

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA  
INSTITUTO DE CIENCIAS AGRÍCOLAS**



**“DESEMPEÑO REPRODUCTIVO DE CORDEROS CON  
DIFERENTE TEMPERATURA RECTAL DURANTE LA  
ÉPOCA DE ESTRÉS CALÓRICO”**

**TESIS**

Que como requisito parcial para obtener el grado de:  
**INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA**

**PRESENTA:**

Jorge Humberto Mc´Cormick Palacios

**DIRECTOR DE TESIS:**

Dr. Juan González Maldonado

La presente tesis “**DESEMPEÑO PRODUCTIVO DE CORDEROS CON DIFERENTE TEMPERATURA RECTAL DURANTE LA ÉPOCA DE ESTRÉS CALÓRICO**” fue realizada por Jorge Humberto Mc Cormick Palacios y dirigida por el Dr. Juan González Maldonado, ha sido evaluada y aprobada por el Consejo Particular abajo indicado, como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA**

**Consejo particular**

**DIRECTOR**

\_\_\_\_\_

Dr. Juan González Maldonado

**SINODAL**

\_\_\_\_\_

Dr. Saúl Hernández Aquino

**SINODAL**

\_\_\_\_\_

Dr. Rodrigo Flores Garivay

## ÍNDICE

Sección	Página
I. AGRADECIMIENTOS .....	iv
II. DEDICATORIA.....	v
III. ÍNDICE DE CUADROS .....	vii
IV. ÍNDICE DE FIGURAS .....	viii
V. LISTA DE SÍMBOLOS / NOMENCLATURA.....	ix
VI. RESUMEN .....	x
VII. ABSTRACT .....	xi
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Importancia del macho en los sistemas de producción animal .....	3
2.2. Manejo general del carnero en unidades de producción .....	4
2.3. Aspectos y manejo reproductivo del carnero .....	5
2.4. Métodos de extracción del semen .....	7
2.5. Evaluación de muestras seminales .....	9
2.6. Factores que afectan la calidad seminal del macho .....	11
2.7. Respuesta fisiológica del ovino al estrés calórico .....	13
2.8. Efectos del estrés calórico sobre la calidad seminal del carnero .....	15
3. JUSTIFICACIÓN.....	18
4. HIPÓTESIS.....	20
5. OBJETIVO .....	20
6. MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
6.1 Localización del área de estudio.....	21
6.2 Unidades y diseño experimental.....	21
6.3 Alimentación y alojamiento de las unidades experimentales.....	22
6.4 Variables de respuesta .....	23
6.5 Análisis estadístico .....	23
7. RESULTADOS.....	24
8. DISCUSIÓN .....	27
9. CONCLUSIÓN .....	31

10. LITERATURA CITADA..... 32

## I. AGRADECIMIENTOS

A mi **ALMA MATER**, el Instituto de Ciencias Agrícolas, por ser mi segundo hogar durante esta etapa de mi vida, donde me forme como profesionalista, por enseñarme que nada es fácil en la vida, pero con la motivación adecuada todo se puede lograr.

## II. DEDICATORIA

A mi **ESPOSA** por ser ese último impulso para culminar con esta etapa universitaria, motivando a superar cada obstáculo presente. ¡GRACIAS! Por no desistir y creer en mí.

A **MI HIJO**, tú que llegaste a revolucionar mi vida y darme esa fuerza para no tirar la toalla en estos últimos escalones.

A mi **MADRE** quien fue y sigue siendo mi apoyo, solo me queda decirle “Si se pudo” después de las adversidades que nos trajo la vida seguimos con toda la actitud

A mi **PADRE** que me enseñó a afrontar la vida de frente, gracias por estar presente en estos logros.

A mis **HERMANOS** de sangre y de vida. Gracias a cada uno de ustedes fueron pilares fundamentales para lograr este objetivo, sus consejos, sus palabras me mantuvieron firmes en el camino.

A mi **ABUELA**, mi otra madre que incondicionalmente me apoyo desde que di mis primeros pasos hasta el día de hoy que me ve realizado como todo un profesionalista.

A usted **DR. JUAN GONZÁLEZ MALDONADO**, por ser más que un maestro de universidad. Un amigo con el cual contar, gracias por estos años de aprendizajes y anécdotas para el equipo.

A la **PSICÓLOGA NANCY CERVANTES**, quien desde la distancia me apoyo y motivo para lograr el objetivo, profe siempre tendrá un lugar en mi corazón.

A los **FUTUROS ESTUDIANTES**, no desistan habrá miles de obstáculos, pero habrá más motivos para seguir adelante. Aprovechen a sus maestros al máximo, más a los malos, pues de ellos aprenderán la realidad de la vida, también agradezcan de los buenos maestros que quedan pocos y, sobre todo, **DISFRUTEN** su vida universitaria.

### III. ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
Cuadro 1 Características seminales (promedio $\pm$ EE)* en carneros y corderos, clasificados con temperatura rectal baja (CTRB) y alta (CTRA) en condiciones de estrés por calor	26



#### IV. ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>		<b>Página</b>
Figura 1	Temperaturas rectales (°C) por la mañana en Carneros y corderos, clasificados con baja (CTRB) y alta (CTRA) temperatura rectal durante los periodos de estrés (barras grises) y sin estrés calórico (barras negras)	24
Figura 2	Temperaturas rectales (°C) por la tarde en carneros y corderos, clasificados con baja (CTRB) y alta (CTRA) temperatura rectal durante los periodos de estrés (barras grises) y sin estrés calórico (barras negras)	25

## V. LISTA DE SÍMBOLOS / NOMENCLATURA

°C	Grados Celsius
CTRA	Corderos con temperatura rectal alta
CTRB	Corderos con temperatura rectal baja
GnRH	Hormona liberadora de gonadotropinas
ITH	Índice de temperatura y humedad
kg	Kilogramo
mL	Mililitro

## VI. RESUMEN

El estrés calórico produce un aumento de la temperatura rectal y afecta la calidad seminal de los carneros. El objetivo del presente estudio fue evaluar la calidad seminal de carneros con diferente temperatura rectal bajo condiciones de estrés calórico. Las unidades experimentales fueron asignadas a uno de tres tratamientos: corderos con temperatura rectal baja (CTRB, n=4), corderos con temperatura rectal alta (CJTRA, n=4) y Carneros (n=4). Se llevaron a cabo 30 extracciones de semen durante los meses de agosto a noviembre. Se utilizó el ITH de cada día para identificar el periodo en que los animales estuvieron expuestos a estrés por calor. Las variables de respuestas fueron la temperatura rectal registrada por las mañanas y tardes durante el periodo experimental, el volumen, la concentración espermática y motilidad masal. Las temperaturas rectales por las tardes fueron mas altas ( $p \leq 0.05$ ) en el grupo CTRA, pero no se encontraron diferencias entre el grupo de Carneros y los carorderos del grupo CTRB ( $p > 0.05$ ) ( $39.23 \pm 0.06$ ,  $39.54 \pm 0.06$  y  $39.20 \pm 0.06$  °C para CTRB, CTRA y Carneros, respectivamente). Los valores de las variables evaluadas en el eyaculado de los animales fueron afectados por el efecto de grupo experimental ( $p \leq 0.05$ ). El efecto del periodo fue significativo en las variables motilidad y concentración espermática ( $p \leq 0.05$ ). La interacción entre los factores grupo y periodo no fue significativa ( $p > 0.05$ ). En conclusión, los corderos con temperatura rectal alta producen muestras seminales con una mayor concentración y mejor motilidad, en comparación con los corderos con temperaturas rectales bajas durante el periodo de estrés calórico. El volumen del eyaculado no es afectado por las diferencias en temperatura rectal durante la época calurosa.

**Palabras clave:** espermatozoide, eyaculado, fertilidad, ovinos.

## VII. ABSTRACT

Heat stress increases rectal temperature and it diminishes semen quality in rams. The objective of this study was to evaluate the effect of different rectal temperatures on ram semen quality under heat stress conditions. The experimental units were assigned to one of three treatments: ram-lambs with low rectal temperatures (CTRB, n=4), ram-lambs with high rectal temperatures (CTRA, n=4), and Rams (n=4). A total of 30 semen collections were carried out from August to November. The THI was used to identify the periods when animals were exposed to heat-stress conditions. The response variables were the rectal temperatures recorded in the mornings and afternoons, the ejaculated volume, concentrations, and masal motility. The rectal temperatures were higher ( $p \leq 0.05$ ) in the CTRA group, and not differences were observed between the animals in groups Rams and CTRB ( $p > 0.05$ ) ( $39.23 \pm 0.06$ ,  $39.54 \pm 0.06$  and  $39.20 \pm 0.06$  °C to CTRB, CTRA and Ram groups, respectively). The effect of period was significant ( $p \leq 0.05$ ) on motility and sperm concentration. The interaction between group and period was not significant. ( $p > 0.05$ ). The period effect was significant on the masal motility and sperm concentration ( $p \leq 0.05$ ). The interaction between groups and period was not significant ( $p > 0.05$ ). In conclusion, ram-lambs with high rectal temperatures produce seminal samples with higher concentration and better masal motility compared to ram-lambs with low rectal temperatures under heat stress conditions. The ejaculate volume was not affected by rectal temperatures during the heat stress period.

**Key words:** fertility, sperm, ejaculate, sheep.

## 1. INTRODUCCIÓN

La información disponible en la literatura científica ha permitido establecer que existe una reducción en el potencial reproductivo de las especies de interés zootécnico durante las épocas calurosas del año (Chirault, y otros, 2015). Esto es un problema creciente, ya que se espera que las temperaturas ambientales continúen en aumento, a consecuencia del calentamiento global. El incremento en las temperaturas ambientales ocasiona un aumento de la temperatura del testículo, lo que disminuye la calidad espermática y el potencial reproductivo del semental (Jung & Schuppe, 2007).

La severidad de los efectos negativos del estrés calórico dependerá de factores, tales como la raza del animal, la intensidad y duración del calor (Soravia *et al.*, 2021). Dentro de los ovinos, algunas razas han logrado implementar ajustes fisiológicos que les permiten tolerar los efectos del estrés calórico, esto a través de una exposición repetida y prolongada a este estresor.

Debido a lo anterior, es de vital importancia el poder utilizar razas de animales que sean resistentes al estrés por calor. Además, dentro de razas se puede hacer la selección de animales que sean más tolerantes al estrés por calor, con el objetivo de crear grupos de animales con esta característica deseable. Se sabe que una de las primeras repuestas del ovino al estrés por calor es el incremento en las temperaturas rectales (Belhadj Slimen *et al.*, 2019). Es lógico suponer que aquellos animales que son resistentes al estrés por calor, tendrán una temperatura rectal menor que los que no lo son, y por ende se espera que su potencial reproductivo sea mejor.

Sin embargo, existe poca evidencia científica al respecto. Por tanto, el presente trabajo de investigación tiene como objetivo evaluar la calidad de muestras seminales de machos ovinos con diferente temperatura rectal (alta y baja) durante la época de estrés calórico.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Importancia del macho en los sistemas de producción animal

Al macho en los sistemas de producción de ovinos se le conoce como carnero. El macho es comúnmente menospreciado en muchas unidades de producción, ya que su uso más intenso se lleva a cabo durante la época del empadre, dejándolo de lado el resto del año. Sin embargo, el efecto que pudiera tener el macho sobre la productividad de la unidad de producción es mayor, y de efecto más rápido que el de la hembra, ya que aparte de que el carnero es el responsable del 50% del aporte genético sobre las crías, este es capaz de procrear a una gran cantidad de crías en una sola temporada, en comparación con la hembra que solo procreará de una a dos crías (Orihuela-Trujillo, 2014).

Con base en lo anterior, se puede establecer con claridad que el progreso genético dentro del rebaño se verá más afectado por el macho que por la hembra. Es decir, si se tiene un macho con algún defecto genético heredable, este defecto será transmitido a toda una generación, y su erradicación dentro del rebaño implicará la eliminación completa de dicha generación. Si este defecto se presentará en la madre, entonces solo se eliminaría a las crías de dicha madre. Por tanto, es de vital importancia que los carneros que sean seleccionados como reproductores, sean aquellos con reconocido valor genético y reproductivo, de preferencia superiores a la media poblacional, para poder continuar con el avance genético y mejora de los animales dentro del rebaño (González & Tapia, 2017).

El avance genético del rebaño, a través del carnero, solo podrá ser conseguido si este produce muestras seminales de buena calidad. Los machos de elevado valor genético que no produzcan semen de buena calidad, no podrán crear descendencia, mientras que aquellos que produzcan semen de regular a baja calidad solo podrán cubrir a un número limitado de ovejas. Entonces es

necesario que la fertilidad del macho sea monitoreada de manera constante, y que se le proporcionen las condiciones de alimentación y alojamiento adecuadas, para que pueda producir semen de buena calidad (Arellano-Lezama *et al.*, 2017).

## **2.2. Manejo general del carnero en unidades de producción**

El manejo del carnero es de vital importancia para que tenga un buen desempeño reproductivo. Además, se le deben de proporcionar los cuidados generales del rebaño, tales como identificación, recorte de pezuñas, aplicación de vitaminas, vacunas y desparasitación.

El aretado, o identificación de los sementales debe de llevarse a cabo desde los primeros días de vida, y se debe de verificar que el método de identificación sea duradero/permanente. La correcta identificación de los sementales nos permitirá llevar a cabo un mejor registro productivo y reproductivo de los animales. El descole de los sementales es opcional, no es una práctica que esté regulada. Generalmente se lleva a cabo por cuestiones de estética, o para prevenir la acumulación de heces fecales en el tren posterior, lo que puede conllevar a la infestación con larvas, y la muerte del macho. Esta práctica de manejo suele llevarse a cabo durante los primeros 15 días de vida del cordero (González & Tapia, 2017).

La aplicación de vacunas, desparasitantes y vitaminas debe de apegarse a los calendarios establecidos dentro de la unidad de producción; pero en general, el estado de salud, nutricional y reproductivo de los sementales debe de ser evaluado semanas antes del empadre. Esto con la finalidad de garantizar un buen rendimiento reproductivo. La evaluación del estado de salud del carnero debe de garantizar la ausencia de enfermedades y alteraciones físicas que pudieran comprometer la función reproductiva del carnero, tales como heridas, malformaciones anatómicas visibles, inflamación de los testículos o de algunas de las partes del tracto reproductivo (Canto *et al.*, 2018).



El estado nutricional del carnero suele evaluarse mediante la determinación de la condición corporal, la cual es una medición indirecta de la cantidad de reservas corporal con las que cuenta el animal, y se lleva a cabo mediante la palpación del área lumbar, y se asigna un valor de 1 a 5, dependiendo de la cantidad de carne y grasa en la región (Canto *et al.*, 2018). Los carneros con condiciones corporales bajas (menor a 3) no deben de ser utilizados durante la época de empadre, sobre todo en grupos de ovejas grandes, ya que se sabe que las restricciones nutricionales suelen tener consecuencias negativas en la función testicular del semental (Cruz-Espinoza *et al.*, 2021).

### **2.3. Aspectos y manejo reproductivo del carnero**

La actividad reproductiva del carnero inicia cuando alcanza la etapa de la pubertad. Este evento es precedido por el inicio de la espermatogénesis, proceso de formación de espermatozoides. Se sabe que este último proceso puede dar inicio tan pronto como a los 80 días de edad, y la presencia de espermatozoides vivos en el eyaculado puede ser visible a los 110 días de edad. Lo que implica que los machos pueden servir y preñar a una oveja a partir de los 5-6 meses de edad (Kumi-Diaka *et al.*, 1985).

En general, la edad a la pubertad será determinada en el momento que las células de Leydig y Sertoli sean susceptibles a la acción de las gonadotropinas, lo cual suele ocurrir entre 20 a 28 semanas de edad, o cuando el macho alcance el 65% de su peso corporal. Lo cual estará determinado por el estado nutricional del animal, ya que se sabe que la alimentación de machos jóvenes con dietas altas en proteína tienden a adelantar el inicio de la pubertad (Maquivar *et al.*, 2021).

El número de ovejas que un semental puede montar y preñar dependerá de varios factores, tales como su edad y deseo sexual, se recomienda que los machos jóvenes (menos de dos años) no sean expuestos a un número de ovejas mayor a 40 (Aguerreberre, 2013). Algunos estudios han demostrado que

los porcentajes de gestaciones son mayores cuando los carneros son expuestos a proporciones de 1:30 y 1:70 en comparación con 1:100 (80, 82 y 76% de gestaciones) (Kenyon *et al.*, 2010).

Los machos jóvenes no deben de ser expuestos a grupos de machos con mayor edad, ya que estos últimos tienden a ser más dominantes (Orihuela-Trujillo, 2014), y pueden inhibir el comportamiento sexual normal de los machos jóvenes. De hecho, se sabe que los machos con más de tres años de edad tiene de un 15 a 20% más éxito durante el empadre que los sementales de uno a dos años de edad (Juengel *et al.*, 2019).

Durante el cortejo, se pueden observar varios comportamientos característicos, tales como seguimiento de la oveja, el reflejo de Flehmen, olfateo del área perianal, topeteos, y montas falsas (Orihuela-Trujillo, 2014). Todos los comportamientos anteriores son importantes para poder llevar a cabo la copula, pero uno de los más importantes es el reflejo de Flehmen, ya que este es el utilizado para detectar las feromonas sexuales (Orihuela-Trujillo, 2014), y así determinar si la oveja se encuentra en celo o no (Ungerfeld, 2002).

Los cambios en la orientación sexual del macho no son raros en los animales de interés zootécnico. Existe un porcentaje de machos que muestran homosexualidad, esta puede ser transitoria o definitiva. De acuerdo a algunos investigadores, de la población total del ovinos, un 6 a 10% de los carneros prefiere sexualmente a otro macho que a una oveja (Orihuela-Trujillo, 2014).

El potencial reproductivo del semental se determina mediante la evaluación de su capacidad de monta y calidad de las muestras espermáticas producidas. Esta es una práctica que pocas unidad de producción implementan, pero que es de vital importancia, ya que se sabe que hasta un 15% de los sementales pueden presentar problemas de infertilidad (Cruz-Espinoza *et al.*, 2021). Por tanto, aquellos machos que produzcan semen de mala a baja calidad, producirán pocas gestaciones en las hembras (Gibbons *et al.*, 2019). En

consecuencia, la evaluación de la aptitud reproductiva de los carneros debe de ser evaluada antes de iniciar la época de empadre, de tal manera que cada semental pueda generar crías en al menos el 85% de las hembras del rebaño, en un periodo de 30-45 días (Cruz-Espinoza *et al.*, 2021).

Una característica del carnero, sobre todo de los de razas de lana, es que su reproducción es estacional. La estacionalidad reproductiva es más marcada en la oveja que en el macho, es decir que mientras que la oveja “pierde” su capacidad reproductiva durante una época específica del año, el macho solo la disminuye, pero mantiene su potencial para reproducirse (Simonetti *et al.*, 2014). La época reproductiva, para las razas originarias de latitudes por encima de los 40°, tiene una duración de octubre a invierno, cuando las horas luz disminuyen, y termina con el invierno, prolongándose la época de anestro durante la primavera y verano, cuando las horas luz del día se incrementan (Gómez-Brunet *et al.*, 2012).

#### **2.4. Métodos de extracción del semen**

La colecta de muestras seminales es parte del manejo reproductivo cotidiano del semental. Esta práctica se lleva a cabo principalmente con el objetivo de valorar la calidad de la muestra seminal, y poder determinar el potencial reproductivo del macho. Actualmente existe varios métodos para poder obtener una muestra de semen de un semental, siendo los más utilizados la vagina artificial y el electroeyaculador. Otro método menos utilizado implica el masaje transrectal de las glándulas accesorias (Love, 1992).

El método de la vagina artificial es el que más se asemeja a la monta natural, ya que su utiliza un tubo rígido recubierto con una funda de latex, el cual mimetiza las condiciones de la vagina de la oveja en celo, mediante la adición de agua caliente (más de 50 °C) y aire, esto le crea al macho la sensación de

penetración natural a la oveja, permitiendo la eyaculación (Cueto, 2016). Además, para mayor estimulación del macho, se utiliza una oveja, la cual es sujeta por un técnico, o preferentemente por una prensa de contención. La oveja puede o no estar en celo, su función es únicamente la de estimular el reflejo de la monta en el semental (Balcázar, 2013). Con el objetivo de limitar el uso de animales durante la colecta de semen, mediante vagina artificial, algunos investigadores han propuesto el uso de objetos inanimados (maniqués), como promotores del reflejo de la monta, obteniéndose un 90% de efectividad en la colecta del semen (Flores *et al.*, 2005).

El segundo método de colecta de semen más utilizado en carnero es el electroeyaculador. Este es un dispositivo que se inserta vía rectal en el ovino, y produce descargas de 10 a 15 voltios en el parte dorsal de la pelvis, lo que ocasiona la contracción de las glándulas accesorias, y la eyaculación (Balcázar, 2013). Este método de colecta de semen suele ser utilizado en machos que presentan alguna incapacidad física para montar, o que no pueden eyacular con la vagina artificial (Love, 1992). En general, este método de colecta de semen se considera estresante para el animal, algunos incluso lo catalogan como un método que está en contra del bienestar animal, por lo que su uso es controversial (Abril-Sánchez *et al.*, 2019). Además, no es raro observar que algunas de las muestras obtenidas por este método sean contaminadas con orina (Marco-Jiménez *et al.*, 2005).

Otro método de colecta es la estimulación, vía rectal, de las glándulas accesorias del macho. La estimulación puede hacerse con los dedos, o con el transductor rectal del ultrasonido. El objetivo es estimular desde la ámpula de los ductos deferentes hasta las glándulas de Cowper (Abril-Sánchez *et al.*, 2019). El porcentaje de efectividad de este método de colecta suele ser alto, del 85% , con un máximo de tiempo de cinco minutos dedicado a la colecta de cada semental (Tekin *et al.*, 2020). Una de las principales desventajas de este

método de colecta de semen es que requiere un mayor esfuerzo y tiempo por parte del técnico (Abril-Sánchez *et al.*, 2019).

En general, se sabe que la calidad de la muestra seminal colectada se ve afectada por el método de colecta. Se ha observado que las mejores muestras de semen se obtienen con la vagina artificial, ya que está mimetiza de mejor manera el proceso natural de eyaculación. Por ejemplo, se encontró que la concentración espermática ( $3.1$  vs  $2.3 \times 10$  células espermáticas  $\text{mL}^{-1}$ ) y la motilidad masal ( $4.5$  vs  $3.7$ ) son superiores en muestras de semen de carneros colectadas con vagina artificial, en comparación con las obtenidas con electroeyaculador (Aral & Aral, 2004)

## **2.5. Evaluación de muestras seminales**

La evaluación de las muestras seminales es de vital importancia, ya que nos ayuda a determinar la capacidad del macho para lograr una gestación en las ovejas. Existen varias variables que se miden para determinar la calidad de una muestra seminal.

La evaluación de las muestras seminales puede llevarse a cabo mediante microscopia, o con sistemas computacionales de análisis seminal (CASA). Estos sistemas de análisis tienen la ventaja de que permiten llevar a cabo el análisis de un gran número de muestras seminales en un corto periodo de tiempo, y limita la cantidad de sesgo en las mediciones a causa del factor humano (Molina-Coto & Lucy, 2018).

En general, la evaluación de las muestras seminales se clasifica en evaluación macro y microscópica. Las primeras son evaluaciones/mediciones que se pueden llevar a cabo a simple vistas, mientras que las últimas requieren el uso del microscopio (Páez-Barón & Corredor-Camargo, 2014).

Algunas de las mediciones (y su valor esperado) más utilizadas durante la evaluación de las muestras seminales de ovinos son el color/consistencia (Blanco cremoso), volumen (0.3 – 1.5 mL), pH seminal (6.2-7.3), concentración (3000-7000 x 10<sup>6</sup> espermatozoides mL<sup>-1</sup>), motilidad en masal (3-5), motilidad individual (70-90%), motilidad progresiva (70-80%) y normalidad de los espermatozoides (85-95%) (Aisen, 2004).

El color del eyaculado es normalmente de una coloración blanco-amarillenta. Se deben de descartar los eyaculados con coloraciones blanco rosácea que indica la existencia de sangre, o gris que indica algún tipo de infección en el aparato reproductor (Aisen, 2004). Los eyaculados con una apariencia translúcida son generalmente indicativos de una baja concentración y calidad espermática (Aziz, 2013).

El pH de la muestra seminal varía dependiendo de la especie, pero se sabe que sus valores aumentan conforme se incrementa el periodo posterior a la eyaculación (Vasan, 2011). La concentración espermática puede llevarse a cabo mediante el uso de un hematocitómetro o con el uso de espectrofotometría (Salhab *et al.*, 2003). La motilidad masal indica el vigor con el que se mueve la muestra del eyaculado. El vigor de la muestra es evaluado en una escala de 0 al 5, donde 0 indica ausencia de movimiento, y 5 movimientos vigorosos, los valores más cercanos a 5 son los deseables (Páez-Barón & Corredor-Camargo, 2014).

La motilidad progresiva indica el número o porcentaje de espermatozoides que se mueven en línea recta, los espermatozoides con movimiento sobre su propio eje o en círculos puede ser indicativo de choque término, o de condiciones indeseables del medio (Aisen, 2004).

Las anomalías de los espermatozoides pueden ser primarias (se originan durante la espermatogénesis), secundarias (durante el paso en el epidídimo) o terciarias (luego de la eyaculación y manejo) (Aizen, 2004).

## **2.6. Factores que afectan la calidad seminal del macho**

La calidad del semen del carnero se puede ver afectada por diversos factores, tales como la nutrición, la edad, la raza, y el estrés por calor. Es bien sabido que la nutrición juega un rol directo sobre la actividad reproductiva del macho, en general dietas que conlleven a la disminución de la condición corporal conllevan a la disminución de la calidad del semen (Arellano-Lezama *et al.*, 2017). En un estudio, la alimentación de los machos con una dieta que aportaba solo el 75% de los requisitos nutricionales ocasionó una disminución en la condición corporal (1.6 vs 2.8), circunferencia escrotal (26 vs 30 cm), volumen del eyaculado (0.5 vs 0.7 mL), y concentración espermática ( $3.9$  vs  $4.3 \times 10^9$  espermatozoides  $\text{mL}^{-1}$ ) en comparación con los machos alimentados con una dieta que contenía el 120% de sus requisitos nutricionales (Flores Nájera, 2021).

En otro estudio, la alimentación de machos con dietas que proveían 2.18 y 2.34 Mcal de energía de mantenimiento  $\text{kg}^{-1}$  de materia seca produjo un aumento en la concentración espermática ( $992$  vs  $1369 \times 10^6$  espermatozoides eyaculado<sup>-1</sup>) y en el volumen del eyaculado (0.9 vs 1.21 mL) en el grupo de animales que fue alimentado con la ración que aportaba la mayor cantidad de energía (Ghorbankhani *et al.*, 2015). Además, se sabe que la mejora del estado nutricional del animal tiene un efecto positivo sobre la actividad reproductiva. Al respecto, los machos suplementados con vitaminas y minerales mejora la concentración espermática, el número de espermatozoides vivos, y el volumen del el eyaculado 12, 2.6, 10 y 10% (Pascal *et al.*, 2023).

En general, se sabe que el efecto de la nutrición, sobre variables relacionadas con la calidad seminal del macho, se puede observar a partir de la séptima semana de iniciada la estrategia nutricional, y que una condición corporal menor a 6 (escala 1-9) es indeseable para la actividad reproductiva del macho (Arellano-Lezama *et al.*, 2017; Harrison *et al.*, 2022).

La edad y la raza del macho son factores que afectan directamente la calidad del semen. Los resultados de investigaciones muestran que la concentración espermática y el volumen del eyaculado se incrementan entre las 11 y 29 semanas de edad (Salhab *et al.*, 2003). Sin embargo, se espera que a medida que el macho incrementa su edad, la calidad del semen comience a disminuir, aunque en algunos estudios se ha reportado que la calidad del eyaculado puede ser preservada en animales de más de 10 años de edad (Ntemka *et al.*, 2019).

En cuanto al factor raza, se publicó que el volumen (1.92 vs 1.5 mL), motilidad masal (4.28 vs 4.06) y concentración espermática (2695 vs 2459 × 10<sup>6</sup> espermatozoides mL<sup>-1</sup>) fueron mayores en sementales ovinos de la raza Assaf en comparación con machos de la raza Blackbelly (Castro Bedriñana *et al.*, 2017). De manera similar, otros investigadores han reportado que los sementales de la raza Najdi producen muestras seminales de mayor concentración (2251 × 10<sup>6</sup> espermatozoides mL<sup>-1</sup>) en comparación con los machos de las razas Merino (2036 × 10<sup>6</sup> espermatozoides mL<sup>-1</sup>) (Abdel-Rahman *et al.*, 2000).

El estrés por calor es otro de los factores conocidos que afecta la calidad seminal y desempeño reproductivo de los machos. Sin embargo, este tema será abordado en los siguientes apartados.



## 2.7. Respuesta fisiológica del ovino al estrés calórico

El estrés por calor se presenta cuando el organismo del animal es incapaz de disipar la cantidad de calor acumulada en su cuerpo, como resultado de una exposición a un ambiente con elevadas temperaturas ambientales. Esta incapacidad del organismo animal desencadena varias respuestas fisiológicas, tales como incremento de la temperatura corporal, frecuencia respiratorias, disminución del consumo de alimento, disminución de la función inmune y reducción del potencial reproductivo, por mencionar algunas de las más importantes (McManus *et al.*, 2020).

Las condiciones de estrés por calor se determinan de acuerdo a los valores del Índice de Temperatura y Humedad (ITH), valores menores a 72, entre 73 y 78, y mayores a 79 indican condiciones de termo neutralidad, estrés calórico ligero, y estrés calórico severo, respectivamente. Este índice es el resultado de una ecuación que toma las temperaturas y humedad del ambiente para determinar si existen o no condiciones de estrés por calor para el animal (Bhateshwar *et al.*, 2022).

Una de las primeras respuestas del animal al estrés por calor es el incremento en la temperatura rectal. Esta variable fisiológica representa la cantidad de calor acumulado por el cuerpo del animal (Bhateshwar *et al.*, 2022). En ovinos se ha registrado un aumento de la temperatura rectal, cuando se hace una comparación entre los periodos del día sin (39.1 °C) y con estrés calórico (39.6 °C) (Čukić *et al.*, 2023). Otros investigadores han reportado variaciones más grandes en la temperatura corporal de animales en condiciones de estrés calórico, por ejemplo se han registrado temperaturas de 38 °C por las mañanas y de 39.4 °C durante la tarde (Serrano-Torres *et al.*, 2020).

La frecuencia respiratoria también se incrementa durante la época de estrés calórico. Esta es la principal vía de eliminación del calor excesivo del cuerpo del animal. Bajo condiciones termoneutrales, el cuerpo del animal puede eliminar hasta un 20% del calor producido por el cuerpo, pero en condiciones de estrés calórico, esta vía puede eliminar hasta el 60% (Marai *et al.*, 2007). En condiciones termoneutrales, la frecuencia respiratoria de la oveja puede variar de 15 a 30 respiraciones por minuto. Sin embargo, en animales expuestos al estrés por calor, se observa que los valores de esta variable pueden incrementarse hasta más de 200 respiraciones por minuto (Bhateshwar *et al.*, 2022).

La frecuencia cardiaca también se incrementa en animales con estrés por calor. Este incremento permite que una mayor cantidad de sangre fluya a los tejidos periféricos, con el objetivo de incrementar la pérdida sensible de calor (Marai *et al.*, 2007). En corderas y ovejas se ha observado un aumento en los valores de esta variable cuando se compara el periodo del día, mañanas y tardes, dentro del periodo de estrés calórico. En corderas se observó que la frecuencia cardiaca se incrementó de 36 a 133 latidos por minuto, mientras que ovejas el aumento fue de 42 a 116 latidos por minuto (García *et al.*, 2024). De acuerdo a valores revisados por varios autores, el valor de la frecuencia cardiaca normal puede variar de 50 a 80 latidos por minuto durante el transcurso del día (Bhateshwar *et al.*, 2022).

Otra respuesta normal de los animales con estrés calórico es la disminución en el consumo de alimento, posiblemente con la finalidad de disminuir el calor producido por los procesos digestivos (Tüfekci & Sejian, 2023). En un estudio llevado a cabo con ovejas lecheras, se observó una disminución de 300 g en la cantidad de alimento ingerido, pero se aumentó el consumo de agua (2 litros), la temperatura rectal (0.77 °C) y la frecuencia respiratoria (90 respiraciones por minuto) (Mehaba *et al.*, 2021). La disminución en el consumo

de alimento a su vez se asocia con una reducción en las ganancias diarias de peso, observándose en general un aumento de procesos metabólicos asociados con el catabolismo de tejidos, con el objetivo de cubrir las necesidades mínimas de mantenimiento del animal (Marai *et al.*, 2007).

Además, también se observan en el animal variaciones en su perfil hormonal, observándose aumentos en las concentraciones de cortisol, una respuesta normal al estrés, y una disminución en las concentraciones sanguíneas de hormonas tiroideas, con el objetivo de disminuir la cantidad de calor metabólico generado (Velez-Marín & Uribe-Velasquez, 2010). Otros han reportado una disminución en las concentraciones de glucosa y colesterol total (Bhateshwar *et al.*, 2022).

## **2.8. Efectos del estrés calórico sobre la calidad seminal del carnero**

El estrés calórico disminuye el potencial reproductivo del macho y la hembra, ya que afecta la función normal de los componentes del tracto reproductivo (McManus *et al.*, 2020). Se estima que la fertilidad del carnero y la oveja comienza a ser afectada cuando la temperatura ambiente supera los 32 °C. En el caso del carnero, esto se deba a un aumento de la temperatura intratesticular, lo cual afecta la espermatogénesis y reduce la calidad espermática (van Wettere *et al.*, 2021).

Algunos investigadores han logrado recrear, de manera específica en el escroto, las temperaturas que normalmente se obtendrían en las épocas calurosas del año, mediante la insulación plástica del escroto, lo cual creó una temperatura testicular de 33 °C, en comparación con 28 °C en los corderos con los testículos no insulados. Además, se observó que la insulación testicular ocasionó una disminución significativa en la motilidad espermática individual y masal, dañó el acrosoma e integridad de la membrana (Hamilton *et al.*, 2016).

Además, otros investigadores han observado un incremento en la incidencia de espermatozoides con cabeza elíptica, cuando los sementales son expuestos a condiciones de estrés por calor (Armengol *et al.*, 2015).

Investigadores han recreado condiciones de estrés calórico (colocar animales en cámaras a 42 °C y 55% de humedad relativa, por periodos de 6 h), para estudiar de cerca los efectos negativos de las elevadas temperaturas sobre la calidad del semen, y encontraron que la exposición de los carneros a elevadas temperaturas disminuyen la motilidad masal (1.8 vs 4.4), la concentración espermática (4.1 vs  $1.1 \times 10^9$  células espermáticas mL<sup>-1</sup>), pero aumenta el tiempo a la primera eyaculación (0.1 vs 0.2 minutos) y el número de montas por eyaculación (1.1 vs 1.5) en comparación con los carneros en condiciones termoneutrales (Maurya *et al.*, 2016). También se ha observado que el estrés calórico daña al espermatozoide mediante la inducción de la fragmentación de las cadenas de ADN (Hamilton *et al.*, 2018).

En un estudio se evaluó el efecto de la temperatura ambiental, 44 vs 30 °C (temperaturas promedio registradas durante el periodo experimental de corderos mantenidos dentro y fuera de un tejado). Se encontró que las temperaturas elevadas incrementaron las concentraciones sanguíneas de cortisol, pero no las de testosterona. Además, se observó degeneración celular a nivel de células germinales, pero no en las de Leydig o Sertoli, lo que demuestra que la función endocrina del testículo no está comprometida, pero si la de las células germinales que darán origen al espermatozoide (Rasooli *et al.*, 2010). Otras de las anormalidades encontradas en las muestras de semen obtenidas de sementales sometidos a estrés por calor es el desprendimiento de acrosomas (Rathore, 1970).

Sin embargo, los posibles efectos negativos del estrés calórico sobre la actividad reproductiva del carnero dependerán de la raza del animal, siendo más susceptibles las razas de lana al efecto del estrés por calor, en comparación que las razas de pelo (Cruz Júnior *et al.*, 2015). Además, dentro de las razas de pelo, la raza Morada Nova se considera resiliente a los efectos negativos del estrés por calor, ya que su calidad seminal presenta variaciones mínimas a lo largo de las estaciones del año (Kahwage *et al.*, 2018). Esto se debe posiblemente a que esta raza es capaz de regular eficientemente su temperatura durante la época de destres calórico (Kahwage *et al.*, 2017)

### 3. JUSTIFICACIÓN

El estado de Baja California presenta una de las menores incidencias de precipitación pluvial en México, con un promedio anual de 40 mm. Además, las temperaturas ambientales presentan gran variación a lo largo del año, siendo de 0 hasta los 59 °C (García, 2004). Las elevadas temperaturas del estado de Baja California representan un reto para la actividad reproductiva de los animales de interés zootécnico, ya que se sabe de antemano sobre las alteraciones fisiológicas que este fenómeno ocasiona en el organismo animal.

El estrés calórico afecta al animal comprometiendo en primera instancia su capacidad de termorregulación, lo que ocasiona un aumento en su temperatura corporal. Este cambio fisiológico por sí solo limita la producción de espermatozoides, ya que se sabe que, para llevar a cabo una espermatogénesis normal se requiere que la temperatura testicular se mantenga en un rango de 4 a 5 °C por debajo a la temperatura del cuerpo (Courot & Ortavant, 1981). Por consiguiente, la capacidad reproductiva de los sementales se ve limitada durante los meses calurosos del año.

Una de las estrategias que los productores de ovinos han implementado para minimizar los efectos negativos del estrés calórico en sus unidades de producción, es la compra de ovinos de pelo, ya que estos son más resistentes a las altas temperaturas que los de razas de lana (Joy *et al.*, 2020a). Sin embargo, aun cuando estas razas son resistentes a los impactos del estrés calórico, se continúa observando una disminución en su potencial reproductivo durante la época de estrés calórico.

Otra estrategia que podría utilizarse para aminorar los efectos negativos del estrés calórico sobre el animal, es la selección de animales resistentes a este fenómeno. Estudios previos han mostrado claramente que existen diferencias

marcadas entre razas ovinas, en cuanto a la respuesta a estrés por calor, observándose animales con menores temperaturas rectales durante dicha época. Por lo que una estrategia para mitigar los efectos del estrés por calor podría ser la selección de animales con menores temperaturas rectales durante la época de calor. Se esperaría que estos animales tengan un mejor desempeño reproductivo de aquellos con temperaturas elevadas. Sin embargo, desconocemos si existen trabajos científicos que hayan abordado esta estrategia.

#### **4. HIPÓTESIS**

Los machos ovinos con temperaturas rectales bajas durante el periodo de estrés calórico producen muestras seminales de mayor concentración, motilidad y volumen, en comparación con los machos con temperaturas rectales elevadas durante el mismo periodo.

#### **5. OBJETIVO**

Evaluar las diferencias en la concentración espermática, volumen y motilidad de muestras seminales de machos ovinos con diferente temperatura rectal (alta y baja) durante la época de estrés calórico.



## 6. MATERIALES Y MÉTODOS

### 6.1 Localización del área de estudio

El experimento se llevó a cabo durante los meses de julio a noviembre de 2019 en las instalaciones del Instituto de Ciencias Agrícolas, de la Universidad Autónoma de Baja California. El clima de la región es desértico cálido (Bwh), las temperaturas máximas y mínimas registradas en verano e invierno son de 50 °C y -5 °C, y la precipitación media es de 88 mm. (García, 2004). Los animales utilizados en el presente trabajo de investigación fueron manejados de acuerdo a lineamientos de bienestar animal previamente descritos (CCAC, 2009).

### 6.2 Unidades y diseño experimental

Las unidades experimentales fueron ocho corderos y cuatro carneros a los que se les midió su temperatura rectal durante un periodo de evaluación (PE) de 13 días, por las mañanas (07:00 h) y tardes (17:00 h). La temperatura del ambiente y humedad fueron registradas antes de cada registro de la temperatura rectal, para calcular el ITH (Belhadj Slimen *et al.*, 2019). Los valores de ITH entre 72 y 77, 78 y 89, y por encima de 90 fueron considerados como condiciones de estrés por calor leve, moderado y severo (Thornton *et al.*, 2021). Al concluir los 13 días de medición de la temperatura rectal, y considerando que la temperatura rectal de los animales durante el día es más alta durante las tardes (Kahwage *et al.*, 2018), las unidades experimentales fueron asignados a uno de tres grupos, de acuerdo a su edad: carneros-jóvenes y carneros-adultos; y su temperatura rectal media durante las tardes (baja (<39,4 °C) y alta ( $\geq 39,4$  °C)): corderos con temperatura rectal baja (CTRB), corderos con temperatura rectal alta (CTRA) y Carneros. Los animales del grupo CTRB (n=4) tenían una edad de  $235.50 \pm 8.38$  d, peso vivo de  $48.47 \pm 6.74$  kg, y una circunferencia escrotal de  $32.0 \pm 2.70$  cm. Los animales

del grupo CTRA (n=4) tenían una edad de  $236.0 \pm 2.0$  d, un peso vivo de  $51.65 \pm 6.27$  kg, y circunferencia escrotal de  $31.25 \pm 1.70$  cm. El grupo de carneros (n=4) tenía 2 años de edad, un peso vivo de  $65.1 \pm 8.04$  kg y una circunferencia escrotal de  $32.12 \pm 0.62$  cm. Todas las unidades experimentales eran animales cruzados (Dorper × Katadhin × Pelibuey).

### **6.2.1 Periodo experimental**

Los animales de los grupos experimentales fueron sometidos a extracción de semen utilizando una vagina artificial y una oveja que no estaba en celo e inmovilizada en una trampa. Las extracciones de semen se llevaron a cabo dos veces por semana (jueves y domingo) durante los meses de agosto a noviembre (se colectaron 30 muestras por cada unidad experimental). Se registró la temperatura rectal, temperatura ambiente y la humedad relativa por las mañanas (7:00am) y en las tardes (5:00pm) durante los días de colecta de semen, para calcular el ITH. Se utilizó el ITH de cada día para identificar el periodo en que los animales estuvieron expuestos a estrés por calor (los primeros 17 días del muestreo) o a condiciones termoneutrales (sin estrés calórico) (últimos 13 días del muestro). El periodo experimental fue de 15 semanas.

### **6.3 Alimentación y alojamiento de las unidades experimentales.**

Los corderos de los grupos CTRB y CTRA estuvieron alojados en el mismo corral desde su destete y durante la duración del experimento. El grupo de carneros se mantuvo en un corral separado. Sin embargo, estos estuvieron juntos durante al menos un año antes de comenzar el experimento. Los corrales tenían libre acceso a sombra y a agua fresca. Cada animal fue alimentado con  $2 \text{ kg d}^{-1}$  de una ración que contenía 30% de paja de trigo,

48.5% de grano de trigo molido, 20% de pasta de soya y 1.5% de piedra caliza molida, tal como se ofrece.

#### **6.4 Variables de respuesta**

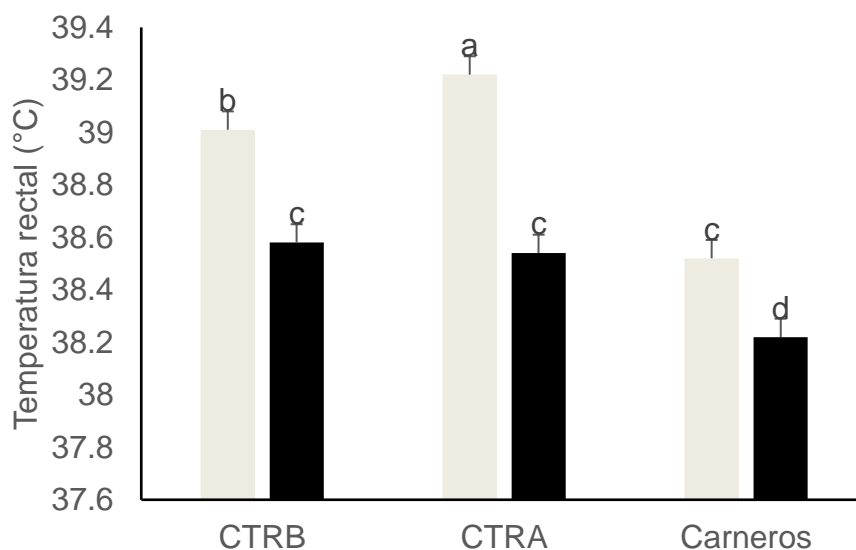
Las variables de respuestas fueron la temperatura rectal registrada por las mañanas y tardes durante el periodo experimental. El volumen, la concentración espermática y motilidad masal fueron evaluados siguiendo metodologías establecidas (Maurya *et al.*, 2010).

#### **6.5 Análisis estadístico**

Las temperaturas rectales, el volumen, la concentración espermática y la motilidad masal fueron analizadas utilizando un modelo mixto: los efectos fijos del diseño factorial con dos factores fueron el periodo de estrés con dos niveles (estrés por calor y sin estrés por calor), y grupo experimental con cuatro niveles (ITH, Carneros, CTRB y CTRA). La muestra se consideró como un factor aleatorio. Para realizar el análisis estadístico se utilizó el programa INFOSTAT.

## 7. RESULTADOS

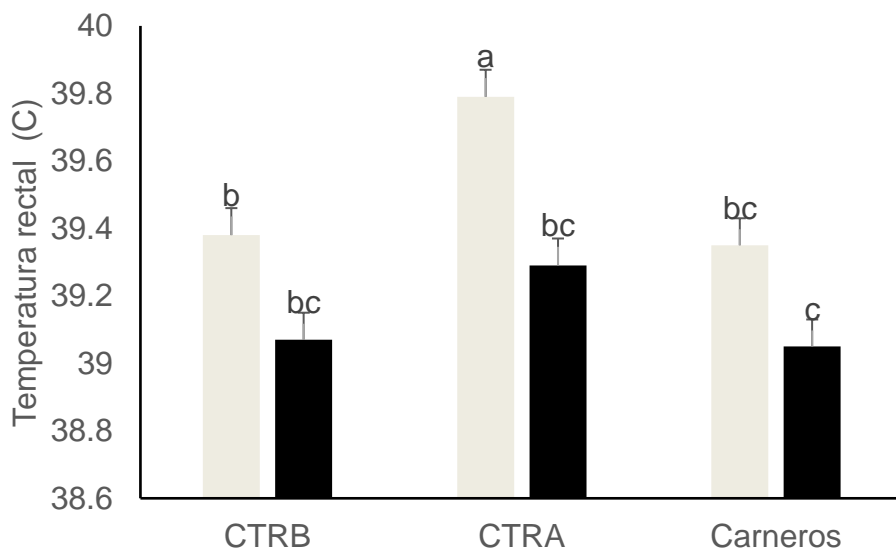
Las temperaturas rectales por las mañanas fueron mas bajas ( $p \leq 0.05$ ) en el grupo de carneros, pero no hubo diferencia ( $p > 0.05$ ) entre los grupos de corderos ( $38.79 \pm 0.05$ ,  $38.88 \pm 0.05$  y  $38.37 \pm 0.05$  °C para CTRB, CTRA y Carneros respectivamente). Además, se registraron temperaturas rectales más bajas ( $p \leq 0.05$ ) en el periodo sin estrés por calor en comparación con el periodo con estrés calorico ( $38.45 \pm 0.06$  vs  $38.92 \pm 0.06$  °C). La interacción entre los grupos experimentales y el periodo también fue significativo ( $p \leq 0.05$ ) (Figura 1). El ITH promedio durante el periodo experimental con y sin estrés por calor fue de 83.83 (rango: 73.52 a 87.40) y 64.21 (rango 53.75 a 69.81).



**Figura 1. Temperaturas rectales (°C) por la mañana en Carneros y corderos, clasificados con baja (CTRB) y alta (CTRA) temperatura rectal durante los periodos de estrés (barras grises) y sin estrés calorico (barras negras)**

Las temperaturas rectales por las tardes fueron mas altas ( $p \leq 0.05$ ) en el grupo CTRA, pero no se encontraron diferencias entre el grupo de Carneros y los corderos del grupo CTRB ( $p > 0.05$ ) ( $39.23 \pm 0.06$ ,  $39.54 \pm 0.06$  y  $39.20 \pm 0.06$  °C

ara CTRB, CTRA y Carneros, respectivamente). Las temperaturas rectales más bajas ( $p \leq 0.05$ ) se registraron durante el periodo sin estrés por calor, en comparación al periodo de estrés por calor ( $39.14 \pm 0.08$  vs  $39.51 \pm 0.07$  °C). La interacción entre el tratamiento y el periodo experimental también fue significativa ( $p \leq 0.05$ ) (Figura 2).



**Figura 2. Temperaturas rectales (°C) por la tarde en carneros y corderos, clasificados con baja (CTRB) y alta (CTRA) temperatura rectal durante los periodos de estrés (barras grises) y sin estrés calórico (barras negras)**

Los valores de las variables evaluadas en el eyaculado de los animales fueron afectados por el efecto de grupo experimental ( $p \leq 0.05$ ) (Cuadro 1). El efecto del periodo también fue significativo en las variables motilidad ( $2.59 \pm 0.19$  vs  $1.65 \pm 0.19$  en el periodo con y sin estrés por calor) y concentración espermática ( $2857 \pm 95.80$  vs  $2038 \pm 89.31 \times 10^6$  en el periodo con y sin estrés por calor). La interacción entre los factores grupo y periodo no fue significativa ( $p > 0.05$ ).

**Cuadro 1. Características seminales (promedio  $\pm$  EE)\* en carneros y corderos, clasificados con temperatura rectal baja (CTRB) y alta (CTRA) en condiciones de estrés por**

Grupo	N	Volumen del eyaculado (mL)	Motilidad masas	Concentración espermática ( $10^6$ )
CTRB	4	0.90 $\pm$ 0.03 <sup>a</sup>	1.72 $\pm$ 0.18 <sup>a</sup>	1876 $\pm$ 91.70 <sup>a</sup>
CTRA	4	0.97 $\pm$ 0.03 <sup>a</sup>	2.29 $\pm$ 0.18 <sup>b</sup>	2444 $\pm$ 91.70 <sup>b</sup>
Carneros	4	1.29 $\pm$ 0.03 <sup>b</sup>	2.36 $\pm$ 0.18 <sup>b</sup>	3024 $\pm$ 91.98 <sup>c</sup>

\*Variables con diferente superíndice dentro de la misma columna indican diferencia significativa ( $p < 0.05$ )

## 8. DISCUSIÓN

El presente trabajo de investigación evaluó el efecto de la temperatura rectal sobre la concentración espermática, motilidad masal y volumen del eyaculado en machos ovinos en condiciones de estrés por calor. Una de las herramientas que se utilizan para determinar la existencia de condiciones de estrés calórico es el uso del ITH (Thornton *et al.*, 2021). El rango de los valores del ITH durante el periodo de estrés por calor del presente trabajo de investigación fue de 73.52 a 87.40, mientras que en el periodo sin estrés calórico fue de 53.75 a 69.81 (valores de ITH entre 72 y 77, 78 y 89, y por encima de 90 fueron considerados como condiciones de estrés por calor leve, moderado y severo (Thornton *et al.*, 2021). Lo anterior deja claramente ver que en el primer periodo había las condiciones ambientales para que los machos ovinos sufrieran estrés por calor de leve a moderado.

Las temperaturas rectales de los machos ovinos obtenidas por las tardes, durante el periodo con estrés calórico, son superiores a las reportadas en sementales ovinos de la raza Morada Nova (38.8 °C), pero similares a las reportadas en machos de la raza Santa Inés (39.0°C) durante el mismo periodo del día durante la época calurosa del año en Brasil (Kahwage *et al.*, 2018). Otros investigadores han reportado temperaturas rectales de sementales ovinos, durante la época de estrés calórico, de 39.0 a 39.1 °C (Kahwage *et al.*, 2017). Lo anterior deja ver que no solamente existían condiciones para que los animales sufrieran estrés por calor, si no que los animales manifestaron signos de estrés calórico, tal como lo es el incremento en la temperatura rectal. El incremento en la temperatura rectal de los animales, que sufren estrés calórico, se debe a la incapacidad de los mecanismos del organismo de disipar la carga de calor excesiva, generada por una exposición del cuerpo a temperaturas ambientales elevadas (Berihulay *et al.*, 2019).

Los animales del grupo CTRA presentaron las temperaturas rectales más elevadas durante el periodo de estrés calórico, en comparación con los otros grupos evaluados. Esto puede indicar una menor capacidad de termorregulación de estos animales. Es bien sabido que el factor genético juega un papel de vital importancia en la capacidad del animal para soportar los efectos negativos del estrés calórico. Por ejemplo, se sabe que los animales de la raza Texcel (39.1 °C) presentan mayores temperaturas rectales durante la época calurosa del año en comparación con otras razas, tales como la Dorper (38.7 °C), Morada Nova (38.8 °C) y Santa Inés (38.4 °C) (Pantoja *et al.*, 2017). Además, existe un efecto de la edad del animal, ya que en corderos jóvenes, las temperaturas rectales durante la época de calor pueden llegar a superar los 40 °C (39.24 vs 40.51 °C de temperatura rectal en corderos en condiciones termoneutrales y con estrés calórico) (Joy *et al.*, 2020b). En el caso de los animales del presente trabajo de investigación, estos eran cruzados, y no se puede asegurar que las diferencias en temperaturas rectales observadas se deban a un factor de raza. Además, los pesos y las edades de los corderos en los grupos CTRA y CTRB fueron similares, por lo que se puede establecer que las diferencias registradas en las temperaturas rectales de estos animales se deben a que el grupo de animales en el grupo CRTB eran más resilientes a los efectos del estrés calórico que los del grupo CTRA.

Se sabe que el estrés calórico afecta todos los componentes del eje reproductivo del ovino. En las ovejas se observa una disminución en la calidad de los ovocitos y en el porcentaje de gestaciones, mientras que en el macho se han reportado disminuciones en los valores de variables relacionadas con la calidad seminal (van Wettere *et al.*, 2021).



En el presente trabajo de investigación se esperaba que, en los machos ovinos, con temperatura rectal baja, la calidad del semen fuera mejor que en los sementales con temperaturas rectales altas, durante la época de estrés calórico. Un posible mecanismo, a través del cual el estrés calórico disminuye la función reproductiva de los ovinos es mediante un aumento en la producción de cortisol, la hormonal del estrés. Esta hormona disminuye la función reproductiva del animal mediante la interrupción de la secreción de GnRH, lo cual impide el aporte de gonadotropinas a la gónada (producción de espermatozoides y ovocitos), inhibiendo de esta manera la función testicular y ovárica de los ovinos (Narayan & Parisella, 2017).

Los carneros sometidos al estrés por calor producen semen con una menor motilidad (4.05 vs 3.33), menor porcentaje de espermatozoides motiles (79 vs 69%) (Hamilton *et al.*, 2016) y una menor concentración (Hedia *et al.*, 2020). El efecto del estrés calórico en el volumen del eyaculado parece no ser trascendental en ovinos, ya que no se han reportado efectos sobre esta variable (0.6 vs 0.7 mL de eyaculado en carneros colectados en los meses cálidos y fríos del año) (Hedia *et al.*, 2020). En especies como el bovino, también se ha reportado la ausencia de efectos negativos del estrés calórico sobre el volumen del eyaculado (8.3 vs 8.5 mL de eyaculado en toros colectados en las épocas el año con bajo y alto ITH) (Seifi-Jamadi *et al.*, 2020).

Contrario a la hipótesis planteada en el presente trabajo de investigación, los corderos con las temperaturas rectales más bajas obtuvieron los valores más bajos para las variables motilidad y concentración espermática, en comparación con los corderos que presentaron las temperaturas rectales más altas. Además, los animales en el grupo Carneros tuvieron los valores más altos para las variables volumen y concentración espermática, en comparación con los animales de los grupos CTRB y CTRA. Las diferencias encontradas a favor del grupo Carneros pueden deberse al factor de la edad, ya que se sabe

que el valor de las variables relacionadas con la calidad del eyaculado se incrementan durante las etapas de crecimiento del animal (Salhab *et al.*, 2003).

Las diferencias en el valor de las variables evaluadas en el eyaculado de corderos con alta y baja temperatura pueden sugerir que ambos grupos tienen diferentes capacidades de respuesta al efecto del estrés calórico. No obstante, se esperaba que los animales con temperaturas rectales bajas durante el estrés calórico tuvieran valores elevados para las variables analizadas. Los resultados son contradictorios con los publicados, ya que se ha demostrado que los carneros de la raza Morada Nova tuvieron una menor temperatura rectal (38.4 °C) que los machos de la raza Santa Inés (38.7 °C) después de la exposición al estrés calórico, y se encontró que los valores de las variables porcentaje de espermatozoides motiles (74 vs 55) y con buena integridad de membrana (63 vs 41) fueron mayores en la raza Morada Nova (Kahwage *et al.*, 2017).

Se desconocen las razones por las cuales los corderos con temperaturas rectales bajas durante el periodo de estrés calórico tuvieron muestras seminales de menor calidad, en comparación con los que tuvieron altas temperaturas rectales. Es probable que la percepción inicial que se tenía sobre resiliencia al estrés calórico esté equivocada, y que un aumento en la temperatura corporal durante la época del estrés calórico no esté asociada con una mejor adaptación, desde el punto de vista reproductivo, a la época calurosa; si no que los animales con temperaturas elevadas durante la época de calor pudieran estar implementando algunos mecanismos fisiológicos para proteger los espermatozoides del estrés calórico, tales como un incremento significativo en la circulación testicular, para disipar más eficientemente la carga de calor (Hedia *et al.*, 2020).

## **9. CONCLUSIÓN**

Los corderos con temperatura rectal alta producen muestras seminales con una mayor concentración y mejor motilidad, en comparación con los corderos con temperaturas rectales bajas durante el periodo de estrés calórico. El volumen del eyaculado no es afectado por las diferencias en temperatura rectal durante la época calurosa.

## 10. LITERATURA CITADA

- Aguerreberre, J. I. (2013) Manejo de la reproducción en el ovino. Departamento de producción animal: rumiantes. Facultad de medicina veterinaria y zootecnia, UNAM. Disponible en: <https://www.fmvz.unam.mx/fmvz/cienciavet/revistas/CVvol3/CVv3c13.pdf>. Última visita en enero de 2024.
- Abdel-Rahman, H. A., El-Belely, M. S., Al-Qarawi, A. A., & El-Mougy, S. A. (2000). The relationship between semen quality and mineral composition of semen in various ram breeds. *Small Ruminant Research*, 38(1), 45–49. [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(00\)00137-1](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(00)00137-1)
- Abril-Sánchez, S., Freitas-de-Melo, A., Giriboni, J., Santiago-Moreno, J., & Ungerfeld, R. (2019). Sperm collection by electroejaculation in small ruminants: A review on welfare problems and alternative techniques. *Animal Reproduction Science*, 205, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2019.03.023>
- Vélez-Marín, M., & Uribe-Velásquez, L. (2010). ¿cómo afecta el estrés calórico la reproducción?. *Biosalud*, 9(2), 83–95
- Aral, F., & Aral, S. (2004). Comparison of Semen Collection Methods in Merino Rams FARUK ARAL. *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences*, 28(1). <https://aj.tubitak.gov.tr/veterinary/issues/vet-04-28-1/vet-28-1-7-0205-35.pdf>
- Arellano-Lezama, T., Cruz-Espinoza, F., Pro-Martínez A., Salazar-Ortiz J., & Gallegos-Sánchez J. (2017). Factores ambientales que afectan la calidad seminal del carnero. *Agroproductividad*, 10(2), 53–59

- Armengol, M. F. L., Sabino, G. A., Forquera, J. C., de la Casa, A., & Aisen, E. G. (2015). Sperm head ellipticity as a heat stress indicator in Australian Merino rams (*Ovis aries*) in Northern Patagonia, Argentina. *Theriogenology*, 83(4), 553–559. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2014.10.020>
- Aziz, N. (2013). The importance of semen analysis in the context of azoospermia. *Clinics*, 68(SUPPL. 1), 35–38. [https://doi.org/10.6061/clinics/2013\(Sup01\)05](https://doi.org/10.6061/clinics/2013(Sup01)05)
- Belhadj Slimen, I., Chniter, M., Najar, T., & Ghram, A. (2019). Meta-analysis of some physiologic, metabolic and oxidative responses of sheep exposed to environmental heat stress. *Livestock Science*, 229(April), 179–187. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.09.026>
- Berihulay, H., Abied, A., He, X., Jiang, L., & Ma, Y. (2019). Adaptation mechanisms of small ruminants to environmental heat stress. *Animals*, 9(3), 1–9. <https://doi.org/10.3390/ani9030075>
- Bhateshwar, V., Rai, D. C., & Datt, M. (2022). heat stress responses in small ruminants under arid and semi-arid regions of western India: A Review. *Agricultural Reviews*, Of. <https://doi.org/10.18805/ag.r-2393>
- Castro Bedriñana, J. I., Chirinos Peinado, D. M., & Chirinos Orellana, J. A. (2017). Calidad del semen refrigerado de carneros Assaf y Blackbelly. *Revista de Investigaciones Veterinarias Del Perú*, 28(3), 764. <https://doi.org/10.15381/rivep.v28i3.12581>
- CCAC. (2009). CCAC guidelines on: the care and use of farm animals in research, teaching, and testing. *In Canadian Council on Animal Care*.

- Courot, M., & Ortavant, R. (1981). Endocrine control of spermatogenesis in the ram. *Journal of Reproduction and Fertility*. Supplement, 30(2), 47–60. <https://doi.org/10.1002/ajp.1350010206>
- Cruz-Espinoza, F., Gallegos-Sánchez, J., Mendieta-Galán, T. A., Márquez-Hernández, C. I., & Salazar-Ortiz, J. (2021). Reproductive management of the ram (*Ovis orientalis aries*). *Agro Productividad*, V, 149–156. <https://doi.org/10.32854/agrop.v14i8.2101>
- Cruz Júnior, C. A., Lucci, C. M., Peripolli, V., Silva, A. F., Menezes, A. M., Morais, S. R. L., Araújo, M. S., Ribeiro, L. M. C. S., Mattos, R. C., & McManus, C. (2015). Effects of testicle insulation on seminal traits in rams: Preliminary study. *Small Ruminant Research*, 130, 157–165. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2015.06.014>
- Čukić, A., Rakonjac, S., Djoković, R., Cincović, M., Bogosavljević-Bošković, S., Petrović, M., Savić, Ž., Andjušić, L., & Andjelić, B. (2023). Influence of heat stress on body temperatures measured by infrared thermography, blood metabolic parameters and its correlation in sheep. *Metabolites*, 13(8). <https://doi.org/10.3390/metabo13080957>
- Flores Nájera, M. de J. (2021). Influencia del nivel nutricional sobre la calidad seminal y el comportamiento sexual de los machos cabríos tratados con días largos artificiales. *Biotecnia*, 23(1), 36–44. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v23i1.1275>

- Flores, V. A., Rosales, R. V., & Trujillo, A. O. (2005). Training of rams for semen collection by artificial vagina, using as stimulus inanimate objects. *Veterinaria México*, 36(1), 105–111
- García, E. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. (I. de Geografía-UNAM, Ed.) (Quinta edi). México. Disponible en: [http://www.igeograf.unam.mx/sigg/utilidades/docs/pdfs/publicaciones/geosiglo21/serie\\_lib/modific\\_al\\_sis.pdf](http://www.igeograf.unam.mx/sigg/utilidades/docs/pdfs/publicaciones/geosiglo21/serie_lib/modific_al_sis.pdf). Última visita en enero de 2024
- García, E. C., Pineda-burgos, B. C., Ruiz-ortega, M., Cortez-romero, C., Paredes-alvarado, M., & Ponce-covarrubias, J. L. (2024). El estrés calórico afecta a las hembras ovinas Blackbelly durante el verano en el trópico. *Revista MVZ Córdoba*, 29(1), 1–10
- Ghorbankhani, F., Souri, M., Moeini, M. M., & Mirmahmoudi, R. (2015). Effect of nutritional state on semen characteristics, testicular size and serum testosterone concentration in Sanjabi ram lambs during the natural breeding season. *Animal Reproduction Science*, 153, 22–28. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2014.12.006>
- Gibbons, A. E., Fernandez, J., Bruno-Galarraga, M. M., Spinelli, M. V., & Cueto, M. I. (2019). Technical recommendations for artificial insemination in sheep. *Animal Reproduction*, 16(4), 803–809. <https://doi.org/10.21451/1984-3143-AR2018-0129>
- Gómez-Brunet, A., Santiago-Moreno, J., Toledano-Díaz, A., & López-Sebastián, A. (2012). Reproductive seasonality and its control in spanish sheep and goats. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 15(SUPPL. 1)

González, V. M., & Tapia, M. M. (2017). Manual de manejo ovino. Santiago, Chile: INIA - INDAP. Disponible en: <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/6668>. Última visita en enero de 2024

Hamilton, T. R. D. S., Mendes, C. M., Castro, L. S. De, Assis, P. M. De, Siqueira, A. F. P., Delgado, J. D. C., Goissis, M. D., Muiño-Blanco, T., Cebrián-Pérez, J. Á., Nichi, M., Visintin, J. A., & Assumpção, M. E. O. D. Á. (2016). Evaluation of lasting effects of heat stress on sperm profile and oxidative status of ram semen and epididymal sperm. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/1687657>

Hamilton, T. R. D. S., Siqueira, A. F. P., De Castro, L. S., Mendes, C. M., Delgado, J. D. C., De Assis, P. M., Mesquita, L. P., Maiorka, P. C., Nichi, M., Goissis, M. D., Visintin, J. A., & Assumpção, M. E. O. D. Á. (2018). Effect of heat stress on sperm DNA: Protamine assessment in ram spermatozoa and testicle. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/5413056>

Harrison, T. D., Chaney, E. M., Brandt, K. J., Ault-Seay, T. B., Payton, R. R., Schneider, L. G., Strickland, L. G., & Schrick, F. N. (2022). The effects of nutritional level and body condition score on cytokines in seminal plasma of beef bulls. *Frontiers in Animal Science*, 3(January), 1–7. <https://doi.org/10.3389/fanim.2022.1078960>

Hedia, M. G., El-Belely, M. S., Ismail, S. T., & Abo El-Maaty, A. M. (2020). Seasonal variation in testicular blood flow dynamics and their relation to systemic and testicular oxidant/antioxidant biomarkers and androgens in rams. *Reproduction in Domestic Animals*, 55(7), 861–869. <https://doi.org/10.1111/rda.13696>



- Joy, A., Dunshea, F. R., Leury, B. J., Clarke, I. J., Digiacomio, K., & Chauhan, S. S. (2020)a. Resilience of small ruminants to climate change and increased environmental temperature: A review. *Animals*, 10(5). <https://doi.org/10.3390/ani10050867>
- Joy, A., Dunshea, F. R., Leury, B. J., Digiacomio, K., Clarke, I. J., Zhang, M. H., Abhijith, A., Osei-Amponsah, R., & Chauhan, S. S. (2020)b. Comparative assessment of thermotolerance in dorper and second-cross (Poll dorset/merino × border leicester) lambs. *Animals*, 10(12), 1–14. <https://doi.org/10.3390/ani10122441>
- Juengel, J. L., Hickey, S. M., Clarke, S. M., Cullen, N. G., McEwan, J. C., & Dodds, K. G. (2019). Heritability of ram mating success in multi-sire breeding situations. *Animal*, 13(5), 917–923. <https://doi.org/10.1017/S1751731118002446>
- Jung, A., & Schuppe, H. C. (2007). Influence of genital heat stress on semen quality in humans. *Andrologia*, 39(6), 203–215. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0272.2007.00794.x>
- Kahwage, P. R., Esteves, S. N., Jacinto, M. A. C., Barioni Junior, W., Machado, R., Romanello, N., Passeri, L. F., de Mendonça, K. L., & Garcia, A. R. (2018). Assessment of body and scrotal thermoregulation and semen quality of hair sheep rams throughout the year in a tropical environment. *Small Ruminant Research*, 160(December 2017), 72–80. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2018.01.015>

- Kahwage, P. R., Esteves, S. N., Jacinto, M. A. C., Junior, W. B., Pezzopane, J. R. M., de Andrade Pantoja, M. H., Bosi, C., Miguel, M. C. V., Mahlmeister, K., & Garcia, A. R. (2017). High systemic and testicular thermolytic efficiency during heat tolerance test reflects better semen quality in rams of tropical breeds. *International Journal of Biometeorology*, 61(10), 1819–1829. <https://doi.org/10.1007/s00484-017-1367-4>
- Kenyon, P. R., Morris, S. T., & West, D. M. (2010). Proportion of rams and the condition of ewe lambs at joining influences their breeding performance. *Animal Production Science*, 50(6), 454–459. <https://doi.org/10.1071/AN09178>
- Kumi-Diaka, J., Djang-Fordjour, T. K., Sekoni, V. O., & Ogwu, D. (1985). Effect of different husbandry systems on the reproductive development of post-weaning ram lambs under tropical conditions. *Theriogenology*, 23(4), 583–591. [https://doi.org/10.1016/0093-691X\(85\)90192-X](https://doi.org/10.1016/0093-691X(85)90192-X)
- Love, C. C. (1992). Semen collection techniques. The Veterinary Clinics of North America. *Equine Practice*, 8(1), 111–128. [https://doi.org/10.1016/S0749-0739\(17\)30470-4](https://doi.org/10.1016/S0749-0739(17)30470-4)
- Maquivar, M. G., Smith, S. M., & Busboom, J. R. (2021). Reproductive management of rams and ram lambs during the pre-breeding season in us sheep farms. *Animals*, 11(9), 1–12. <https://doi.org/10.3390/ani11092503>
- Marai, I. F. M., El-Darawany, A. A., Fadiel, A., & Abdel-Hafez, M. A. M. (2007). Physiological traits as affected by heat stress in sheep-A review. *Small Ruminant Research*, 71(1–3), 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2006.10.003>

- Marco-Jiménez, F., Puchades, S., Gadea, J., Vicente, J. S., & Viudes-De-Castro, M. P. (2005). Effect of semen collection method on pre- and post-thaw Guirra ram spermatozoa. *Theriogenology*, 64(8), 1756–1765. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2005.04.006>
- Maurya, V. P., Sejian, V., Kumar, D., & Naqvi, S. M. K. (2010). Effect of induced body condition score differences on sexual behavior, scrotal measurements, semen attributes and endocrine responses in Malpura rams under hot semi-arid environment. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 94(6). <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2010.01012.x>
- Maurya, V. P., Sejian, V., Kumar, D., & Naqvi, S. M. K. (2016). Impact of heat stress, nutritional restriction and combined stresses (heat and nutritional) on growth and reproductive performance of Malpura rams under semi-arid tropical environment. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 100(5), 938–946. <https://doi.org/10.1111/jpn.12443>
- McManus, C. M., Faria, D. A., Lucci, C. M., Louvandini, H., Pereira, S. A., & Paiva, S. R. (2020). Heat stress effects on sheep: Are hair sheep more heat resistant? *Theriogenology*, 155, 157–167. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2020.05.047>
- Mehaba, N., Coloma-Garcia, W., Such, X., Caja, G., & Salama, A. A. K. (2021). Heat stress affects some physiological and productive variables and alters metabolism in dairy ewes. *Journal of Dairy Science*, 104(1), 1099–1110. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18943>
- Molina-Coto, R. E., & Lucy, M. C. (2018). Sistemas de análisis computadorizado de semen en la reproducción animal. *Agronomía Mesoamericana*, 29(2), 449. <https://doi.org/10.15517/ma.v29i2.29852>

- Narayan, E., & Parisella, S. (2017). Influences of the stress endocrine system on the reproductive endocrine axis in sheep (*Ovis aries*). *Italian Journal of Animal Science*, 16(4), 640–651. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2017.1321972>
- Ntemka, A., Kioassis, E., Boscos, C., Theodoridis, A., Kourousekos, G., & Tsakmakidis, I. (2019). Impact of old age and season on Chios ram semen quality. *Small Ruminant Research*, 178(January), 15–17. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2019.07.004>
- Orihuela-Trujillo, A. (2014). La conducta sexual del carnero. Revisión Ram's sexual behavior. Review. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias*, 5(1), 49–89.
- Páez-Barón, E. M., & Corredor-Camargo, E. S. (2014). Evaluación de la aptitud reproductiva del toro. *Ciencia y Agricultura*, 11(2), 49. <https://doi.org/10.19053/01228420.3837>
- Pantoja, M. H. de A., Esteves, S. N., Jacinto, M. A. C., Pezzopane, J. R. M., Paz, C. C. P. de, Silva, J. A. R. da, Lourenço Junior, J. de B., Brandão, F. Z., Moura, A. B. B., Romanello, N., Botta, D., & Garcia, A. R. (2017). Thermoregulation of male sheep of indigenous or exotic breeds in a tropical environment. *Journal of Thermal Biology*, 69(September), 302–310. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2017.09.002>
- Pascal, C., Nechifor, I., Florea, M. A., Pânzaru, C., Simeanu, D., & Mierliță, D. (2023). Diet influence on sperm quality, fertility, and reproductive behavior in karakul of botoșani rams. *Agriculture (Switzerland)*, 13(11). <https://doi.org/10.3390/agriculture13112168>

- Rasooli, A., Taha Jalali, M., Nouri, M., Mohammadian, B., & Barati, F. (2010). Effects of chronic heat stress on testicular structures, serum testosterone and cortisol concentrations in developing lambs. *Animal Reproduction Science*, 117(1–2), 55–59. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2009.03.012>
- Rathore, A. K. (1970). Acrosomal abnormality in ram spermatozoa due to heat stress. *The British Veterinary Journal*, 126(8), 440–443. [https://doi.org/10.1016/S0007-1935\(17\)48252-2](https://doi.org/10.1016/S0007-1935(17)48252-2)
- Salhab, S. A., Zarkawi, M., Wardeh, M. F., Al-Masri, M. R., & Kassem, R. (2003). Characterization and evaluation of semen in growing awassi ram lambs. *Tropical Animal Health and Production*, 35(5), 455–463. <https://doi.org/10.1023/A:1025823730733>
- Seifi-Jamadi, A., Zhandi, M., Kohram, H., Luceño, N. L., Leemans, B., Henrotte, E., Latour, C., Demeyere, K., Meyer, E., & Van Soom, A. (2020). Influence of seasonal differences on semen quality and subsequent embryo development of Belgian Blue bulls. *Theriogenology*, 158(January), 8–17. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2020.08.037>
- Serrano-Torres, J., Martínez-Melo, J., Fonseca-Fuentes, N., & Dongo-Malamba, F. (2020). Indicadores fisiológicos y ambientales como predictores de estrés térmico en ovinos de la raza Pelibuey. *Revista Científica Agroecosistemas*, 8(3), 143-147
- Soravia, C., Ashton, B. J., Thornton, A., & Ridley, A. R. (2021). The impacts of heat stress on animal cognition: Implications for adaptation to a changing climate. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 12(4). <https://doi.org/10.1002/wcc.713>

- Tekin, K., Cil, B., Alemdar, H., Olgac, K. T., Tirpan, M. B., Daskin, A., & Stelletta, C. (2020). Semen collection by trans-rectal digital stimulation and insemination campaign in goat. *Andrologia*, 52(2), 1–7. <https://doi.org/10.1111/and.13458>
- Thornton, P., Nelson, G., Mayberry, D., & Herrero, M. (2021). Increases in extreme heat stress in domesticated livestock species during the twenty-first century. *Global Change Biology*, 27(22), 5762–5772. <https://doi.org/10.1111/gcb.15825>
- Tüfekci, H., & Sejian, V. (2023). Stress factors and their effects on productivity in sheep. *Animals*, 13(17). <https://doi.org/10.3390/ani13172769>
- van Wettere, W. H. E. J., Kind, K. L., Gatford, K. L., Swinbourne, A. M., Leu, S. T., Hayman, P. T., Kelly, J. M., Weaver, A. C., Kleemann, D. O., & Walker, S. K. (2021). Review of the impact of heat stress on reproductive performance of sheep. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 12(1), 1–18. <https://doi.org/10.1186/s40104-020-00537-z>
- Vasan, S. S. (2011). Semen analysis and sperm function tests: How much to test. *Indian Journal of Urology*, 27(1), 41–48. <https://doi.org/10.4103/0970-1591.78424>