

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL



Variaciones diurnas de la temperatura rectal y variables hematológicas en el verano e invierno en cabras alpinas

Por:

Fidencio Hernández Chacón

TESIS

Que presenta como requisito parcial para obtener el título de:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Torreón, Coahuila, México
Mayo 2024

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISION REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL

Variaciones diurnas de la temperatura rectal y variables hematológicas en el verano
e invierno en cabras alpinas

Por:

Fidencio Hernández Chacón

TESIS

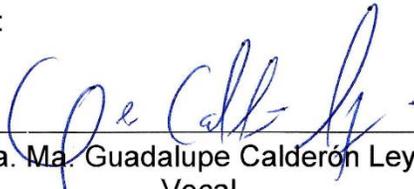
Que se somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial
para obtener el título de:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

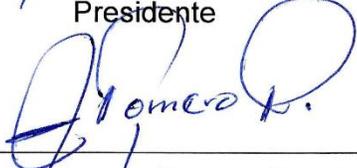
Aprobada por:



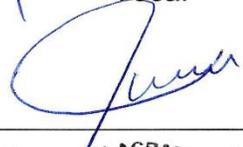
Dr. Alan Sebastian Alvarado Espino
Presidente



Dra. Ma. Guadalupe Calderón Leyva
Vocal



MC. Jaime Isaías Romero Paredes Rubio
Vocal



MC. Gerardo Arellano Rodríguez
Vocal suplente



MC. José Luis Francisco Sandoval Elías
Coordinador de la División Regional de Ciencia Animal



Torreón, Coahuila, México
Mayo 2024

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISION REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL

Variaciones diurnas de la temperatura rectal y variables hematológicas en el verano
e invierno en cabras alpinas

Por:

Fidencio Hernández Chacón

TESIS

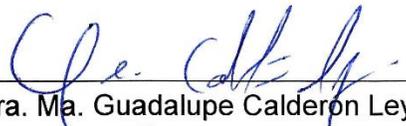
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Aprobada por el Comité de Asesoría:



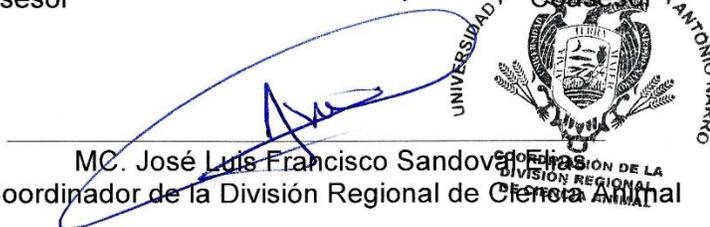
Dr. Alan Sebastian Alvarado Espino
Asesor Principal



Dra. Ma. Guadalupe Calderon Leyva
Coasesor



MC. Jaime Isaias Romero Paredes Rubio
Coasesor



MC. José Luis Francisco Sandoval Elias
Coordinador de la División Regional de Ciencia Animal

Torreón, Coahuila, México
Mayo 2024

AGRADECIMIENTOS

A mis padres: Fidencio Hernández Mendieta y María Dolores Chacón Juárez, por brindarme el apoyo moral y económico durante toda mi formación académica.

A mi asesor principal: Dr. Alan Sebastian Alvarado Espino, por darme la oportunidad de realizar este proyecto de investigación, guiarme durante el proceso de investigación y redacción de este documento además de brindar el apoyo con material y equipo para el experimento.

A la técnica de laboratorio: MC. Julieta Ziomara Ordoñez Morales por darme el espacio para trabajar en las muestras del experimento.

A la Dra. Ariadna Vanessa Alvarado Espino: por darme asesoramiento sobre el uso del equipo de análisis de sangre y el uso de la cámara térmica los cuales fueron elementos importantes para la obtención de datos.

A las personas que me ayudaron para el manejo de los animales durante la toma de muestra: Luis Tenorio, Fortunato Nava, Asucena Montalvo, Blanca Correa, Diana Armendáriz, Roberto Ortiz, y aquellas personas de quien no recuerde el nombre al momento de escribir estas palabras, su apoyo fue un punto muy importante para la realización del experimento en tiempo y forma.

A mi alma mater: por ser más que una casa de estudios durante el tiempo que he estado en ella.

DEDICATORIA

A mis padres: Fidencio Hernández Mendieta y María Dolores Chacón Juárez, gracias por la confianza y la guía durante mi formación personal.

A mi hermana: Daniela Hernández Chacón, este viaje no habría sido lo mismo sin su apoyo.

A mi asesor: Dr. Alan Sebastian Alvarado Espino, quien en el trayecto de este proyecto fue un profesor y un amigo, gracias por la paciencia.

A la MC. Julieta Ziomara Ordoñez Morales por brindarme un espacio para trabajar y convivir siempre tratándome como un igual.

Al Dr. Gonzalo Fitz Rodríguez, por brindarme palabras de apoyo y guía.

A los compañeros con quienes conviví mucho tiempo, han hecho de esta una gran aventura y por ello siempre tendrán un amigo en mí.

A mi abuela Leonila Juárez y mis hermanos, Abigail Hernández Chacón y Adrián Hernández Chacón por brindarme su apoyo moral a distancia durante todo este tiempo.

Al Ing. Agrónomo José Luis Tepetate Nopal, al MVZ David Gerardo Saldaña, al MVZ Jesús Jaramillo Padilla y al MVZ Luis Tenorio Benedicto, amigos que brindaron su apoyo y guía durante mi estancia en la universidad, gracias por formar parte de esta experiencia, mi apoyo y mi confianza siempre estará con ustedes.

A la MVZ Johana Paloma De Jesús Sánchez por brindar apoyo moral durante la elaboración de esta tesis.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIA	ii
ÍNDICE.....	iii
LISTA DE CUADROS	iv
LISTA DE FIGURAS	v
RESUMEN.....	vi
ABSTRACT	vii
1. Introducción.....	1
1.1. Hipótesis.....	2
1.2. Objetivo	2
2. Revisión de Literatura	2
2.1. Mecanismos de termorregulación.....	2
2.2. Respuesta de las cabras al estrés por calor	3
2.3. Efecto del estrés por calor sobre la producción.....	7
3. Materiales y Métodos	8
3.1. Lugar del experimento y manejo de los animales	8
3.2. Diseño experimental y toma de muestras	9
3.3. Análisis estadístico	9
4. Resultados	10
5. Discusión	12
6. Conclusión.....	13
7. Referencias	14

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1 Temperatura ambiental mínima, máxima y media registrada durante el día en el verano y otoño en el periodo experimental	10
Cuadro 2 Temperatura rectal (TR), frecuencia respiratoria (FR) y variables hematológicas de las cabras alpinas durante el verano y otoño.....	11

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Impactos negativos del estrés por calor en las cabras.....	4
Figura 2 Efecto del estrés térmico en cabras	8

RESUMEN

El objetivo del estudio fue comparar la época del año y la hora del día sobre la temperatura rectal, frecuencia respiratoria y variables hematológicas en cabras Alpinas de la Comarca Lagunera. El estudio se realizó en la ciudad de Torreón, Coahuila, México (25°N). La región tiene un clima semiárido con una temperatura media anual de 22.3 °C. Se trabajó con 10 cabras de raza Alpina multíparas no lactantes. Las cabras tenían una condición corporal de 2.5 ± 0.5 (escala 1: emaciada y 5: Obesa) al momento del estudio. Las hembras estaban estabuladas y se alimentaban con heno de alfalfa para satisfacer sus requerimientos diarios. Se registro la temperatura rectal (TR) y la frecuencia respiratoria (FR) de las cabras durante la mañana y tarde en verano y otoño. Además, se les tomo una muestra de sangre para evaluar sus parámetros sanguíneos. Se observó un efecto de la estación ($P=0.01$), día de la toma de muestra ($P<0.0001$) e interacción estación*día ($P=0.02$) en la TR. La TR más alta se registró por la tarde durante la época de verano. La FR fue mayor en la tarde del verano ($P<0.05$). En cuanto a las variables hematológicas evaluadas se observó un efecto de la estación y la hora de la toma de la muestra (Cuadro 1). En el verano hubo un menor conteo de leucocitos, eritrocitos, hemoglobina y porcentaje de hematocrito que en el otoño ($P<0.0001$). En conclusión, se observó un impacto en la temperatura rectal, la frecuencia respiratoria y las variables hematológicas dependiendo de la estación del año y la hora del día en las cabras Alpinas de la Comarca Lagunera.

Palabras clave: Estrés, Homeotermo, Termorregulación, Metabolismo, Eritropoyesis

ABSTRACT

The aim of the study was to compare the time of year and time of day on rectal temperature, respiratory rate and hematological variables in Alpine goats from the Comarca Lagunera. The study was conducted in the city of Torreon, Coahuila, Mexico (25°N). The region has a semi-arid climate with an average annual temperature of 22.3 °C. A total of 10 non-lactating multiparous Alpine goats were used. The goats had a body condition of 2.5 ± 0.5 (scale 1: emaciated and 5: obese) at the time of the study. The females were stabled and fed alfalfa hay to meet their daily requirements. The rectal temperature (RT) and respiratory rate (RR) of the goats were recorded during the morning and afternoon in summer and autumn. In addition, a blood sample was taken to evaluate their blood parameters. An effect of the station ($P=0.01$), day of sampling ($P<0.0001$) and station*day interaction ($P=0.02$) was observed in the RT. The highest TR was recorded in the afternoon during the summer season. The RF was higher in the summer afternoon ($P<0.05$). Regarding the hematological variables evaluated, an effect of the season and time of sample collection was observed (Table 1). In the summer there was a lower count of leukocytes, erythrocytes, hemoglobin, and hematocrit percentage than in the fall ($P<0.0001$). In conclusion, an impact on rectal temperature, respiratory rate, and hematological variables was observed depending on the season of the year and the time of day in Alpine goats from the Comarca Lagunera.

Keywords: Stress, Homeotherm, Thermoregulation, Metabolism, Erythropoiesis

1. Introducción

Las cabras son animales sumamente importantes ya que proporcionan leche y carne de alta calidad, así como por su alta capacidad de supervivencia y adaptabilidad a condiciones ambientales severas (Shawaf et al., 2021). En México, hay alrededor de 8.7 millones de cabras de las que dependen cerca de 320000 familias contribuyendo de manera significativa en la economía rural al proporcionar carne y leche de alta calidad y fuente principal de ingresos (Miller y Lu, 2019; Pinos-Rodríguez et al., 2015). La mayoría de las cabras en México se crían en regiones áridas y semiáridas en sistemas extensivos y semi-extensivos donde se alimentan con vegetación nativa y sin suplementación alimenticia (Pinos-Rodríguez et al., 2015).

Bajo estas circunstancias, las cabras son sometidas a condiciones climáticas adversas por lo que requieren de múltiples adaptaciones necesarias para afrontar estas características, especialmente los cambios en la temperatura (Diya, 2023). Cuando son expuestos a condiciones ambientales por encima o por debajo de dicha zona, una serie de respuestas fisiológicas y conductuales se desencadenan en un intento de adaptarse al estrés térmico (Pardo y Del Prado, 2021). Altas temperaturas como las observadas durante el verano, pueden afectar negativamente la productividad, reproducción y salud de las cabras al provocar estrés (Diya, 2023; Habibu, Kawu, Makun, et al., 2017). Entre las alteraciones que se han observado en caprinos durante la temporadas calurosas son cambios en la frecuencia respiratoria y composición de los componentes sanguíneos y el metabolismo pudiendo variar entre las razas (Habibu, Kawu, Aluwong, et al., 2017).

La Comarca Lagunera es una de las zonas del país donde la producción caprina es sumamente importante, con una población de aproximadamente 400 mil animales que, producen el 40% de la leche de cabra en el país, con 62×10^6 litros anuales (Salinas-González et al., 2016). Sin embargo, en esta región Rodríguez-Venegas et al. (2022) reportan que hay 300 días del año en el que los bovinos

lecheros experimentan estrés por calor (índice ITH ≥ 68). Es por ello que es necesario realizar estudios para determinar el impacto de la temperatura ambiental en las cabras.

1.1. Hipótesis

La hipótesis del estudio fue que la época del año (verano y otoño) y la hora del día (am y pm) afectan la temperatura rectal, frecuencia respiratoria y las variables hematológicas en cabras Alpinas de la Comarca Lagunera.

1.2. Objetivo

El objetivo del estudio fue comparar la época del año y la hora del día sobre la temperatura rectal, frecuencia respiratoria y variables hematológicas en cabras Alpinas de la Comarca Lagunera.

2. Revisión de Literatura

2.1. Mecanismos de termorregulación

Las cabras son animales homeotérmicos es decir, pueden mantener una temperatura corporal casi constante a través de un balance entre la producción, conservación y disipación del calor bajo una amplia gama de condiciones ambientales (Souza et al., 2013). En todos los animales homeotérmicos la temperatura se mantiene mediante mecanismos termorreguladores dentro de ± 1 °C de su temperatura normal (Aggarwal y Upadhyay, 2012). La temperatura rectal es uno de los indicadores fisiológicos de la temperatura central y en caprinos varía entre 38.5 y 39.7 °C alcanzando el mínimo por la mañana y el máximo por la tarde (Lima et al., 2020). El control central de la termorregulación es una red entre las vías neuronales centrales que transmiten las señales de la temperatura ambiente, el hipotálamo, específicamente el núcleo supraquiasmático, que las recibe e integra la información de la temperatura cerebral y los circuitos a través de los cuales se orquestan los diversos patrones de respuestas efectoras térmicas para mantener una temperatura cerebral homeostática (Morrison y Nakamura, 2011). La red termorreguladora central comprende las vías a través de las cuales la sensación de frío y calor cutáneo y

visceral y/o las reducciones o elevaciones de la temperatura a nivel cerebral provocan cambios en los tejidos efectores termorreguladores para contrarrestar o proteger contra los cambios en la temperatura del cerebro y otros órganos críticos. Por ejemplo, los mecanismos efectores cuando hace frío, con el fin de aumentar el gasto energético y reducir la pérdida de calor, provocando la vasoconstricción cutánea, la piloerección, termogénesis a través de la movilización del tejido adiposo pardo y la termogénesis temblorosa en el músculo esquelético (Morrison y Nakamura, 2011). Por su parte, cuando hace calor los mecanismos termorreguladores se centran en aumentar la pérdida de calor, a través de la vasodilatación cutánea, la sudoración, aumento de la respiración o jadeo y disminución del metabolismo (Diya, 2023; Gupta y Mondal, 2021; Morrison y Nakamura, 2011).

2.2. Respuesta de las cabras al estrés por calor

La mayoría de las cabras vive en condiciones climáticas extremas, con una gran capacidad para convertir diferentes recursos alimenticios en leche y carne con un valor biológico superior al de otros rumiantes domésticos (Navarrete-Molina et al., 2020). En México las cabras se manejan bajo sistemas extensivos en regiones áridas y semiáridas (más del 50% del territorio) donde pastorean en pastizales comunales durante todo el año, sin suplementos alimenticios (Pinos-Rodríguez et al., 2015). Los caprinos están bien adaptados para sobrevivir y producir bajo diferentes condiciones geográficas y ambientales; y en general tienden a tolerar mejor el calor que otras especies (Sarangi, 2018) debido entre otras cosas a su tamaño, menor tasa metabólica y mejor conservación del agua (Silanikove, 2000). No obstante, cuando la temperatura ambiente excede su zona termoneutral (ZTN) pueden experimentar estrés por calor (Diya, 2023).

La ZTN se define como el rango de temperatura ambiente dentro de la cual los animales no utilizan energía adicional para mantener su temperatura corporal, dentro de la cual los costes fisiológicos son mínimos, y la productividad es máxima (Aggarwal y Upadhyay, 2012). En caprinos, la zona termoneutral es de 12 a 24 °C (Gupta y Mondal, 2021). Si la temperatura ambiente se eleva por

encima de este rango ocurre un desequilibrio entre la producción de calor y la pérdida de calor, lo que conduce a estrés térmico (Bernabucci et al., 2014). Cuando los animales no pueden disipar el calor corporal que generan o absorben del ambiente, estos utilizan mecanismos y cambios fisiológicos que ayudan a controlar la homeostasis para mantener constante su temperatura corporal en situaciones de estrés térmico (Bernabucci et al., 2014; Diya, 2023). En condiciones de estrés térmico, se activan una serie de mecanismos tendientes a disminuir la producción de calor o aumentar la pérdida de este, entre los que se encuentran cambios fisiológicos, anatómicos y conductuales, tales como la reducción de la ingesta de alimento, la disminución de la actividad física, aumento de la sudoración y frecuencia respiratoria, así como cambios en el flujo sanguíneo periférico y la función endocrina (Figura 2; Diya, 2023; Ferreira et al., 2023).

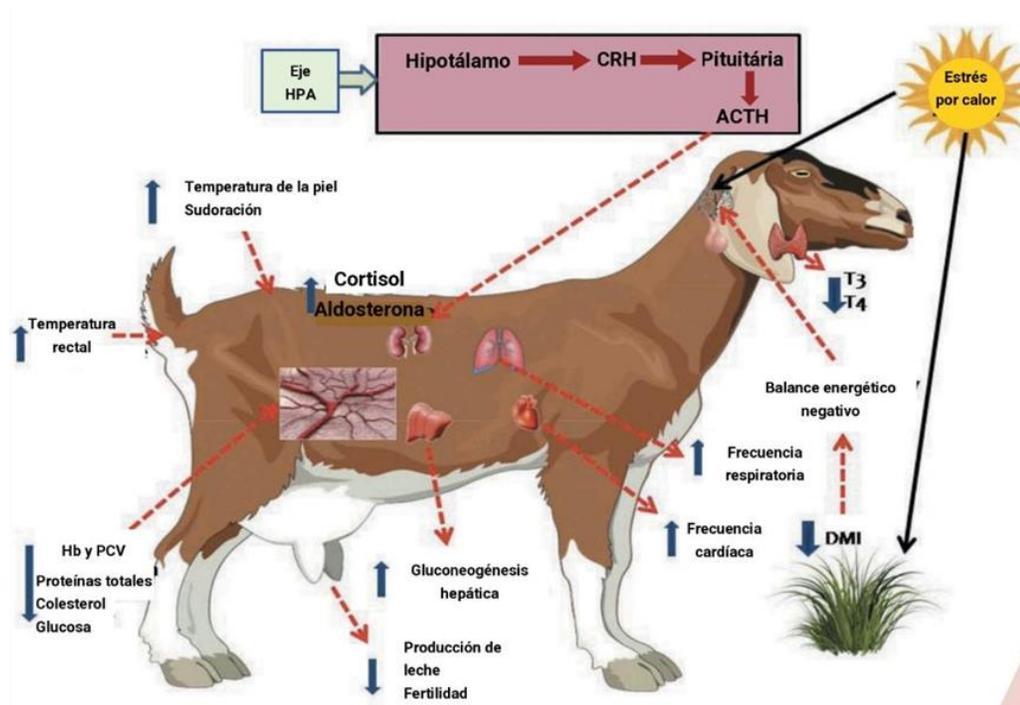


Figura 1 Impactos negativos del estrés por calor en las cabras (Abreviaturas: eje HPA: eje hipotálamo-pituitario-suprarrenal, CRH: hormona liberadora de corticotropina, ACTH: hormona adrenocorticotrópica, Hb: hemoglobina, PCV: volumen de células empaquetadas, DMI: ingesta de materia seca, T3: triyodotironina, T4: tiroxina) (Modificado de Pragna et al. 2017).

De acuerdo con Ferreira et al. (2023) la respuesta inicial de las cabras Canindé al estrés por calor es un aumento de la sudoración y la frecuencia respiratoria cuando la temperatura ambiental está por encima de los 17-21 °C lo que provoca la pérdida de calor por evaporación (Ribeiro et al., 2018). En comparación con una frecuencia respiratoria basal de 15 a 30 respiraciones/min, se considera que las cabras que exhiben una frecuencia respiratoria de 40 a 60, 60 a 80, 80 a 120 y más de 200 respiraciones/min están expuestas a niveles bajos, medios, altos y estrés por calor severo, respectivamente. Sin embargo, el mecanismo de enfriamiento por evaporación respiratoria falla cuando la temperatura ambiente aumenta más allá del nivel umbral (Sejian et al., 2021). Adicionalmente, hay un aumento de la frecuencia cardíaca y del flujo de sangre hacia la periferia del cuerpo, lo que resulta en una mayor pérdida de calor por vías sensibles (pérdida por conducción, convección y radiación) e insensibles (pérdida de agua por difusión desde la piel) reduciendo la temperatura superficial (Ribeiro et al., 2018; Ribeiro et al., 2016). El metabolismo también disminuye en respuesta al aumento de la temperatura. Se ha reportado una disminución en la ingesta de materia seca (DMI) conforme la temperatura ambiental aumenta para evitar la producción de calor debido al incremento de calor (Lima et al., 2020). Las cabras bajo estrés térmico disminuyen su consumo de materia seca, pudiendo aumentar los requisitos de energía de mantenimiento entre un 30% (Lima et al., 2020).

Los parámetros sanguíneos son sensibles a los cambios de temperatura y es un importante indicador de las respuestas fisiológicas al estrés (Ribeiro et al., 2018). Algunos autores mencionan que las cabras estresadas presentan niveles más bajos de hemoglobina, volumen celular empaquetado y menor número de eritrocitos (Gupta et al., 2013; Kumar et al., 2011). El estrés por calor aumenta el consumo de oxígeno de los animales al aumentar la frecuencia respiratoria, aumentando la presión parcial de oxígeno en la sangre disminuyendo la eritropoyesis (Gupta y Mondal, 2021). Por otra parte, con el aumento de la temperatura ambiental, el animal pierde líquidos a través de las vías respiratorias, reduciendo el plasma sanguíneo y aumentando la concentración del hematocrito. Sin embargo puede ocurrir una disminución del hematocrito debido a un efecto

de hemodilución (Ribeiro et al., 2018). No obstante, otros autores no observaron cambios en el hematocrito o hemoglobina en cabras bajo estrés por calor (Hamzaoui et al., 2020) o incluso aumentaron durante el estrés por calor (Alam et al., 2011). Las diferencias entre los diferentes estudios pueden deberse a las diferencias en las capacidades de adaptación de los animales, razas o el estado fisiológico y su capacidad para disipar el exceso de calor a través del enfriamiento por evaporación y al mismo tiempo minimizar la pérdida de líquidos corporales (Habibu et al., 2018). En cabras de razas Baladi, el conteo total de leucocitos disminuyó durante condiciones de estrés por calor (El-Tarabany et al., 2017). Esta disminución en el número de células blancas podría atribuirse al aumento en el nivel de cortisol afectando negativamente la respuesta inmune de las cabras. Aunque, al igual que ocurre con los eritrocitos, otros autores reportan un aumento en el número de leucocitos bajo condiciones de estrés (El-Tarabany et al., 2017).

Existen diversas hormonas que están directamente involucradas en la respuesta de adaptación de las cabras al estrés por calor. Las hormonas tiroideas desempeñan un papel vital en la adaptación metabólica y actúan como un indicador de la termotolerancia de los caprinos. Las hormonas tiroideas, específicamente la triyodotironina (T3) y la tiroxina (T4), juegan un papel vital en la adaptación metabólica y el crecimiento de los animales. Las hormonas tiroideas aumentan el consumo de oxígeno por las células y la capacidad para la producción de calor, lo que eleva la tasa metabólica basal (Gupta y Mondal, 2021). Es por ello que, cuando la temperatura ambiente está elevada y las cabras experimentan estrés, como en el verano, los niveles de T3 y T4 son más bajos en un intento por disminuir la producción de calor endógeno, observándose una correlación inversa entre la temperatura ambiente y los niveles de hormonas tiroideas (Prathap Pragna V. Sejian y Bhatta, 2018; Ribeiro et al., 2016). El cortisol es otra de las hormonas asociadas con el estrés por calor en animales (Gupta y Mondal, 2021). Es claro que cuando los caprinos experimentan estrés los niveles de cortisol aumentan (Ribeiro et al., 2016). Durante el estrés, una de las principales funciones del cortisol es promover el catabolismo proteico,

convirtiendo a las proteínas en aminoácidos para la gluconeogénesis (M. N. Ribeiro et al., 2018). Sin embargo, el cortisol puede disminuir la respuesta inmune de las cabras comprometiendo su estado de salud.

2.3. Efecto del estrés por calor sobre la producción

El estrés térmico causado por las altas temperaturas en las regiones tropicales y/o semiáridas, es uno de los principales factores que limitan la eficiencia de los animales en este entorno (Fonseca et al., 2016). En la figura 2 se muestran los efectos del estrés térmico sobre las cabras. Se ha reportado que cabras lecheras bajo este térmico producen hasta 16% menos leche durante toda la lactación (Hooper et al., 2020). Sin embargo, Hamzaoui et al. (2013) no reportan diferencias entre la producción de leche, solo una disminución en el contenido de proteína en la leche de cabras bajo estrés térmico. Esta diferencia podría deberse a la raza o a la etapa de lactación (Hamzaoui et al., 2013; Hooper et al., 2020). Los efectos negativos del estrés por calor sobre el rendimiento lactante de las cabras se atribuyen a la disminución en el consumo de alimento y el efecto directo sobre la glándula mamaria (Contreras et al., 2018). Efectivamente, el estrés térmico disminuye el 25% del consumo de materia seca en cabras lactantes (Hamzaoui et al., 2013).

En cuanto a la reproducción la fertilidad de las cabras bajo estrés térmico disminuye (Adjassin et al., 2022). En el estudio de Adjassin et al. (2022) las cabras bajo estrés moderado tuvieron un mayor número de crías nacidas vivas (117.1%) y una mayor tasa de concepción (83.5%) que las cabras bajo estrés térmico severo (89.7% y 77.9%, respectivamente). Por otra parte, también se observa una menor ganancia diaria de peso. En ovinos bajo estrés por calor la ganancia diaria de peso y la eficiencia alimenticia fueron menores (Nicolás-López et al., 2021). El estrés por calor tiene varios efectos sobre la fermentación ruminal. El pH del rumen disminuye significativamente, tiene un efecto adverso en el metabolismo de las proteínas y otras sustancias nitrogenadas en la dieta y sobre la concentración de ácidos grasos volátiles totales (Cai et al., 2019).

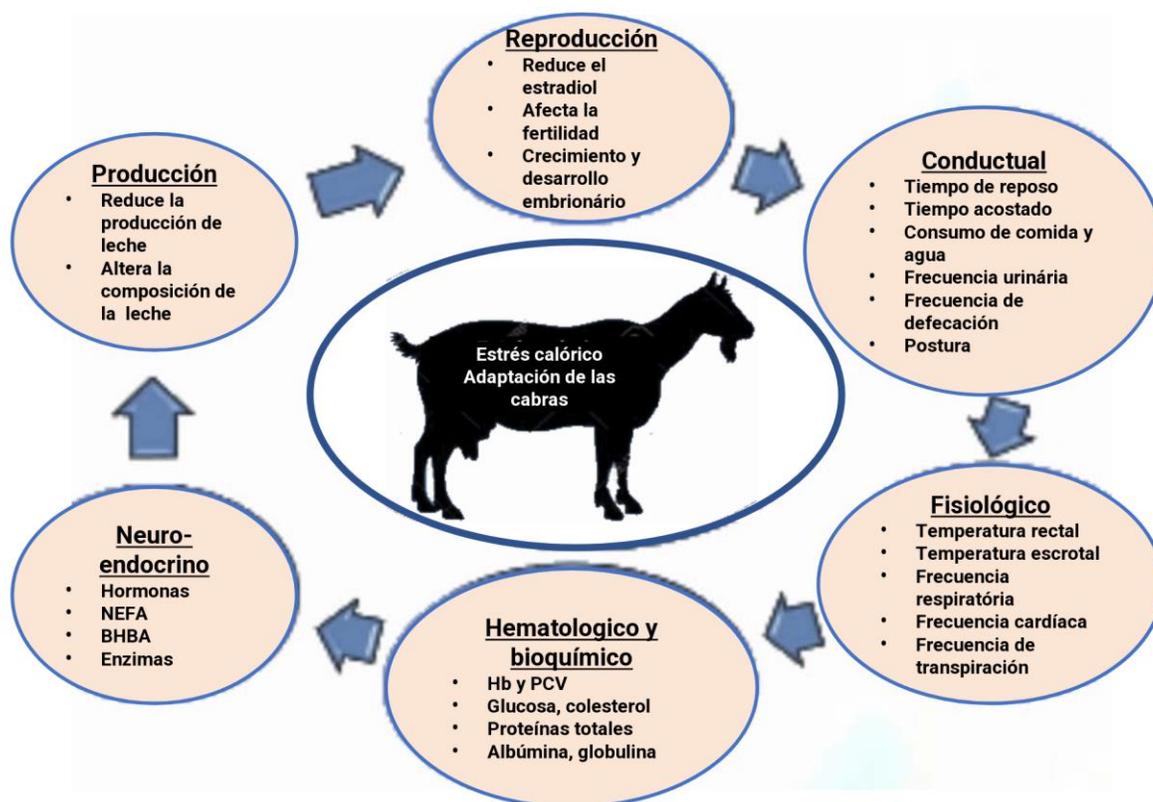


Figura 2 Efecto del estrés térmico en cabras (Modificado de Sejian et al. 2018).

3. Materiales y Métodos

3.1. Lugar del experimento y manejo de los animales

El estudio se realizó en la ciudad de Torreón, Coahuila, México. Esta región se localiza a 25° 33' 19" LN y 103° 22' 14" LO. La ciudad se encuentra a una altitud media de 1120 m sobre el nivel del mar. La región tiene un clima semiárido con una temperatura media anual de 22.3 °C y una precipitación anual de 225 mm. Se trabajó con 10 cabras de raza Alpina multíparas no lactantes. Las cabras tenían una condición corporal de 2.5 ± 0.5 (escala 1: emaciada y 5: Obesa) al momento del estudio. Las hembras estaban estabuladas y se alimentaban con heno de alfalfa para satisfacer sus requerimientos diarios. El agua y los minerales se les administro a libre acceso. Las cabras fueron desparasitadas regularmente y al momento del experimento se encontraban clínicamente sanas.

3.2. Diseño experimental y toma de muestras

El registro de la temperatura rectal y la toma de muestras sanguíneas en las cabras se realizaron durante el verano (julio-agosto) y el otoño (octubre-noviembre) por la mañana (8:00 a 10:00 h) y por la tarde (14:00 a 16:00 h) durante cuatro días en cada estación. Para la toma de muestras las cabras fueron colocadas en una jaula de manejo en un área sombreada. La temperatura rectal (TR) se registró con un termómetro clínico (Neuken®, Hangzhou Sejoy Electronics y Instruments Co. Ltd; rango de temperatura de 32 °C a 42.9 °C ± 0.1 °C) introducido por el recto a 3.0 cm de profundidad aproximadamente. Después de la toma de la TR las hembras se sangraron de la vena yugular con tubos Vacutainer® con agujas de 20 G x 11/2 (VETCO®, México) de 4 mL con 7.2 mg de K2 EDTA. Posteriormente, las muestras fueron transportadas al laboratorio de Bromatología de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro de la Unidad Laguna hasta su análisis. Las muestras de sangre se analizaron con el equipo Hemalyzer 2000 (Minneapolis, MN, USA). Se realizó el conteo total de leucocitos ($\times 10^{12}/L$), eritrocitos ($\times 10^{12}/L$), hemoglobina (g/dL) y hematocrito (%) de acuerdo con los parámetros del equipo.

3.3. Análisis estadístico

La TR y las variables hematológicas entre las estaciones del año (verano vs otoño) por la mañana y la tarde fueron comparadas usando el PROC GLM de SAS (SAS Institute Inc., Cary N.C., USA). Los resultados se presentan como media ± EEM. Se consideró un nivel de significancia de $P < 0.05$.

4. Resultados

Los resultados de la temperatura ambiental durante el periodo experimental se muestran en el Cuadro 1. El rango de temperaturas mínima y máxima por la mañana y la tarde durante el verano oscilo de 23 a 24 °C mientras que la máxima fue de 31 a 41 °C, mientras que en el otoño la mínima fue de 11 a 23 °C y la máxima de 20 a 28 °C.

Cuadro 1 Temperatura ambiental mínima, máxima y media registrada durante el día en el verano y otoño en el periodo experimental

	Verano		Otoño	
	Mañana	Tarde	Mañana	Tarde
Máxima (°C)	31	41	20	28
Mínima (°C)	24	23	11	23
Media (°C)	26.0 ± 0.5b	33.4 ± 0.5c	15.0 ± 0.5a	24.8 ± 0.5b

La TR, FR y variables hematológicas se muestran en el Cuadro 2. Se observó un efecto de la estación ($P= 0.01$), hora de la toma de muestra ($P<0.0001$) e interacción estación*día ($P=0.02$) sobre la TR. La TR más alta se registró por la tarde durante la época de verano. La FR fue mayor en la tarde del verano ($P<0.05$). Mientras que la FR más baja se registró en la mañana del verano ($P<0.05$). En cuanto a las variables hematológicas evaluadas se observó un efecto de la estación y la hora de la toma de muestra (Cuadro 1). En el verano se observó un menor conteo de leucocitos, eritrocitos, hemoglobina y porcentaje de hematocrito que en el otoño ($P<0.0001$).

Cuadro 2 Temperatura rectal (TR), frecuencia respiratoria (FR) y variables hematológicas de las cabras alpinas durante el verano y otoño

	Verano		Otoño		Estación	Día	Estación*Día
	Mañana	Tarde	Mañana	Tarde			
TR (°C)	38.8 ± 0.08 ^a	39.3 ± 0.08 ^b	38.8 ± 0.08 ^a	38.9 ± 0.08 ^a	0.01	<0.0001	0.02
FR (rpm)	36.6 ± 1.6 ^b	55.6 ± 1.6 ^c	22.0 ± 1.6 ^a	35.6 ± 1.6 ^b	<0.0001	<0.0001	0.09
Leucocitos (10 ¹² /mL)	15.4 ± 0.7 ^b	14.2 ± 0.7 ^b	26.3 ± 0.7 ^a	24.0 ± 0.7 ^a	<0.0001	0.01	0.45
Eritrocitos (10 ¹² /mL)	8.8 ± 0.1 ^b	8.6 ± 0.1 ^b	9.9 ± 0.1 ^a	9.4 ± 0.1 ^a	<0.0001	0.03	0.36
Hemoglobina (g/dL)	9.3 ± 0.1 ^b	9.0 ± 0.1 ^b	11.5 ± 0.1 ^a	11.0 ± 0.1 ^a	<0.0001	0.04	0.55
Hematocrito (%)	1.5 ± 0.06 ^{ab}	1.3 ± 0.06 ^b	1.7 ± 0.6 ^a	1.5 ± 0.06 ^{ab}	0.001	0.008	0.91

^{a,b} indican diferencias significativas entre filas (P<0.05)

5. Discusión

Los resultados del presente estudio muestran un efecto de la estación y la hora del día sobre las variables estudiadas. Las cabras mostraron una mayor temperatura rectal durante la tarde del verano que en el invierno, así como una mayor frecuencia respiratoria. Este incremento en la temperatura rectal como en la frecuencia respiratoria fue en concordancia con el aumento de la temperatura ambiente, similar a lo reportado en otros estudios (Hamzaoui et al., 2013; Lima et al., 2020; Ribeiro et al., 2016). La frecuencia respiratoria es uno de los indicadores de estrés térmico en rumiantes (Srivastava et al., 2021). En cabras adultas, la frecuencia respiratoria varía entre 15 y 30 respiraciones/min (Hamzaoui et al., 2013). Sin embargo, en cabras con estrés por calor puede llegar a más de 40 respiraciones/min (Ribeiro et al., 2016), similar a la registrada en nuestro estudio.

Bajo condiciones de estrés por calor, el aumento de la frecuencia respiratoria es un mecanismo de termorregulación para disipar el calor a través de la evaporación y disminuir la temperatura corporal (Gupta y Mondal, 2021). Durante el verano la temperatura ambiental por la mañana y por la tarde fue de 26.0 ± 0.5 y 33.4 ± 0.5 °C respectivamente, siendo la máxima de hasta 41 °C por la tarde. En cabras, la zona termo-neutral es entre 12 y 24 °C. por encima de esta zona las cabras activan sus mecanismos de termorregulación afectando su metabolismo (Gupta y Mondal, 2021). De acuerdo con lo anterior, durante el presente estudio las cabras se encontraban por encima de su zona termo-neutral lo que podría indicar que los animales se encontraban bajo estrés térmico (Lima et al., 2020).

Con respecto a las variables hematológicas se observó que tanto los leucocitos, así como los eritrocitos y la hemoglobina disminuyeron significativamente durante el verano que en el otoño. Algunos autores mencionan que las cabras estresadas presentan niveles más bajos de hemoglobina, volumen celular empaquetado y menor número de eritrocitos y leucocitos (Gupta et al., 2013; Kumar et al., 2011;

El-Tarabany et al., 2017). Sin embargo, los resultados son contradictorios, ya que otros autores no observaron cambios en el hematocrito o hemoglobina en cabras bajo estrés por calor (Hamzaoui et al., 2020) o incluso aumentaron durante el estrés por calor (Alam et al., 2011). Estas diferencias podrían deberse a la capacidad de adaptación de los animales, la raza o el estado fisiológico, así como la capacidad para disipar el exceso de calor a través del enfriamiento por evaporación y al mismo tiempo minimizar la pérdida de líquidos corporales por los animales (Habibu et al., 2018).

6. Conclusión

Las variaciones en la frecuencia respiratoria y la temperatura rectal durante el otoño y el verano nos muestran cómo las cabras se adaptan a los cambios de temperatura ambiente. Durante el verano, observamos un aumento debido a los mecanismos de termorregulación. Estos mecanismos también influyen en los componentes sanguíneos, que cambian como resultado del metabolismo durante la exposición a altas temperaturas. Con lo cual observamos que existe un impacto en la temperatura rectal, la frecuencia respiratoria y las variables hematológicas dependiendo de la estación del año y la hora del día en las cabras Alpinas.

7. Referencias

- Adjassin, J. S., Séidou, A. A., Bani, A. A., Worogo, H. S. S., Alabi, C. D., Assogba, B. G. C., Azando, E. B. V., y Alkoiret, I. T. (2022). Impact of heat stress on reproductive performances in dairy goats under tropical sub-humid environment. *Heliyon*, 8(2), e08971. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e08971>
- Aggarwal, A., y Upadhyay, R. C. (2012). Heat Stress and Animal Productivity. *Heat Stress and Animal Productivity*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:83152006>
- Alam, M. M., Hashem, M. A., Rahman, M. M., Hossain, M. M., Haque, M. R., Sobhan, Z., y Islam, M. S. (2011). Effect of heat stress on behavior, physiological and blood parameters of goat. *Progressive Agriculture*, 22(1–2), 37–45.
- Bernabucci, U., Biffani, S., Buggiotti, L., Vitali, A., Lacetera, N., y Nardone, A. (2014). The effects of heat stress in Italian Holstein dairy cattle. *Journal Of Dairy Science*, 97(1), 471-486. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-6611>
- Cai, L., Yu, J., Hartanto, R., Zhang, J., Yang, A., y Qi, D. (2019). Effects of heat challenge on growth performance, ruminal, blood and physiological parameters of Chinese crossbred goats. *Small Ruminant Research*, 174, 125–130. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2019.02.021>
- Contreras-Jodar, A., Salama, A. A. K., Hamzaoui, S., Vailati-Riboni, M., Caja, G., y Lóor, J. J. (2018). Effects of chronic heat stress on lactational performance and the transcriptomic profile of blood cells in lactating dairy goats. *Journal Of Dairy Research*, 85(4), 423-430. <https://doi.org/10.1017/s0022029918000705>
- Diya, A.-R. (2023). Thermoregulation in sheep and goats: A review. *Asian J. Biol*, 17(1), 34–42.
- El-Tarabany, M. S., El-Tarabany, A. A., y Atta, M. A. (2017). Physiological and lactation responses of Egyptian dairy Baladi goats to natural thermal stress under subtropical environmental conditions. *International Journal of Biometeorology*, 61(1), 61–68. <https://doi.org/10.1007/s00484-016-1191-2>
- Ferreira, J., Silveira, R. M. F., Façanha, D. A. E., y McManus, C. M. (2023). Understanding the environmental stress on thermoregulation actions of native goats using broken-line regression. *International Journal of Biometeorology*, 67(6), 1031–1037. <https://doi.org/10.1007/s00484-023-02476-6>
- Fonseca, W. J. L., Azevêdo, D., Campelo, J. E. G., Fonseca, W. L., Luz, C. S. M., Oliveira, M. R. A., Evangelista, A. F., Borges, L. S., y Júnior, S. C. S. (2016). Effect of heat stress on milk production of goats from Alpine and Saanen breeds in Brazil. *Archivos de Zootecnia*, 65(252), 615–621.

- Gupta, M., Kumar, S., Dangi, S. S., y Jangir, B. L. (2013). Physiological, biochemical and molecular responses to thermal stress in goats. *International Journal of Livestock Research*, 3(2), 27–38.
- Gupta, M., y Mondal, T. (2021). Heat stress and thermoregulatory responses of goats: a review. *Biological Rhythm Research*, 52(3), 407–433.
- Habibu, B., Dzenda, T., Ayo, J. O., Yaqub, L. S., y Kawu, M. U. (2018). Haematological changes and plasma fluid dynamics in livestock during thermal stress, and response to mitigative measures. *Livestock Science*, 214, 189–201. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.05.023>
- Habibu, B., Kawu, M., Makun, H., Aluwong, T., Yaqub, L., Dzenda, T., y Buhari, H. (2017). Influences of breed, sex and age on seasonal changes in haematological variables of tropical goat kids. *Archives Animal Breeding*, 60(1), 33–42.
- Habibu, B., Kawu, M. U., Aluwong, T., y Makun, H. J. (2017). Influence of seasonal changes on physiological variables, haematology and serum thyroid hormones profile in male Red Sokoto and Sahel goats. *Journal of Applied Animal Research*, 45(1), 508–516.
- Hamzaoui, S., Caja, G., Such, X., Albanell, E., y Salama, A. A. K. (2020). Milk production and energetic metabolism of heat-stressed dairy goats supplemented with propylene glycol. *Animals*, 10(12), 2449.
- Hamzaoui, S., Salama, A. A. K., Albanell, E., Such, X., y Caja, G. (2013). Physiological responses and lactational performances of late-lactation dairy goats under heat stress conditions. *Journal of Dairy Science*, 96(10), 6355–6365.
- Hooper, H. B., Silva, P. dos S., De Oliveira, S. A., Meringhe, G. K. F., Lacasse, P., y Negrão, J. A. (2020). Effect of heat stress in late gestation on subsequent lactation performance and mammary cell gene expression of Saanen goats. *Journal of Dairy Science*, 103(2), 1982–1992.
- Kumar, M., Jindal, R., y Nayyar, S. (2011). Influence of heat stress on antioxidant status in Beetal goats. *Indian Journal of Small Ruminants (The)*, 17(2), 178–181.
- Lima, A. R. C., Fernandes, M. H. M. da R., Silveira, R. F., Biagioli, B., Teixeira, I. A. M. de A., y Resende, K. T. de. (2020). Energy expenditure of Saanen and Anglo-Nubian goats at different temperatures. *Small Ruminant Research*, 193, 106256. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2020.106256>
- Miller, B. A., y Lu, C. D. (2019). Current status of global dairy goat production: An overview. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 32(8), 1219.

- Morrison, S. F., y Nakamura, K. (2011). Central neural pathways for thermoregulation. *Frontiers in Bioscience: A Journal and Virtual Library*, 16, 74.
- Navarrete-Molina, C., Meza-Herrera, C. A., y Herrera Machuca, M. A. (2020). The ruminant production systems in the Comarca Lagunera, Mexico: environmental impact, productive trends, and mitigation strategies. <http://hdl.handle.net/10396/20052>
- Nicolás-López, P., Macías-Cruz, U., Mellado, M., Correa-Calderón, A., Meza-Herrera, C. A., y Avendaño-Reyes, L. (2021). Growth performance and changes in physiological, metabolic and hematological parameters due to outdoor heat stress in hair breed male lambs finished in feedlot. *International Journal of Biometeorology*, 65, 1451–1459.
- Pardo, G., y Del Prado, A. (2021). A simple model for the effect of thermal stress on the productivity of small ruminants. *Livestock Science*, 251, 104649. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2021.104649>
- Pinos-Rodríguez, J. M., Gómez-Ruiz, W. J., Aguirre-Rivera, J. R., García-López, J. C., y Álvarez-Fuentes, G. (2015). Profitability of goat production in the Mexico highlands. *Outlook on AGRICULTURE*, 44(3), 223–233.
- Pragna, P., Pr, A., Joy, A., Sejian, V., Krishnan, G., Bagath, M., Manimaran, A., Beena, Ek, K., Varma, G., y Bhatta, R. (2017). Heat Stress and Dairy Cow: Impact on Both Milk Yield and Composition. *International Journal Of Dairy Science*, 12(1), 1-11. <https://doi.org/10.3923/ijds.2017.1.11>
- Prathap Pragna V. Sejian, N. M. S. M. B. G. K. V. B. P. I. D., y Bhatta, R. (2018). Summer season induced rhythmic alterations in metabolic activities to adapt to heat stress in three indigenous (Osmanabadi, Malabari and Salem Black) goat breeds. *Biological Rhythm Research*, 49(4), 551–565. <https://doi.org/10.1080/09291016.2017.1386891>
- Ribeiro, M. N., Ribeiro, N. L., Bozzi, R., y Costa, R. G. (2018). Physiological and biochemical blood variables of goats subjected to heat stress—a review. *Journal of Applied Animal Research*, 46(1), 1036–1041.
- Ribeiro, N. L., Costa, R. G., Pimenta Filho, E. C., Ribeiro, M. N., Crovetti, A., Saraiva, E. P., y Bozzi, R. (2016). Adaptive profile of Garfagnina goat breed assessed through physiological, haematological, biochemical and hormonal parameters. *Small Ruminant Research*, 144, 236–241.
- Rodriguez-Venegas, R., Meza-Herrera, C. A., Robles-Trillo, P. A., Angel-Garcia, O., Rivas-Madero, J. S., y Rodriguez-Martínez, R. (2022). Heat stress characterization in a dairy cattle intensive production cluster under arid land conditions: An annual, seasonal, daily, and minute-to-minute, big data approach. *Agriculture*, 12(6), 760.
- Salinas-González, H., Moysen, E. D. V., de Santiago, M. de los A., Deras, F. G. V., Jáquez, J. A. M., Monroy, L. I. V., Hernández, D. T., Requejo, L. M. I., y

- Viramontes, U. F. (2016). Análisis descriptivo de unidades caprinas en el suroeste de la región lagunera, Coahuila, México. *Interciencia*, 41(11), 763–768.
- Saranghi, S. (2018). Adaptability of goats to heat stress: A review. *The Pharma Innovation Journal*, 7(4), 1114–1126.
- Sejian, V., Bhatta, R., Gaughan, J. B., Dunshea, F. R., y Lacetera, N. (2018). Review: Adaptation of animals to heat stress. *Animal*, 12, s431-s444. <https://doi.org/10.1017/s1751731118001945>
- Sejian, V., Silpa, M. V., Nair, M. R. R., Devaraj, C., Krishnan, G., Bagath, M., Chauhan, S. S., Suganthi, R. U., De França Carvalho Fonsêca, V. F. C., König, S., Gaughan, J. B., Dunshea, F. R., y Bhatta, R. (2021). Heat Stress and Goat Welfare: adaptation and production Considerations. *Animals*, 11(4), 1021. <https://doi.org/10.3390/ani11041021>
- Shawaf, T., Bulushi, S. A., Al-Ali, M. A., Meligy, A. M. A., Salouci, M., y Hussien, J. (2021). Investigation of some trace elements and hematological and biochemical parameters in the blood of emaciated omani goats. *Veterinary World*, 14(7), 1960-1965. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2021.1960-1965>
- Silanikove, N. (2000). The physiological basis of adaptation in goats to harsh environments. *Small Ruminant Research*, 35(3), 181–193.
- Souza, R. B. de, Nascimento, M. R. B. de M., y Igarasi, M. S. (2013). *Thermoregulatory characteristics of goats on tropical environment*.
- Srivastava, A., Yadav, P., Mahajan, A., Anand, M., Yadav, S., Madan, A. K., y Yadav, B. (2021). Appropriate THI model and its threshold for goats in semi-arid regions of India. *Journal of Thermal Biology*, 96, 102845. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2021.102845>