990), (>72 unidades inician los síntomas de estrés por

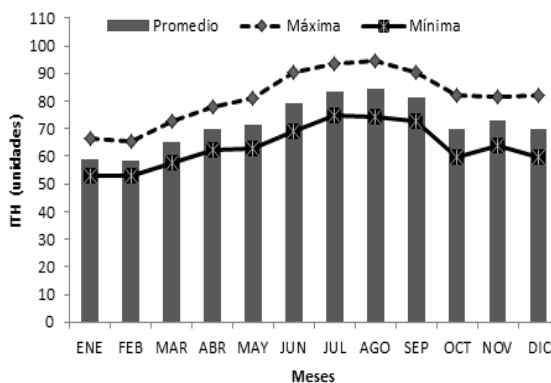
calor). Aunque cabe mencionar que dicho índice no es apropiado para ovinos, sin embargo, hasta el momento no se ha desarrollado uno específico para dicha especie.



Gráfica 1. Temperaturas promedio, máximas y mínimas diarias mensuales registradas durante el estudio

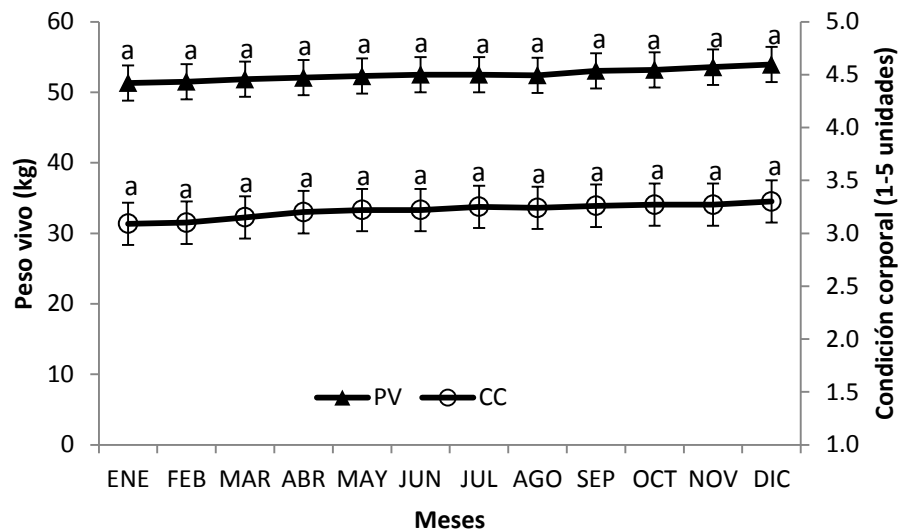


Gráfica 2. Humedad Relativa promedio, máxima y mínima mensual registrada durante el estudio.



Gráfica 3. Índice de temperatura-humedad (ITH) promedio, máximo y mínimo mensual registrado durante el estudio.

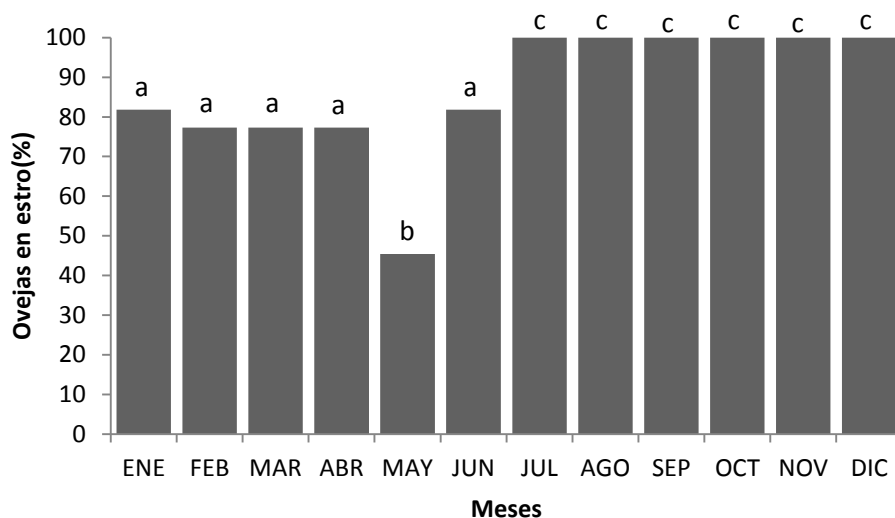
El peso vivo y la condición corporal de las ovejas incrementó 2.6 kg y 0.2 unidades, respectivamente, a través del año de estudio (Gráfica 4), sin embargo, no se observaron diferencias significativas ($P>0.05$) entre los meses para ninguna de las variables. Esto sugiere que la conducta estral circanual observada en las ovejas Pelibuey bajo las condiciones áridas del noroeste de México, fue independiente del estado corporal que presentan las ovejas. No obstante, estudios previos han demostrado que la condición corporal no es un factor que predisponga la actividad estral de ésta raza de ovinos (Heredia, 1994 y De la Isla, *et al.*, 2010).



Gráfica 4. Peso vivo (PV) y condición corporal (CC) mensual de las ovejas durante el estudio (medias \pm desviación estándar).

El porcentaje de ovejas en estro varió significativamente ($P < 0.05$) a través de los meses del año (Gráfica 5). El porcentaje de ovejas en estro fue menor ($P < 0.05$) de enero a junio (45.4 a 81.8%) que de julio a diciembre (100%). En mayo se detectó la presencia de ovejas en estro más baja ($P < 0.05$; 45.4%). Similarmente, estudios realizados al sur (De la Isla, *et al.*, 2010), centro (Arroyo, 2007) y noreste de México (Gonzales, *et al.*, 1992), han reportado una reducción en la actividad estral de ovejas Pelibuey entre los meses de enero a junio, siendo más marcada en la época de primavera. Los resultados encontrados en el presente estudio de actividad estral en la primera mitad del año, puede estar relacionada directamente con la sensibilidad que pueden presentar algunas ovejas Pelibuey a los cambios en el fotoperiodo (De la Isla, *et al.*, 2010, y Cerna, *et al.*, 2004). Además, se debe considerar que los estudios publicados previamente se realizaron en regiones donde la latitud era menor a la que tenía la región donde se desarrolló el presente trabajo. Una hipótesis a probar en este estudio era que,

las altas temperaturas de verano registradas en el noroeste de México podrían ser un factor que alteraran negativamente la conducta de estro en las ovejas Pelibuey, sin embargo, los resultados demuestran que dicha hipótesis es falsa, ya que 100% de las ovejas presentaron estro de julio a septiembre. Por lo tanto, se confirma lo señalado por De La Isla *et al.* (2010), de que las temperaturas elevadas no son un factor ambiental que condicione la actividad estrol en ovejas Pelibuey.

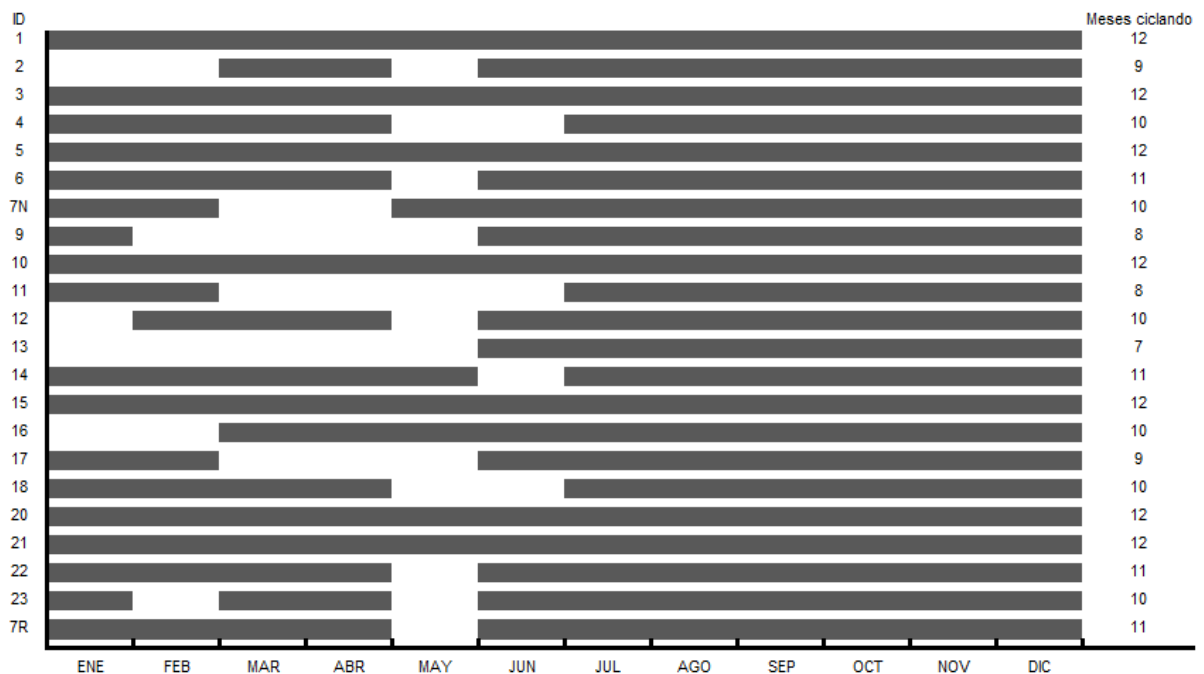


Gráfica 5. Conducta de estro mensual de ovejas de pelo (N=22)

Cabe mencionar que existe una variación muy marcada entre estudios sobre el porcentaje de ovejas Pelibuey que presentan anestro durante la época de baja actividad reproductiva. En el altiplano Mexicano reportaron entre 0 y 23.1% de ovejas adultas en anestro (Valencia, *et al.*, 2006), al noreste de país encontraron entre 42 y 76% de ovejas anéstricas (Gonzales, *et al.*, 1992), y recientemente, reportaron 55% de ovejas en anestro al sur (De la Isla, *et al.* 2010). Dichas variaciones pueden estar relacionadas con: 1) diferencias en la

latitud entre los lugares de estudio y 2) el uso del macho celadores como técnica para detección de estro. Valencia et al. (2006) mencionan que la presencia del macho durante la detección de estros ejerce un efecto estimulador sobre la actividad estral de ovejas Pelibuey.

Interesantemente se observó que 7 (31.8%) ovejas ciclaron de forma continua y 4 (18.2%) presentaron solamente anestro en un mes (Gráfica 6). En el altiplano Mexicano también reportaron dicho hallazgo en algunas ovejas Pelibuey (38.5%⁽¹⁶⁾ y 60%⁽⁵⁾). Considerando que el Valle de Mexicali se ubica a una latitud de 32° y el altiplano Mexicano a 19°, y en ambos lugares se han encontrado ovejas ciclando continuamente, se podría inferir que al menos el 30% de las ovejas Pelibuey son insensibles a los cambios naturales del fotoperiodo que se registran durante el año, cuando menos bajo condiciones de México. Esta característica reproductiva podría ser utilizada para establecer programas de selección genética y mejorar la productividad de los rebaños nacionales de ovinos Pelibuey.



Gráfica 6. Distribución individual de la presencia de estros a través del año en ovejas de pelo.

La duración del estro fluctuó entre los meses del año, pero en ninguno se observó una duración mayor a 48 h (Cuadro 1). Un mayor ($P < 0.05$) porcentaje de ovejas presentaron estros cortos (< 24 h) en febrero (64.8%) y marzo (47.0%), mientras que en junio (50.0%) y agosto (45.4%) la mayoría ($P < 0.05$) de las ovejas presentaron estros largos (> 36 y < 48 h). En el resto de los meses, las ovejas presentaron generalmente estros clasificados como de duración normal (> 24 y < 36 h; $P < 0.05$). Estas alteraciones en la duración del estro en algunos meses del año pueden estar relacionados con dos factores ambientales principalmente, las temperaturas altas y el fotoperiodo. En el Valle de Mexicali, las temperaturas de verano llegan a ser superiores a los 40° C, y la diferencia en la cantidad de horas luz entre el día más corto (21 de diciembre [10 h]) y más largo (21 de junio [14.2 h]) a través del año es de 4 h y 18 min. Así, la presencia de estros cortos en febrero y marzo pueden deberse al fotoperiodo, esto considerando que de septiembre a enero las ovejas presentaron predominantemente estros normales. Dichos meses se caracterizan por un descenso en la cantidad de horas luz en el día, lo cual favorece la actividad sexual en las ovejas. En un estudio (De la Isla, et al., 2010) realizado al sur del país, reportaron menor cantidad de folículos ≥ 4 mm entre los meses de febrero a mayo comparado con los meses de agosto a noviembre, lo cual repercute directamente en la concentración de estradiol circulante, y por consecuencia, en la duración de los signos de estro. Por otra parte, la presencia de estros largos en junio y agosto pueden deberse a las temperaturas altas que prevalecen durante la época de verano en la región de Mexicali (Jordan, 2003). No obstante, los niveles de estrógenos y la dinámica folicular no fueron medidos en las ovejas estudiadas, por lo cual futuras investigaciones deben dirigirse a dar respuesta al porque las ovejas Pelibuey presentan fluctuaciones en la duración de estro en algunos meses del año.

Cuadro 1. Distribución mensual de las ovejas en estro dentro de las diferentes longitudes de estro

	N	<24 h	>24 y <36h	>36 y <48h
Enero	18	33.3a	55.5b	11.2c
Febrero	17	64.8a	17.6b	17.6b
Marzo	17	47.0a	23.5b	29.5b
Abril	17	29.4a	35.3a	35.3a
Mayo	10	20.0a	60.0b	20.0a
Junio	18	28.9a	21.1a	50.0b
Julio	22	22.7a	50.0b	27.3a
Agosto	22	27.3a	27.3a	45.4b
Septiembre	22	9.1a	63.6b	27.3c
Octubre	22	9.1a	59.1b	31.8c
Noviembre	22	9.1a	59.1b	31.8c
Diciembre	22	18.2a	50.0b	31.8a

a,b,c letras diferentes en hilera indican diferencias significativas a $P < 0.05$.

4.6. Conclusiones

En conclusión, las ovejas Pelibuey reducen su actividad estral de enero a junio bajo las condiciones áridas del noroeste de México. Asimismo, en dicha región, las altas temperaturas prevalecientes en verano parecen no ser un factor que condicione la presencia de estro en esta raza de ovinos, pero pudiera estar interfiriendo con la duración del mismo. Finalmente, se encontró que cierta proporción de ovejas Pelibuey (~32%) son insensibles al fotoperiodo natural registrado a los 32° de latitud norte.

V. ARTÍCULO 2:

EFFECTOS DE ESTRÉS CALORICO DE VERANO SOBRE VARIABLES FISIOLÓGICAS, OVULACIÓN Y SECRECIÓN DE PROGESTERONA EN OVEJAS PELIBUEY BAJO CONDICIONES NATURALES EN UNA REGIÓN ÁRIDA

(Publicación: Animal Science Journal, 2015, aceptado)

5.1. Resumen

Diez ovejas multíparas no lactantes de raza Pelibuey fueron encerradas en un corral para evaluar los efectos de estrés térmico sobre variables fisiológicas, comportamiento estrual, ovulación y funcionalidad del cuerpo lúteo bajo condiciones naturales en una región árida. En verano y otoño, se detectaron estros diariamente con un macho provisto de mandil y se tomaron muestras de sangre durante dos ciclos estruales. Temperatura rectal y frecuencia respiratoria fueron mayor ($P < 0.01$) en verano que en otoño durante la mañana y la tarde. La estación no afectó ($P < 0.05$) peso vivo, condición corporal, longitud del ciclo estrual, y porcentaje de ovejas en esto y ovulando. En otoño las concentraciones de progesterona en suero decrecieron ($P < 0.05$) entre los días 8 y 14 del ciclo o estrual comparado con el verano. Con esto se concluye que bajo las condiciones naturales de una región árida, mientras el estro y la actividad ovulatoria de las ovejas Pelibuey no mostraron diferencia por estrés térmico, la funcionalidad del cuerpo lúteo fue decreciendo.

Palabras claves: Ovinos, raza de pelo, actividad ovulatoria, estrés térmico

**EFFECTS OF SUMMER HEAT STRESS ON PHYSIOLOGICAL VARIABLES,
OVULATION AND PROGESTERONE SECRETION IN PELIBUEY EWES UNDER
NATURAL OUTDOOR CONDITIONS IN AN ARID REGION**

5.2. Abstract

Ten non-lactating multiparous Pelibuey breed ewes were housed in a corral to evaluate the effects of summer thermal stress on physiologic variables, estrous behavior, ovulation and corpus luteum functionality under natural conditions of an arid region. In summer and autumn, daily estrous detection with a ram fitted with an apron and blood sample collections were performed during two natural estrous cycles. An environment of heat stress was detected in summer and thermoneutral in autumn. Rectal temperature and respiratory frequency were greater ($P<0.01$) in summer than in autumn during the morning and afternoon. Season did not affect ($P>0.05$) live weight, body condition, length of estrous cycle, and percentage of ewes in estrous and ovulating. Compared with autumn, serum progesterone concentrations in summer decreased ($P<0.05$) between days 8 and 14 of the estrous cycle. It is concluded that under outdoor conditions of arid regions, while estrous and ovulatory activities of Pelibuey ewes were not affected by summer thermal stress, the corpus luteum functionality was decreased.

Key word: sheep, hair breed, ovulatory activity, thermal stress

5.3. Introduction

Pelibuey sheep is a tropical hair breed widely distributed in México, Central America and the Caribbean. Consequently, its reproductive activity has been extensively characterized under tropical and subtropical environmental conditions (Arroyo, 2011). However, nowadays Pelibuey sheep is also distributed in arid and semiarid regions due to its rusticity and high adaptability to environmental conditions of heat stress (HS) (Macías-Cruz *et al.* 2010), but available information on their reproductive and productive ability under these natural environmental conditions is scarce.

In the majority arid and semiarid regions of the world, climatic conditions recorded in summer months are of HS for cattle, since high environmental temperatures in combination with low rainfall are typical scenarios of that season. It has been observed that HS causes the activation of compensatory mechanisms to regulate body temperature in sheep (Marai *et al.*, 2007). Increased respiration rate and a redistribution of blood flow toward the periphery are thermoregulatory mechanisms generally used by sheep to dissipate the excess of body heat load (Cain *et al.*, 2006). However, when these physiological mechanisms fail to dissipate the excessive heat load, the rectal temperature increases and a series of changes in biological functions are evoked, such as reduced feed intake, increased water intake, and disturbances in hormone secretions and reproductive processes (estrous behavior, ovulation, *corpus luteum* [CL] functionality, embryo implantation, and others) (Marai *et al.* 2008).

All alterations in estrous behavior and ovarian activity by HS effect in ewes may be reflected in low fertility and declined flock productivity. Nevertheless, genetic differences in heat tolerance have been observed among sheep breeds, and consequently, in the effects of HS on reproductive processes. Thus, some studies suggest that hair breed ewes have a great adaptability to high environmental temperatures without affecting drastically its estrous

activity (Gastelum-Delgado *et al.*, 2015) and fertility (Avendaño-Reyes *et al.*, 2004). In those studies, only percentage of ewes in estrous and lambing were evaluated, thus no assessment of effects of summer HS on the ovarian activity (i.e. ovulation, *corpus luteum* functionality, others) were done. On the other hand, under induced thermal stress daily by 6 h during an estrous cycle, Rodríguez *et al.* (2009) reported no evidence regarding the effect of high ambient temperatures on progesterone serum levels in Pelibuey ewes, even though Tabarez-Rojas *et al.* (2009) indicated that HS increased the proportion of Pelibuey ewes with premature luteal regression. In this sense, it is necessary to carry out more research to clarify the impact of HS on the ovulation and progesterone secretion across the estrous cycle of hair ewes, since these sheep genotypes are of great importance for production systems of arid regions. Therefore, the objective of the present study was to evaluate the effect of high summer environmental temperatures prevailing in arid regions on estrous behavior, ovulation and *corpus luteum* functionality of Pelibuey ewes under natural outdoor conditions.

5.4. Materials and methods

All animal care and management procedures involving ewes were conducted within the guidelines of approved local official technique in México (NOM-051-ZOO-1995: humanitarian care of animals during mobilization).

5.4.1. Study site

This study was conducted at the Sheep Experimental Unit of the Instituto de Ciencias Agrícolas of the UABC, located in the Mexicali Valley, northwestern México (32°24' N and 115°22' W). The climate is arid and dry, with environmental conditions very similar to those of the Sonoran Desert. The highest and the lowest temperatures recorded during summer and

winter seasons are 50 and -5° C, respectively, and the presence of rainfalls is scarce (annual average of 85 mm; García, 1985).

5.4.2. Animal and management

The experiment was performed from July 3 to December 17, 2012. A total of 10 non-lactating multiparous adult ewes of the Pelibuey hair breed were selected from a sheep flock based in their live weight (LW; 53.2 ± 1.2 kg), body condition score (BCS; 3.2 ± 0.1 units; Rusell *et al.*, 1969) and age (4 to 5 years). Throughout the whole experiment, ewes were confined to a pen (5 x 6 m) equipped with feed and drinking troughs, as well as shade (12.5 m²) made of galvanized sheet and located in the center of the pen at 2.5 m height. Walls of the corral were built with sheep mesh, which ensured an adequate movement of air flow.

Ewes were fed 1.0 kg/d of chopped dry forage (50% wheat straw and 50% alfalfa hay), which covered nutritional requirements for maintenance of mature ewes (7.0% of CP and 1.8 Mcal of ME/kg of DM) indicated by NRC (2007). The forage was offered by the morning (7:00 h) and afternoon (17:00 h) in a 50:50 proportion. Fresh water was available all the time.

5.4.3. Treatments and measurements

Treatments were represented by environmental conditions recorded in summer or autumn, so the environment that experimented ewes in summer was considered as of HS while in autumn as thermoneutral. The sampling period in summer was from July 3 to August 18, and in autumn from November 1 to December 12. Averages of temperature (T), relative humidity (RH) and temperature-humidity index (THI) were 36.5° C, 32.4% and 82.7 units, respectively, for the summer experimental season, and 19.6° C, 28.4% and 63.4 units, respectively, for the autumn experimental season (Table 1). Environmental T and RH recorded

during experiment were obtained from the University's Weather Station. With this climatic information, the THI was calculated using the formula proposed by Hahn (1999):

$$\text{THI} = 0.81 \times T + \text{RH} (T - 14.4) + 46.40$$

Physiological variables as rectal temperature and respiratory rate were individually measured twice per week during the morning (800 h) and afternoon (1600 h) on each experimental period (about 7 weeks/season). A digital thermometer (DeltaTrak, CA®, USA) was introduced rectally during a minute to record rectal temperature, while the respiratory rate was determined as the number of breaths per minute. Additionally, ewes were weighed at the beginning and end of the experimental period on each season; also, BCS was simultaneously measured using the scale (1 to 5) proposed by Russell *et al.* (1969). Likewise, estrous behavior, ovulation and CL functionality were individually measured in two consecutive natural estrous cycles on each season. The estrous behavior in ewes was determined using two rams fitted with an apron, while ovulation and CL functionality were determined by blood progesterone (P₄) concentration. Every day, rams were introduced into the corral of ewes during 30 min, in the morning and afternoon, and was considered that an ewe presented estrous signs when remained without reflection to the mating of the ram. Ewes detected in estrous were recorded and separated from the group until the end of estrous detection on each day time. In addition, blood samples from the jugular vein were individually collected on days 2, 5, 8, 11, 14 and 17 after presentation of estrous signs (d 0). Samples were centrifuged at 3500 g for 15 min at 10° C to separate the serum, which was deposited and stored in 2-ml vials by duplicate at -20° C until P₄ analysis. The serum P₄ quantification was performed through an ELISA technique using a validated commercial kit (Monobind Inc., Lake Forest, CA, USA), which had a sensibility of 0.105 ng/mL and an average coefficient of variation between and within assays

of 7.1%. It was considered that an ewe ovulated when P₄ levels were >1.0 ng/ml in 2 consecutive samplings (Arroyo *et al.*, 2007).

From the information collected, percentages of ewes in estrous, length of estrous cycle (time interval between an estrous and the subsequent estrous) and percentages of ewes ovulating for each cycle and overall were calculated. Also, average P₄ concentrations per day considering both cycles were individually obtained in ewes.

5.4.4. Statistical analysis

Live weight, BCS and length of estrous cycle were analyzed under a completely randomized design, considering season as the treatment. Physiological variables (AM and PM) and serum P₄ concentrations were analyzed with the same design but using repeated measures over time; the model included effects of season, time (week or day of the estrous cycle) and the interaction between main factors. Mean comparisons were performed with the option PDIFF when significant differences were detected at $\alpha=0.05$. Variables expressed in percentages (ewes ovulating and ewes in estrous) were analyzed with chi-square test. Analyses of variance were performed with the MIXED procedure and chi-square tests with the FREQ procedure, both using SAS program (2004; SAS Institute Inc. Cary, NC, USA).

5.5. Results

Table 2 and Figure 7 show climatic conditions recorded during experimental periods for summer and autumn. Temperature and THI averages in the summer experimental season were 36.1° C and 82.7 units, respectively, while in autumn season were 19.1° C and 63.4 units, respectively (Table 1). In general, THI values experienced by ewes during 24 hours of the day in summer were ≥ 79 (79 to 86) units, while in autumn were ≤ 68 (58 to 68) units (Figure 1).

Table 2. Climatic conditions during the experiment period of summer and autumn

Item	Average	Maximum	Minimum
Autumn			
Temperature (°C)	19.6	25.5	14.1
Relative Humidity (%)	28.4	45.1	14.4
Temperature-Humidity Index (units)	63.4	71.6	57.6
Summer			
Temperature (°C)	36.5	43.0	30.1
Relative Humidity (%)	32.4	55.8	15.8
Temperature-Humidity Index (units)	82.7	96.6	73.0

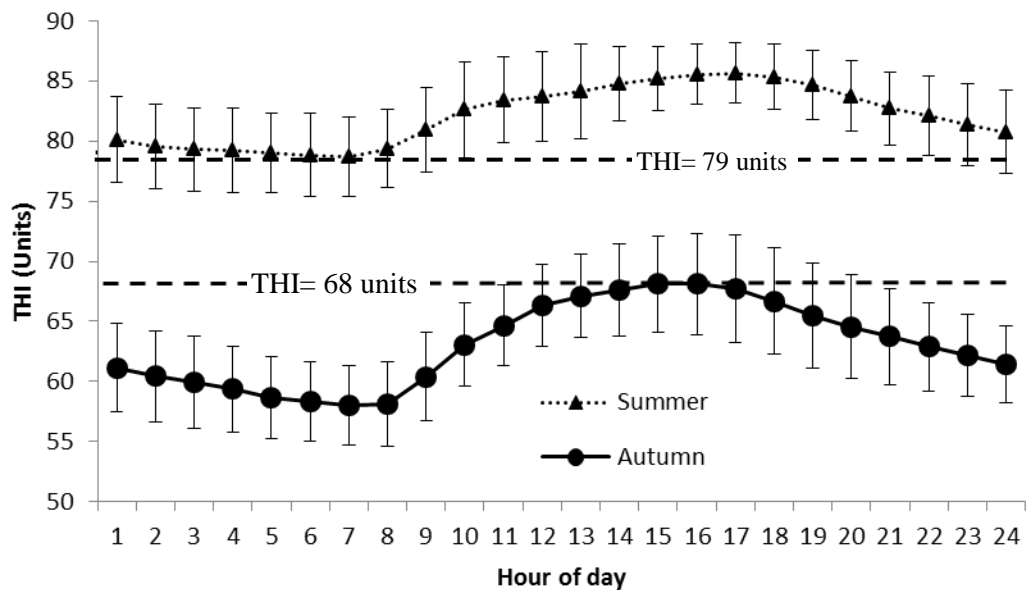


Figure 7. Diurnal patterns of the temperature-humidity index (THI) during sampling periods of summer and autumn (means \pm SD).

In Figures 8 and 9 are shown results of season x week interaction on physiological variables. Rectal temperatures (Figure 8) and respiratory rates (Figure 9) at 800 and 1700 h were higher ($P<0.01$) across the weeks in summer compared with autumn. In average, ewes had 0.5°C more rectal temperature in summer both in the morning and afternoon. Additionally, the respiratory rate in the morning was higher by 20 breaths/min in summer than in autumn, while in the afternoon the difference was by 112 breaths/min also in favor of summer.

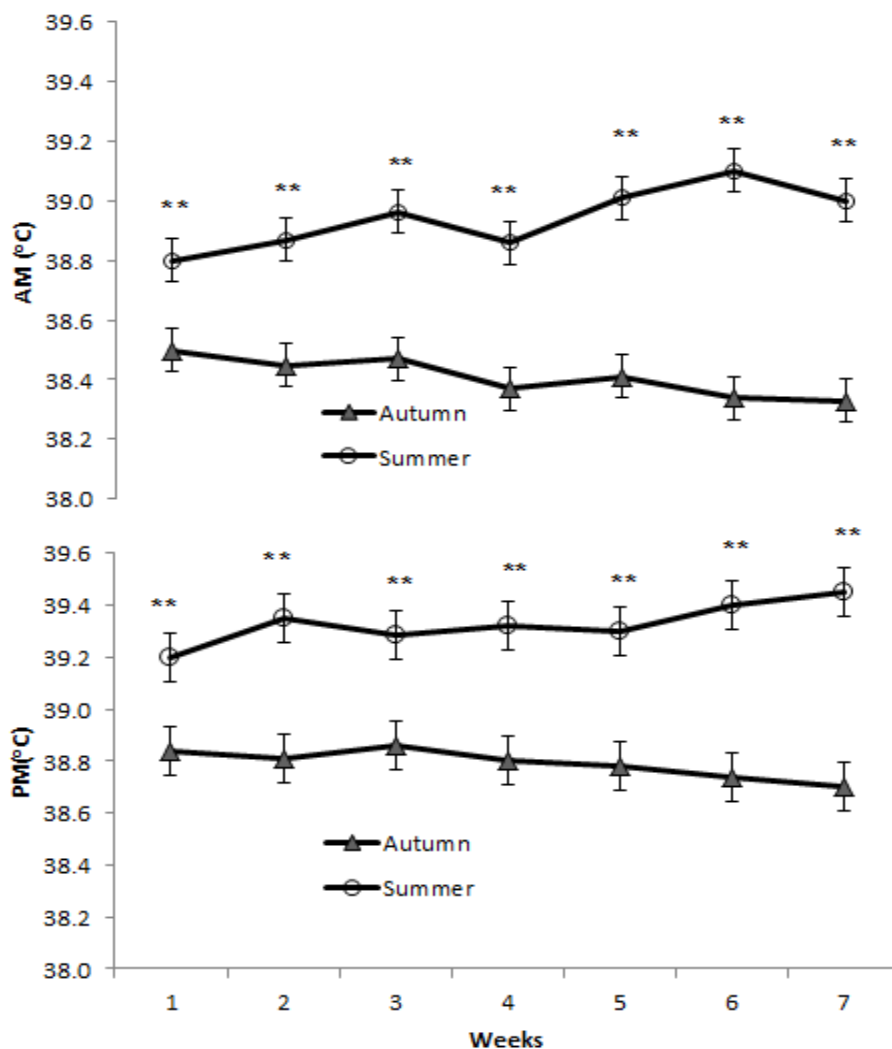


Figure 8. Rectal temperature recorded weekly by the morning and afternoon during summer and autumn in hair ewes (Differences for each time point are shown with ** $P<0.01$).

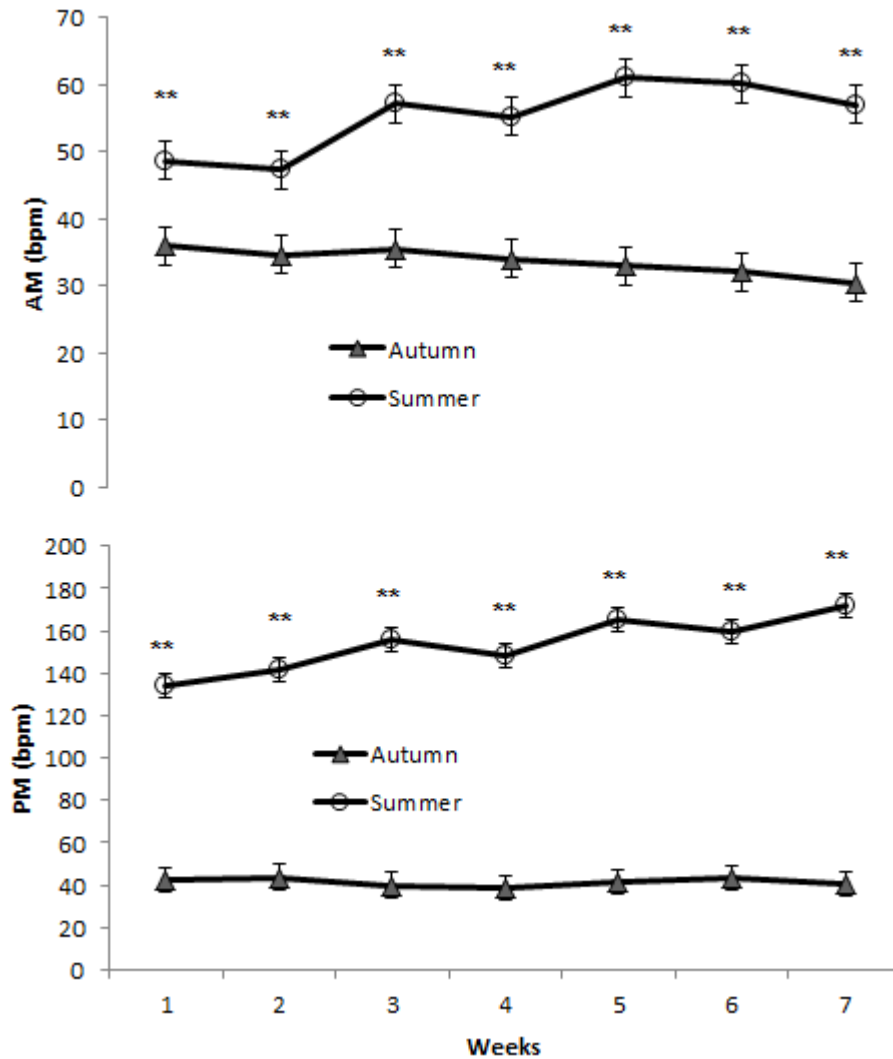


Figure 9. Respiratory rate recorded weekly by the morning and afternoon during summer and autumn in hair ewes (Differences for each time point are shown with ** P<0.01).

Table 3 shows results of LW, BCS and overall reproductive activity by season of the year. Initial or final LW and BCS were not affected by season (P>0.05). Both LW and BCS were also similar (P>0.05) at the start and end of the experiment period of each season. All ewes presented estrous signs and ovulated in both estrous cycles of each season (P>0.05); consequently, overall percentages of ewes in estrous and ovulating were similar (P>0.05)

between summer and autumn. The average length of the estrous cycle was of 17.5 ± 0.5 d, with no season effect ($P>0.05$).

Table 3. Live weight, body condition score and reproductive activity of Pelibuey breed ewes during summer and autumn

	Season		SEM
	Autumn	Summer	
Live weight (kg)			
Initiation	53.6	53.4	1.2
End	53.3	54.1	1.4
Body condition score			
Initiation	3.3	3.2	0.15
End	3.3	3.3	0.12
Overall reproductive activity			
Ewes ovulating (%)	10/10 (100)	10/10 (100)	---
Ewes in estrous (%)	10/10 (100)	10/10 (100)	---
Length of estrous cycle (d)	17.3	17.7	0.5

No differences ($P>0.05$) were observed between seasons in any variable.

For live weight and body condition score, no differences ($P>0.05$) were observed between the initiation and termination of the experimental period each season.

In Figure 10 are shown results of CL functionality based on serum P_4 levels by effect of season of the year. There was a significant interaction effect ($P<0.05$) between season and days of the estrous cycle for P_4 concentration. At days 2, 5 and 17 of the estrous cycle, P_4

levels did not differ ($P>0.05$) between seasons, but between days 8 and 14 of the cycle were higher ($P<0.05$) in autumn compared to summer. The highest ($P<0.05$) serum P_4 concentration was detected at d 11 of the cycle, in both summer (7.9 ± 0.48 ng/ml) and autumn (10.1 ± 0.48 ng/ml) seasons.

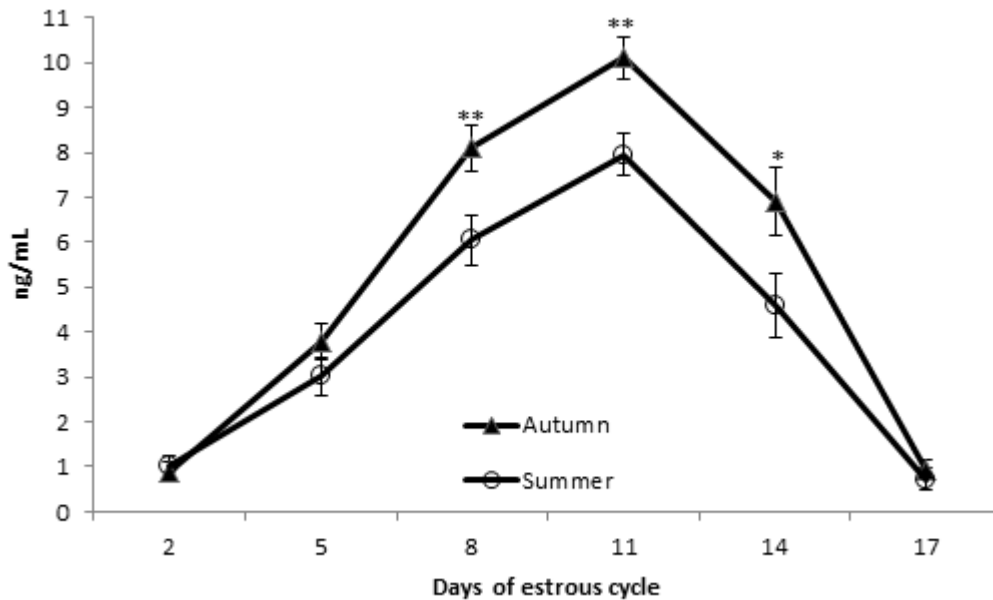


Figure 10. Serum progesterone concentrations (means \pm SEM) during the estrous cycle of Pelibuey ewes by effect of season under natural conditions (Differences for each time point are shown with * $P<0.05$ and ** $P<0.01$).

5.6. Discussion

The THI is a climatic variable widely used to determine the HS level imposed on the animal. In sheep, an average THI of 72 units is an indicative of initiation of HS according to Marai *et al.* (2007). However, a more recent study revealed that around 79 units is the starting point to consider HS conditions in hair sheep (Neves *et al.* 2009). Moreover, the same study indicated that hair breeds may experience HS at temperatures above 30° C. Therefore, ewes

were in HS environmental condition during the complete summer experimental season, while in autumn was considered thermoneutral. It is remarkable that during summer ewes were under a permanent heat stress during the 24 hours of the day, so we may consider this condition as a chronic heat stress.

The summer HS conditions provoked that rectal temperature and respiratory rate of ewes increased during the morning and afternoon, compared with autumn, which suggest that ewes suffered a thermal stress. According to these, previous studies done in hair (Neves *et al.*, 2009; Tabarez-Rojas *et al.*, 2009; Romero *et al.*, 2013) and wool (Marai *et al.*, 2007; Alhidary *et al.*, 2012) breeds also indicated an increase in average values of these physiological variables because of the high environmental temperatures. Increased rectal temperature by HS effect was attributed to the body heat gain from the elevated environment temperatures and metabolic heat production, while the result of respiratory frequency reflects a physiological adjustment done by ewes to dissipate the excess of body heat (Silanikove 2000). Marai *et al.* (2007) mention that the main cooling mechanism in heat-stressed sheep is the respiratory evaporation. In fact, it is estimated that a sheep loses about 60% of the total body heat through respiration when the environment temperature is above 35°C (Thompson, 1985).

On the other hand, when physiological mechanisms fail to prevent hyperthermia in sheep, feed intake decreases immediately as an adaptive response in order to reduce the heat generated by ruminal fermentation and body metabolism, and thus to contribute to the maintenance of homoeothermia conditions (Cain *et al.* 2006). This situation may provoke loss of weight and a negative change in the body appearance of ewes (Alhidary *et al.*, 2012). However, in the present study, high summer temperatures did not affect the body status of ewes, since LW and BCS remained relatively constant during summer season, and in general, between seasons. Other studies in this arid region of México also reported that high summer

temperatures did not cause loss of body weight or condition in Pelibuey adult ewes (Gastelum-Delgado *et al.*, 2015) or ewe lambs crosses of Pelibuey with Dorper or Katahdin (Macías-Cruz *et al.*, 2013). Similarly, adult Malpuras ewes, a breed adapted to warm climates, did not show any effect of induced HS (40°C by 6 h/d) on live weight, but it was an effect of induced HS combined with nutritional restriction (Sejian *et al.*, 2011). This study concluded that hyperthermia conditions did not adversely affect the body mass of sheep breeds fed adequately and adapted to warm climates, situation that also can be used to explain our results. Pelibuey sheep is a rustic breed developed in tropical regions with high adaptation to HS environment conditions (Wildeus, 1997). Additionally, the absence of weight loss and the ability to maintain rectal temperature within a normal range (38.3 to 39.9°C; Marai *et al.*, 2007) under summer thermic stress, suggest that this hair breed is very efficient to dissipate body heat through physiological mechanisms.

It is noteworthy that, as in this study, several researches have indicated the high adaptation of Pelibuey ewes to heat stress conditions (Rodríguez *et al.*, 2009; Romero *et al.*, 2013); however, little information has been elucidated on physiological, metabolic or endocrinological mechanisms of thermoregulation used by them. Some studies state that, compared with wool breed, hair sheep breeds can easily adapt to high environmental temperatures because they tend to reduce their metabolic heat production and their breathing is slower and deeper (Ross *et al.*, 1985; Romero *et al.*, 2013), likewise, they have high synthesis of HSP-70 in their cells (Romero *et al.*, 2013). Results of this study suggest that the elevated respiratory rate may operate as a physiological adaptation mechanism to dissipate body heat in thermal-stressed Pelibuey ewes.

Climatic conditions seem to play an important role in controlling reproductive seasonality in small ruminants. While photoperiod is the main environmental factor regulating

circadian and seasonal rhythms of the estrous and ovulatory activity in ewes, changes in temperature may alter endocrine and molecular mechanisms that regulate circannual rhythmicity of these reproductive events (Marai *et al.*, 2008). As a result, several studies conducted in sheep (Naqvi *et al.*, 2004; Sejian *et al.*, 2011; Moura *et al.*, 2014) and cattle (De Rensis y Scaramuzzi 2003; Bernabucci *et al.*, 2010) have demonstrated that thermal stress causes a series of failures in the estrous behavior of females such as poor estrous expression, delayed on its onset, and presence of estrous signs during short periods. Likewise, at ovary level, follicular growth, follicular dominance and ovulation can be impaired by HS effect in these species (Marai *et al.*, 2008). However, these findings are not consistent with our results given that the percentages of Pelibuey ewes in estrous and ovulating were similar between summer (HS conditions) and autumn (reproductive season), observing 100% in both seasons. This discrepancy in results could be attributed to the fact that wool breed ewes were mainly used in these previous studies (breeds not adapted to warm climates); meanwhile, in the present study hair breed sheep were used (adapted to HS). Compared with wool breeds, hair sheep breeds have showed enhanced thermoregulatory mechanisms which allow them a greater tolerance to increasing environmental temperatures (Tabarez-Rojas *et al.*, 2009; Romero *et al.* 2013). Other possible reason of the lack of HS effect on the presence of estrous and ovulation in Pelibuey ewes may be the low number of animals used; consequently similar studies involving larger sample size should be carried out to confirm our findings. Although, in agreement with these results, Rodriguez *et al.* (2009) reported that induced HS in climate chamber (35° C by 6 h/d) did not affect the estrous response and ovulation in Pelibuey ewes synchronized with progesterone and a luteolytic at the end of the protocol.

Pelibuey ewes also presented similar length of estrous cycle in summer and autumn, which suggest that the duration of this cycle was not affected by summer HS in this breed.

Published studies have not reported results close to this finding in hair ewes; however, in Malpura ewes, a breed adapted to arid regions in India, Sejian *et al.* (2011) found that HS did not alter the duration of the estrous cycle.

Many efforts have been directed to explain the HS effect on secretion of reproductive steroid hormones in ewes and cattle. However, results are controversial, mostly regarding P₄. Thus, while majority of studies reported higher (Marai *et al.*, 2004; Sejian *et al.*, 2011; 2012) serum P₄ concentrations during the estrous cycle by HS effect in sheep breeds other than Pelibuey, further studies indicated that thermal stress did not alter the secretion of this hormone (Ali and Hayder 2008). Similarly, in a study completed with Pelibuey and Suffolk ewes, Rodríguez *et al.*, (2009) reported that P₄ concentrations measured across the estrous cycle were not affected by HS induced in environmental chamber (6 h/d to 35°C and 35% of temperature and HR, respectively). However, all these results are opposite to the obtained in the present study in which ewes decreased blood P₄ level under summer thermal stress compared to autumn thermoneutral environment. In fact, ewes presented 25.3, 21.3 and 33.6% more serum P₄ at days 8, 11 and 14 of the estrous cycle in autumn compared with summer, respectively, which suggests that the CL in Pelibuey ewes have reduced release of P₄ hormone under high summer temperatures in arid regions. However, the mechanism by which thermal stress reduced serum P₄ levels in these sheep are unknown. It is possible that this inconsistency between our results of P₄ and those previously published for Pelibuey can be due to the type of stress and exposure period. In this regard, Wolfenson *et al.* (2000) mention that P₄ production is lower under conditions of chronic HS, but higher under acute HS. Additionally, Tabarez-Rojas *et al.* (2009) found a high presence of Pelibuey ewes with premature luteal regressions when HS was induced (THI= 82 units). Thus, Pelibuey ewes in this study had low P₄ concentrations across the estrous cycle during summer because natural

environmental conditions in that season were of chronic thermal stress. Consistent with these results, Wolfenson *et al.* (2000) and Ronchi *et al.* (2001) reported reduced blood concentrations of P4 hormone in heat-stressed dairy cattle.

In general, findings of this study showed that high ambient temperature registered under outdoor climate conditions in arid regions is not a factor that suppresses the reproductive cyclicity of multiparous Pelibuey ewes since 100% of ewes presented estrous signs and ovulated, both under chronic HS of summer and during the natural reproductive season (autumn) in the zone of study. Contrarily, the capacity of the *corpus luteum* to secrete progesterone hormone was reduced by effect of summer thermal stress.

5.7. Conclusions

In general, findings of this study showed that high ambient temperature registered under outdoor climate conditions in arid regions is not a factor that suppresses the reproductive cyclicity of multiparous Pelibuey ewes since 100% of ewes presented estrous signs and ovulated, both under chronic HS of summer and during the natural reproductive season (autumn) in the zone of study. Contrarily, the capacity of the *corpus luteum* to secrete progesterone hormone was reduced by effect of summer thermal stress.

VI. CONCLUSIONES GENERALES

Este es el primer estudio donde se evaluó la actividad reproductiva de ovinos Pelibuey bajo condiciones de un clima árido y a una latitud norte mayor a 32°, muy cercana a la latitud de 35° donde han observado que inicia la presencia de una marcada estacionalidad reproductiva en los ovinos.

En general, los resultados del presente estudio dan suficiente evidencia para concluir que, bajo condiciones áridas del noroeste de México (32° LN), la actividad reproductiva de las ovejas Pelibuey es continua a través del año con una ligera reducción de enero a junio, sin que esto se llegue a considerar un anestro profundo como se presenta en razas de lana. Asimismo, que las condiciones de estrés calórico registradas durante la época de verano no son un factor que regulen la actividad reproductiva en este tipo de ovejas, no obstante si tiene un efecto negativo sobre la capacidad del cuerpo lúteo para sintetizar progesterona. Futuros estudios se requerirán hacer para conocer si esta reducción en la funcionalidad del cuerpo lúteo por efecto de las elevadas temperaturas de verano, promueve una fertilidad baja como consecuencia de un incremento en las pérdidas embrionarias y/o fetales.

VII. LITERATURA CITADA

- Alhidary, I. A., S. Shini, R. A. M. Al Jassim, and J. B. Gaughan. 2012. Physiological responses of Australian Merino wethers exposed to high heat load. *J. Anim. Sci.* 90:212-220.
- Ali, A., and M. Hayder. 2008. Seasonal variation of reproductive performance, foetal development, and progesterone concentration of sheep in the subtropics. *Reprod. Domest. Anim.* 43:730-734.
- Alila, H. W., and J. P. Dowd. 1997. The control of corpus luteum function in domestic ruminant: A Review. *J. Reprod. Biol.* 13:203-237.
- Al-Katanani, Y. M., F. F. Paula-Lopez, and P. J. Hansen. 2002. Effect of season and exposure to heat stress on oocyte competence in Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 85:390-396.
- Arendt, J. 1998. Melatonin and the pineal gland: influence on mammalian seasonal and circadian physiology. *Rev. Reprod.* 3:13-22.
- Arias, R. A., T. L. Mader, y P. C. Escobar. 2008. Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado bovino de carne y leche. *Revisión Bibliográfica. Arch. Med. Vet.* 40:7-22.
- Arroyo L. J., J. Gallegos-Sánchez, A. Villa-Godoy, J. M. Berruecos, G. Perera, and J. Valencia. 2007. Reproductive activity of Pelibuey and Suffolk ewes at 19° north latitude. *Anim. Reprod. Sci.* 102:24-30.
- Arroyo, L. J. 2011. Estacionalidad reproductiva de la oveja en México. *Trop. Subtrop. Agroecosyst.* 14:829-845.

- Arteaga-Castelán, J. D. 2014. UNO: El mejoramiento ovino. Proc. II día del ovicultor sonorenses. Hermosillo, Sonora. 87:13-14.
- Arthur, G.H., D. E. Noakes, y H. Pearson. 1991. Reproducción y Obstetricia en Veterinaria (Teriogenología). 6TM Ed., Editorial Interamericana, McGraw-Hill, Madrid. Pp. 180.
- Avendaño, L., F. D. Álvarez, L. Salomé, A. Correa, L. Molina, y F. J. Cisneros. 2004. Evaluación de algunos rasgos productivos del borrego Pelibuey en el noroeste de México. Resultados preliminares. Rev. Cub. Cienc. Agr. 38:131-136.
- Barrell, G. K., L. A. Thrun, M. E. Brown, C. Viguié, and F. J. Karsch. 2000. Importance of photoperiodic signal quality to entrainment of the circannual reproductive rhythm of the ewe. Biol. Reprod. 63:769-774.
- Bartlewski, M. P., T. E. Baby, and J. L. Giffin. 2011. Reproductive cycles in sheep. Anim. Prod. Sci. 124:259-268.
- Bell, A. W., B. W. McBride, R. Slepetis, R. J. Early, and W. B. Currie. 1989. Chronic heat stress and prenatal development in sheep: I. Conceptus growth and maternal plasma hormones and metabolites. J. Anim. Sci. 67:3289-3299.
- Bernabucci, U., N. Lacetera, L. H. Baumgard, R. P. Rhoads, B. Ronchi, and A. Nardone. 2010. Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. Anim. 4:1167-1183.
- Bittman, E. L. 1983. Role of the pineal gland in ovine photoperiodism: Regulation of seasonal breeding and negative feedback effects of estradiol upon luteinizing hormone secretion. Endocrinology 113:329-336.
- Bridges, P. J., M. A. Brusie, and J. E. Fortune. 2005. Elevated temperature (heat stress) in vitro reduces androstenedione and estradiol and increases progesterone secretion by follicular cells from bovine dominant follicles. Domestic. Anim. Endocrin. 29:508-522.

- Bronson, F. H., and P.D. Heideman. 1994. Seasonal regulation of reproduction in mammals. In: The physiology of reproduction (eds E. Knobil & J. D. Neill), 2nd edn. New York. NY: Raven Press.
- Cain I. I. I. J. W., P. R. Krausman, S. Rosenstock, and J. C. Turner. 2006. Mechanisms of thermoregulation and water balance in desert ungulates. *Wildlife Soc. B.* 34:570-581.
- Castillo, H., H. Roman-Ponce, and M. Berruecos. 1974. Características de crecimiento del borrego Tabasco 1. Efecto de la edad y peso al destete y su influencia sobre la fertilidad de la madre. *Tec. Pecu. Méx.* 20:52-56.
- Castillo, H., M. Valencia, and J. M. Berruecos. 1972. Comportamiento reproductivo del borrego Tabasco mantenido en clima tropical y subtropical. *Tec. Pecu. Méx.* 20:52-56.
- Cena, K., and J. L. Monteith. 1975a. Transfer processes in animal coats. I. Radiative transfer C. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Biol. Sci.* 188:377-393.
- Cena, K., and J. L. Monteith. 1975b. Transfer processes in animal coats. II. Conduction and convection. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Biol. Sci.* 188:395-411.
- Cerna, C. C., A. A. Porras, Q. L. A. Zarco and M. J. Valencia. 2004. Efecto del fotoperiodo artificial sobre el reinicio de la actividad ovárica postparto en la oveja Pelibuey. *Vet. Méx.* 35:179-185.
- Cerna, C., A. Porras, M. J. Valencia, G. Perera, and L. Zarco. 2000. Effect of an inverse subtropical (19°13'N) photoperiod on ovarian activity, melatonin and prolactin secretion in Pelibuey ewes. *Anim. Reprod. Sci.* 61:511-525.
- Chemineau, P., D. Guillaume, M. Migaud, J. C. Thiéry, M. T. Pellicer-Rubio, and B. Malpoux. 2008. Seasonality of Reproduction in Mammals: Intimate Regulatory Mechanisms and Practical Implications. *Reprod. Domest. Anim.* 43:40-47.

- Collier, R. J., D. K. Beede, W. W. Thatcher, L. A. Israel, and C. J. Wilcox. 1982. Influences of environment and its modification on dairy animal health and production. *J. Dairy Sci.* 65:2213-2218.
- Correa, M. P. C., M.T. Cardoso, M. Castanheira, A.V. Landim, B.S.L. Dallago, H. Louvandini, and C. McManus. 2012. Heat tolerance in three genetic groups of lambs in central Brazil. *Small Ruminant Res.* 104:70-77.
- Cruz, L. C., S. Fernández-Baca, L. J. Álvarez, y R. H. Pérez. 1994. Variaciones estacionales en la presentación de la ovulación, fertilización y sobrevivencia embrionaria de ovejas Tabasco en el trópico húmedo. *Vet. Méx.* 25:23-27.
- De la Isla, H. G., L. J. R. Aké, B.A. Avala, y A. González-Bulnes. 2010. Efecto de la condición corporal y la época del año sobre el ciclo estral, estro, desarrollo folicular y tasa ovulatoria en ovejas Pelibuey mantenidas en condiciones de trópico. *Vet. Méx.* 41:167-175.
- De Rensis, F., and R. J. Scaramuzzi. 2003. Heat stress and seasonal effects on reproduction in the dairy cow – A review. *Theriogenology* 60:1139-1151.
- Dobson, H., C. Fergani, J. E. Routly, and R. F. Smith. 2012. Effects of stress on reproduction in ewes. *Anim. Reprod. Sci.* 130:135-140.
- Esqueda, C. M. H. y R. E. Gutiérrez. 2009. Producción de ovinos de pelo bajo condiciones de pastoreo intensivo en el Norte de México. INIFAP. ISBN 978-607-425-217-0. En: <http://www.inifap-nortecentro.gob.mx/files/biblioteca/LIBROOVINOS.pdf> (accesado en 17 de diciembre de 2014).
- García, E. 1985. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana, 2nd Ed. Instituto de Geografía, UNAM, México, DF.

- Gastélum-Delgado, M. A., L. Avendaño-Reyes, F. D. Álvarez-Valenzuela, A. Correa-Calderón, C. A. Meza-Herrera, M. Mellado, and U. Macías-Cruz. 2015. Conducta estral circannual ovejas Pelibuey bajo condiciones áridas del Noroeste de México. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.* 6:109-118.
- Gaughan, J. B., S. M. Holt, G. L. Hahn, T. L. Mader, and R. Eigenberg. 2000. Respiration rate- Is it a good measure of heat stress in cattle? *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* 13:329-332.
- Gauthier, D. A., A. T. Lafón, A. Tommbs, J. Hoth, and E. Wiken. 2003. Grasslands. Toward a North American Conservation Strategy. Commission for Environmental Cooperation. Canadian Plains Research Center Univ. of Regina. Montreal, Canadá. Pp. 99.
- Gauthier, D., A. Yaouanc, J. Cochaud, and P. Mauleon. 1981. Influence d'une sous-alimentation de la vache allaitante sur l'induction de l'ovulation par l'hormone gonadotrope serique (PMSG) au cours du postpartum. *Reprod. Nutr. Dev.* 21:577-583.
- Gilad, E., R. Meidan, A. Berman, Y. Graber, and D. Wolfenson. 1993. Effect of heat stress on tonic and GnRH-induced gonadotrophin secretion in relation to concentration of oestradiol in plasma of cyclic cows. *J. Reprod. Fert.* 99:315-321.
- González-Reyna, A., B. D. Murphy, and W. C. Foot. 1992. Circannual estrous variations and ovulation rate in Pelibuey ewes. *Small Ruminant Res.* 8:225-232.
- González-Reyna, A., J. Valencia, W. C. Foot, and B. D. Murphy. 1991. Hair sheep in México: Reproduction in the Pelibuey sheep. *Anim. Breeding Abstr.* 59:509-524.
- González-Reyna, A. and B. D. Murphy. 1987. Circannual ovulation rate and oestrous cyclicity in Pelibuey ewes. *J. Anim. Sci.* 65:221.
- Goppelt-Struebe, M. 1997. Molecular mechanisms involved in the regulation of prostaglandin biosynthesis by glucocorticoids. *Biochem. Pharmacol.* 53:1389-95.

- Gwazdauskas, F. C., W. W. Thatcher, C. A. Kiddy, M. J. Paape, and C. J. Wilcox. 1981. Hormonal patterns during heat stress following PGF₂,-tam salt induced luteal regression in heifers. *Theriogenology* 16:271-285.
- Hafez, E. S. E., and B. Hafez. 2002. Reproduccion e inseminación artificial. 7ª Ed. McGraw Hill Interamericana editors. Pp. 25-30.
- Hahn, G. L. 1999. Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. *J. Dairy Sci.* 82:10-20.
- Hales, J. R. S., and G. D. Brown. 1974. Net energetic and thermoregulatory efficiency during panting in the sheep. *Comp. Biochem. Physiol.* 49:413-422.
- Hansen, P. J., M. Drost, R. M. Rivera, F. F. Paula-Lopes, Y. M. Al-Katanani, C. E. Krininger, and C. C. Chase. 2001. Adverse impact of heat stress on embryo production: causes and strategies for mitigation. *Theriogenology* 55:91-103.
- Hansen, P. J., and C. F. Aréchiga. 1999. Strategies for managing reproduction in the heat-stressed dairy cow. *J. Dairy Sci.* 77:36-50.
- Heredia, A. M. 1994. Determinación de la época de menor actividad estral de las ovejas Pelibuey en el trópico [tesis Maestría]. México, DF: UNAM.
- Heredia, A., T. M. Menéndez, and M. A. Velázquez. 1991. Factores que influyen en la estacionalidad reproductiva de la oveja Pelibuey. *Memorias de la Reunión Nacional de Investigación Pecuaria*. Cd. Victoria, Tamaulipas, México. Pp. 115-117.
- Hernández-Cerón, J., Jr. C. C. Chase, and P. J. Hansen. 2004. Differences in Heat Tolerance Between Preimplantation Embryos from Brahman, Romosinuano, and Angus Breeds, *J. Dairy Sci.* 87:53-58.
- Horowitz, M. 2002. From molecular and cellular to integrative heat defense during exposure to chronic heat. *Comp. Physiol. Bioch.* 131:475-483.

- INEGI, 2007. Censo Agrícola, Ganadero y Forestal 2007. Unidades de producción con uso de tecnología en ganado ovino, según tipo de tecnología empleada por entidad y Municipio. En: www.inegi.org.mx/sistemas/TabuladosBasicos/Default.aspx?c=17177&s=est. (Accesado el 8 de noviembre 2014).
- Jordan, E. R. 2003. Effects of heat stress on reproduction. *J. Dairy Sci.* 86:104-114.
- Karagiannidis, A., S. Varsakeli, C. Alexopoulos, and I. Amarantidis. 2000. Seasonal variation in semen characteristics of Chios and Friesian rams in Greece. *Small Ruminant Res.* 37:125-130.
- Karsch, F. J. 1988. Characteristics of the melatonin signal that provide the photoperiodic code for the timing seasonal reproduction in the ewe. *Reprod. Nut. Dev.* 28:459-472.
- Karsch, F. J., J. E. Robinson, C. I. J. Woodfill, and M. B. Brown. 1989. Circannual cycles of luteinizing hormone and prolactin secretion in ewes during prolonged exposure to a fixed photoperiod: Evidence for an endogenous reproductive rhythm. *Biol. Reprod.* 4:1034-1046.
- Khodaei-Motlagh, M., A. S. Zare, R. Masoumi, and D. Fabio. 2011. Alterations in reproductive hormone during heat stress in dairy cattle. A Review. *Afr. Biotech.* 29:5552-5558.
- Kriegsfeld, L. J., U. Takayoshi, G. E. Bentley, and T. Kazuyoshi. 2014. Seasonal control of gonadotropin-inhibitory hormone (GnIH) in birds and mammals. *Front. Neuroendo.* In press.
- LPHSI, 1990. Livestock and Poultry Heat Stress Indices Agriculture Engineering Technology Guide. Clemson University, Clemson, SC 29634, USA.
- Macías-Cruz, U., F. D. Álvarez-Valenzuela, J. Rodríguez-García, A. Correa-Calderón, N. G. Torrentera-Olivera, L. Molina-Ramírez and L. Avendaño-Reyes. 2010. Growth and

- carcass traits in pure Pelibuey lambs and crosses F1 with Dorper and Katahdin breeds in confinement. *Arch. Med. Vet.* 42:147-154.
- Macías-Cruz, U., L. Avendaño-Reyes, F. D. Álvarez-Valenzuela, N. G. Torrentera-Olivera, C. A. Meza-Herrera, M. Mellado-Bosque y A. Correa-Calderón. 2013. Crecimiento y características de la canal de corderas tratadas con clorhidrato de zilpaterol durante primavera y verano. *Rev. Mex. Cien. Pecu.* 4:1-12.
- Madan, M. L., and H. D. Johnson. 1973. Environmental heat effects on bovine luteinizing hormone. *Anim. Reprod. Sci.* 13:1420-1423.
- Mader, T. L., M. S. Davis, T., and Brown-Brandl. 2006. Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 84:712-719.
- Malayer, J. R., and Hansen, P. J. 1990. Differences between Brahman and Holstein cows in heat-shock induced alterations of protein secretion by oviducts and uterine endometrium. *J. Anim. Sci.* 68:266-280.
- Malayer, J. R., P. I. Hansen, and W. C. Buhi. 1988. Effect of day of the oestrus cycle, side of the reproductive tract and heat shock on in-vitro protein secretion by bovine endometrium. *J. Reprod. Fed.* 84:567-571.
- Malpoux, B., C. Viguié, D. C. Skinner, J. C. Thiéry, and P. Chemineau. 1997. Control of the circannual rhythm of reproduction by melatonin in the ewe. *Brain Res. Bull.* 44:431-438.
- Malpoux, B., C. Viguié, D. C. Skinner, J. C. Thiéry, J. Pelletier, and P. Chemineau. 1996. Seasonal breeding in sheep: Mechanism of action of melatonin. *Anim. Reprod. Sci.* 42:109-117.
- Malpoux, B., H. Tricoire, F. Mailliet, A. Daveau, M. Migaud, and D. C. Skinner, J. Pelletier, and P. Chemineau. 2002. Melatonin and seasonal reproduction: understanding the neuroendocrine mechanisms using the sheep as a model. *Reproduction* 59:167-179.

- Malpaux, B., J. C. Thiéry, and P. Chemineau. 1999. Melatonin and the seasonal control of reproduction. *Reprod. Nutr. Dev.* 39:355-366.
- Mann, G. E., and G.E. Lamming. 2001. Relationship between the maternal endocrine environment, early embryo development and the inhibition of the luteolytic mechanism in the cow. *Reprod. Domest. Anim.* 121:175-180.
- Mann, G. E., G. E. Lamming and M. D. Fray. 1995. Plasma oestradiol during early pregnancy in the cow and the effects of treatment with buserelin. *Anim. Reprod. Sci.* 37:121-132.
- Mann, G. E., and G.E. Lamming. 1999. The influence of progesterone during early pregnancy in cattle. *Reprod. Domest. Anim.* 34:269-274.
- Marai, I. F. M. and A. A. M. Haezeb. 2010. Buffalos biological functions as affected by heat stress- A review. *Livest. Sci.* 127:89-109
- Marai, I. F. M., A. A. El-Darawany, A. Fadiel, and M. A. M. Abdel-Hafez. 2008. Reproductive performance traits as affected by heat stress and its alleviation in sheep. *Trop. Subtrop. Agroecos.* 8:209-234.
- Marai, I. F. M., A. A. EL-Darawany, and A. Fadiel, 2007. Physiological traits as affected by heat stress in sheep- A review. *Small Ruminant Res.* 71:1-12.
- Marai, I. F. M., A. A. El-Darawany, E. I. Abou-Fandoud, and M. A. M. Abdel-Hafez. 2004. Reproductive traits and the physiological background of the seasonal variations in Egyptian Suffolk ewes under the conditions of Egypt. *Ann. Arid Zone.* 42:1-9.
- Martínez, R. R. D., Q. L. Zarco, L. C. Cruz, y G. I. Rubio. 1995. La estacionalidad de la actividad ovárica en la oveja Pelibuey es independiente de variaciones en el peso o condición corporal de los animales. *Memorias del VIII Congreso Nacional de Producción Ovina, Asociación Mexicana de Técnicos Especialistas en Ovinocultura, A.C. Chapingo, México.* 131-134.

- Martínez-Partida, J. A., L. Jiménez-Sánchez, J. G. Herrera-Haro, E. Valtierra-Pacheco, E. Sánchez-López, y M. C. López-Reyna. 2011. Ganadería ovino - caprina en el marco del programa de desarrollo rural en Baja California. *Rev. Univ. Cienc.* 27:331-344.
- McManus, C., E. Prescott, G. Paludo, E. Bianchini, H. Louvandini, and A. S. Mariante. 2009. Heat Tolerance in Naturalized Brazilian Cattle. *Livest. Sci.* 120:156-264.
- McManus, C., L. C. B. Sasaki, and C. M. Lucci. 2011. Skin and Coat traits in sheep in Brazil and their relation with heat tolerance. *Trop. Anim. Health Prod.* 43:121-126.
- Montero, A., J. Hernández-Cerón, H. Montaldo, A. Cortéz, y R. Romero. 2006. Concentración de la proteína de choque calórico 70 (HSP-70) en linfocitos de ovejas Pelibuey y Suffolk en condiciones de estrés calórico. In: *Memorias de XLII Reunión Nacional de Investigación Pecuaria*. Veracruz, México. Pp. 4-9.
- Moura, A. C. B., P. P. M. Teixeira, L. N. Coutinho, C. C. Paz, V. J. C. Santos, F. N. Soares, M. E. F. Oliveira, W. R. R. Vicente, A. A. Araújo, and L. F. S. Rodrigues. 2014. Reproductive performance of Santa Ines ewes during dry and rainy season in Eastern Amazon. *Anim. Reprod.* 11:44-48.
- Naqvi, S. M. K., V. P. Maurya, R. Gulyani, A. Joshi, and J. P. Mittal. 2004. Effect of thermal stress on superovulatory response and embryo production in Bharat Merino ewes. *Small Ruminant Res.* 55:57-63.
- Nardone, A., B. Ronchi, N. Lacetera, M. S. Ranieri, and U. Bernabucci. 2010. Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. *Livest. Sci.* 130:57-69.
- Nebel, R. L., S. M. Jobst, M. B. G. Dransfield, S. M. Pandolfi, and T. L. Bailey. 1997. Use of radio frequency data communication system, Heatwatch, to describe behavioral estrus in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 80:179.

- Neves, M. L. M. W., M. Azevedo, and L. A. B. Costa. 2009. Critical levels of the thermal comfort index for Santa Inês sheep under grazing at the agreste region of Pernambuco state. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*. 31:169-175.
- Notter, D. R. 2008. Genetic aspects of reproduction in sheep. *Reprod. Domest. Anim.* 43:122-128.
- NRC. 2007. *Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids, and Camelids*. Washington, D.C., USA. National Academy Press.
- Paula-Lopes, F.F., Jr. C. C. Chase, Y. M. Al-Katanani, C. E. Krininger III, R. M. Rivera, S. Tekin, A. C. Majewski, O. M. Ocon, T. A. Olson, and O. J. Hansen. 2003. Genetic divergence in cellular resistance to heat shock in cattle: differences between breeds developed in temperate versus hot climates in responses of preimplantation embryos, reproductive tract tissues and lymphocytes to increased culture temperatures. *Reproduction* 125:285-294.
- Pijoan, A. P., and H. L. Williams. 1983. El efecto del fotoperiodo en la estación reproductiva y la actividad ovárica en ovejas Dorset Horn y North Country Cheviot. *Memorias de la Reunión de Investigación Pecuaria en México*. México, D.F. Pp. 130-134.
- Porras, A. A. I. 1999. Efectos del fotoperiodo artificial sobre la actividad reproductiva de la oveja Pelibuey. Tesis de Doctorado en Ciencias Veterinarias. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UNAM. México, D.F. Pp. 1-67.
- Porras, A. A., Q. L. A., Zarco, y M. J. Valencia. 2003. Estacionalidad reproductiva en ovejas. *Cien. Vet.* 9:1-34.
- PROGRAN. 2010. Programa Nacional Ganadero SAGARPA. Consultado en: <http://www.sagarpa.gob.mx/ganaderia/Programas/Paginas/PROGRAM.aspx> (Accesado el 26 de marzo 2014).

- Putney, D. J., S. Mullins, W. W. Thatcher, M. Drost, and T. S. Gross. 1989. Embryonic development in superovulated dairy cattle exposed to elevated ambient temperatures between the onset of estrus and insemination. *Anim. Reprod. Sci.* 19:37-51.
- Renaudeau, D., A. Collin, A., Yahav, V. De Basilio, J. L. Gourdine, and R. J. Collier. 2012. Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress. *Livest. prod. Anim.* 6:707-728.
- Rodríguez, M. M., H. H. Montaldo, S. J. A. Balcázar, and C. J. Hernández. 2009. Serum progesterone levels in Pelibuey and Suffolk ewes under termal stress. *Vet. Méx.* 40:197-202.
- Romero, R. D., P.A. Montero, H. H. Montaldo, A. D. Rodríguez and C. J. Hernández. 2013. Differences in body temperature, cell viability, and HSP-70 concentrations between Pelibuey and Suffolk sheep under heat stress. *Trop. Anim. Health Prod.* 45:1691-1696.
- Rosa, H. J. D., and M. J. Bryant. 2003. Seasonality of reproduction in sheep. *Small Ruminant Res.* 48:155-171.
- Ross, T. T., L. Goode, and A. C. Linnerud. 1985. Effects of high ambient temperature on respiration rate, rectal temperature, fetal development and thyroid gland activity in tropical and temperate breeds of sheep. *Theriogenology* 24:259-269.
- Roth, Z., and P. J. Hansen. 2004. Involvement of apoptosis in disruption of developmental competente of bovine oocytes by heat shock during maturation. *Biol. Reprod.* 71:1898-1906.
- Roth, Z., R. Meidan, A. Shaham-Albalancy, R. Braw-Tal, and D. Wolfenson. 2001. Delayed effect of heat stress on steroid production in medium-sized and preovulatory bovine follicles. *Reproduction* 121:745-751.

- Roth, Z., R. Meidan, R. Braw-Tal, and D. Wolfenson. 2000. Immediate and delayed effects of heat stress on follicular development and its association with plasma FSH and inhibin concentration in cows. *J. Reprod. Fert.* 120:83-90.
- Russel, A. J. F., J. M. Doney, and R. J. Gunn. 1969. Subjective assessment of body fat in live sheep. *J. Agric. Sci.* 72:451-454.
- SAGARPA. 2012. Crece ovinocultura en México; busca incursionar en nuevos mercados. Comunicado de prensa de la Secretaria de Agricultura Ganadería desarrollo Rural Pesca y Alimentación. Consultada en:
http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=3&Itemid=36
(Accesado el 18 de junio de 2013).
- SAS INSTITUTE, 2004. SAS/STAT: User's guide statistics released 9.1, 2nd Ed. SAS Institute, Inc. Cary, NC, USA.
- Seekallu, S.V., B. M. Toosi, and N. C. Rawlings. 2009. LH pulse frequency and the emergence and growth of ovarian antral follicular waves in the ewe during the luteal phase of the estrous cycle. *Reprod. Biol. Endocrinol.* 7:78-93.
- Sejian V., V. P. Maurya, and S. M. K. Naqvi. 2011. Effect of thermal, nutritional and combined (thermal and nutritional) stresses on growth and reproductive performance of Malpura ewes under semi-arid tropical environment. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 95:252-258.
- Sejian, V., V. P. Maurya, K. Kumar, and S. M. K. Naqvi. 2012. Effect of multiple stresses (thermal, nutritional, and walking stress) on the reproductive performance of Malpura ewes. *Vet. Med. Int.* 47:1-5.
- SIAP. 2013. Servicio de Información agroalimentaria y Pesquera. SAGARPA. Consultada en:
http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=3&Itemid=29

(accesado el 14 de noviembre del 2014).

Silanikove, N. 2000. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. *Livest. Prod. Sci.* 67:1-18.

Silanikove, N., A. Shamay, D. Sinder, and A. Moran. 2000. Stress down regulates milk yield in cows by plasmin induced β -casein product that blocks K^+ channels on the apical membranes. *Life Sci.* 67:2201-2212.

Smith, D. F., and D. O. Toft. 1993. Steroid receptors and their associated proteins. *Mol. Endocrinol.* 7:4-11.

Steinlechner, S., and P. Niklowitz. 1992. Impact of photoperiod and melatonin on reproduction in small mammals. *Anim. Reprod. Sci.* 30:1-28.

Tabarez-Rojas, A., A. Porras-Almeraya, H. Vaquera-Huerta, J. Hernández-Ignacio, J. Valencia, S. Rojas-Maya, y J. Hernández-Cerón. 2009. Embryonic development in Pelibuey and Suffolk ewes under heat stress conditions. *Agrociencia* 43:671-679.

Thomas, C. K., and R. A. Pearson. 1986. Effects of ambient temperatura and heat cooling on energy expenditure, food intakes and heat tolerance on Brahaman and Brahman x Fresian cattle working on treadmills. *Anim. Prod.* 43:83-90.

Thompson, G. E., 1985. Respiratory system. In: Young, M.K. (Ed.), *Stress Physiology in Livestock*. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida, USA. 155-162.

Valencia, J., A. Porras, O. Mejía, J. M. Berruecos, J. Trujillo, y L. Zarco. 2006. Actividad reproductiva de la oveja Pelibuey durante la época del anestro: influencia de la presencia del macho. *Rev. Cient., FCV-LUZ* 16:136-141.

Viguié, C., J. Thibault, J. C. Thiéry, Y. Tillet, and B. Malpoux. 1997. Characterization of the short day-induced decrease in median eminence tyrosine hydroxylase activity in the ewe:

- temporal relationship to the changes in luteinizing hormone and prolactin secretion and short day-like effect of melatonin. *Endocrinol.* 138:499-506.
- West, J. W. 1997. Nutritional strategies for managing the heat-stressed dairy cow. *J. Anim. Sci.* 77:21-35.
- West, J. W. 2003. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 86:2131-2144.
- Wildeus S. 1997. Hair sheep genetic resources and their contribution to diversified small ruminant production in the United States. *J. Anim. Sci.* 75:630-640.
- Wilson, S. J., C. J. Kirby, D. H. Keisler, and M. C. Lucy. 1998. Effects of controlled heat stress on ovarian function of dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 81:213-2138.
- Wise, M. E., R. E. Rodriguez, D. V. Armstrong, J. T. Huber, F. Wiersma, and R. Hunter. 1988. Fertility and hormonal responses to temporary relief of heat stress in lactating dairy cows. *Theriogenology* 29:1027-1035.
- Wolfenson, D., F. F. Bartol, L. Badinga, C. M. Barros, D. N. Marple, K. Cummings. D. Wolfe, M. C. Lucy, T. E. Spencer, and W. W. Thatcher. 1993. Secretion of PGF₂a and oxytocin during hyperthermia in cyclic and pregnant heifers. *Theriogenology* 39:1129-1141.
- Wolfenson, D., Z. Roth, and R. Meidan. 2000. Impaired reproduction in heat stressed cattle: basic and applied aspects. *Anim. Reprod. Sci.* 61:535-547.