

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS MÉDICO VETERINARIAS



Caracterización ambiental y fisiológica del estrés térmico en machos cabríos
criollos en la Comarca Lagunera

Por:

Jose Roberto Montesinos Vilchis

TESIS

Presentada como requisito para obtener el título de

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Torreón, Coahuila, México
Septiembre 2026

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS MÉDICO VETERINARIAS

Caracterización ambiental y fisiológica del estrés térmico en machos
cabríos criollos en la Comarca Lagunera

Por:

Jose Roberto Montesinos Vilchis

TESIS

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

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Aprobado por:



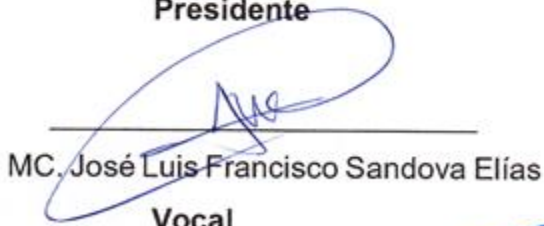
Dra. Luz María Tejada Ugarte

Presidente



MC. Luis Roberto Zivec Gaxiola

Vocal



MC. José Luis Francisco Sandoval Elías

Vocal



MVZ. César Octavio Cruz Marmolejo

Vocal suplente



MVZ. Eric Alejandro Reyes Ramírez

Coordinador de la División Regional de Ciencia Animal

Torreón, Coahuila, México
Septiembre 2026



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS MÉDICO VETERINARIAS

Caracterización ambiental y fisiológica del estrés térmico en machos
cabríos criollos en la Comarca Lagunera

Por:

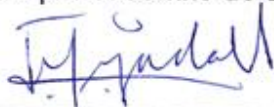
Jose Roberto Montesinos Vilchis

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Aprobado por el comité de asesoría



Dra. Luz María Tejada Ugarte

Asesor Principal



MC. Luis Roberto Zivec Gaxiola

Coasesor



MC. José Luis Francisco Sandova Elías

Coasesor



MVZ. Eric Alejandro Reyes Ramírez

Coordinador de la División Regional de Ciencia Animal

Torreón, Coahuila, México
Septiembre 2026



AGRADECIMIENTOS

En este apartado estan todas esas personas que hicieron posible la meta de culminar la carrera de Médico Veterinario Zootecnista, que de buena fe aportaron para poder lograr este sueño.

El principal agradecimiento es a Dios, por permitirme la vida y la fuerza de voluntad para lograr esta meta.

Agradezco a mi padre José Roberto Montesinos Domínguez y a mi madre María Elizabeth Vilchis Ramos, por darme la vida, por su apoyo incondicional, sus enseñanzas, compañía, pero sobre todo por su amor. Ellos son mi principal orgullo y motivación para seguir adelante.

A mis hermanas Maria Jose y la pequeña Ximena que siempre me han sido un lugar seguro y por darme la motivación para ser un buen ejemplo para ellas.

A mis abuelos paternos Adán Montesinos y Zulma Domínguez por darme la mejor infancia, apoyarme en todo y sobre todo por enseñarme a ser una buena persona.

A mis padrinos Juan Gabriel y Ana Isabel, los cuales quiero como a mis padres , ya que siempre me ha demostrado su apoyo y cariño.

Agradezco a mi asesora Dra. Luz María Tejada Ugarte que me estuvo apoyando durante la elaboración de esta tesis, gracias por su tiempo y disponibilidad Que invirtió en mi.

A mí escuela la universidad autónoma agraria Antonio Narro la cual me permitió aprender de los mejores doctores y doctoras de la medicina veterinaria, así como brindarme amistades maravillosas.

Agradezco a mis amigos Brayner, Paco, Elias, Checo, Sindy y Cendi, Jesua y Kenia gracias a ellos por su amistad y cariño, pero principalmente quiero agradecer a Ángel David Núñez, ya que es el amigo con el que compartí los 5 años de la cerrera sobre todo quiero agradecer a Virginia, Riojas por convertirse en la persona que siempre me demostró su cariño y me incitaba a ser mejor, la cual siempre estuvo para mí cuando lo necesitaba dejando una huella imborrable en mí, gracias a todos, soy muy afortunado de tenerlos.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, quién me dio la oportunidad de culminar y con éxito mi carrera universitaria.

A mí madre quien a sido un apoyo muy importante en mi educación, ya que sin su amor, paciencia y confianza no habría llegado hasta donde estoy ahora.

A mi padre que siempre ha sido para mí un ejemplo a seguir, ya que sin su amor y esfuerzo no seria nada de lo que soy ahora.

A mis hermanas a quienes quiero con todo mi ser.

A mis abuelos y tíos que siempre vieron por mi y por mi integridad.

INDICE

AGRADECIMIENTOS.....	i
DEDICATORIA.....	ii
ÍNDICE DE FIGURA	iv
ÍNDICE DE TABLAS	iv
RESUMEN	v
I.INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivo general	2
1.2 Objetivos específicos	2
1.3 Hipótesis	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Importancia de la producción caprina.....	3
2.2 Producción caprina en México.....	3
2.3 Producción caprina en la Comarca Lagunera	4
2.4 Factores que afectan a la funcion reproductiva del macho cabrio	5
2.6 Estrés térmico en caprinos	6
2.6 Mecanismos de termorregulación en caprinos	7
2.7 Respuesta fisiológica de los caprinos al estrés térmico	8
2.8 Frecuencia respiratoria como indicador de estrés térmico.....	8
2.9 Índice Temperatura-Humedad como indicador de carga térmica.....	9
2.10 Efecto del estrés térmico sobre la función reproductiva del macho cabrío	10
III. MATERIALES Y MÉTODOS	11
V. CONCLUSIONES	14
VI. LITERATURA CITADA.....	15

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1 Temperatura ambiental máxima y mínima durante el periodo experimental en la Comarca Lagunera, Coahuila, México.	12
Figura 2 Índice Temperatura-Humedad (ITH) durante el periodo experimental en la Comarca Lagunera, Coahuila, México.	12

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Frecuencia respiratoria y grado de estrés térmico en machos cabríos durante el periodo experimental.	13
--	----

RESUMEN

El estrés térmico constituye uno de los principales desafíos para la producción caprina en regiones áridas y semiáridas debido a sus efectos sobre la respuesta fisiológica, inmunológica y reproductiva de los machos. El objetivo del presente estudio fue caracterizar las condiciones ambientales y la respuesta fisiológica de machos cabríos criollos durante la transición de invierno a primavera en la Comarca Lagunera, para establecer un modelo experimental para la evaluación de un inmunomodulador. Se utilizaron doce machos adultos, clínicamente sanos, con una edad promedio de cuatro años y un peso vivo promedio de 71 kg, mantenidos en estabulación y alimentados con alfalfa y agua ad libitum durante todo el periodo experimental. Del 1 de noviembre al 1 de mayo se registraron quincenalmente la temperatura máxima, mínima, humedad relativa y frecuencia respiratoria. La temperatura máxima aumentó de 32 a 42 °C y la frecuencia respiratoria de 35.8 ± 1.2 a 70.4 ± 2.3 respiraciones min^{-1} , evidenciando una transición de confort térmico (noviembre-enero) a estrés térmico moderado en abril. El Índice Temperatura-Humedad aumentó de noviembre a abril, validando un modelo experimental de estrés térmico para la evaluación de un inmunomodulador en machos cabríos criollos.

Palabras clave: Termorregulación, Índice temperatura-humedad, Frecuencia respiratoria, Bienestar animal, Pequeños rumiantes

I.INTRODUCCIÓN

El estrés térmico constituye uno de los principales factores ambientales que afectan la productividad, el bienestar y el desempeño reproductivo de los pequeños rumiantes en regiones áridas y semiáridas. El incremento de la carga térmica altera los mecanismos de termorregulación y desencadena respuestas fisiológicas que pueden comprometer las funciones endocrina, inmunológica y reproductiva.

El Índice Temperatura-Humedad (ITH) es uno de los indicadores más utilizados para estimar la carga térmica ambiental, mientras que la frecuencia respiratoria constituye un indicador fisiológico sensible para evaluar la respuesta de los animales al calor (Habeeb et al., 2018; Silanikove, 2000).

En la Comarca Lagunera, las altas temperaturas favorecen la exposición prolongada al estrés térmico. En machos cabríos criollos, Tejada et al. (2025) demostraron que la radiación solar incrementa la temperatura rectal y la frecuencia respiratoria, además de disminuir las concentraciones plasmáticas de testosterona y la calidad seminal. Estas alteraciones se asocian con cambios en la termorregulación testicular, el estrés oxidativo y la respuesta inflamatoria, afectando la espermatogénesis y la fertilidad (Hamilton et al., 2016; Shahat et al., 2020). En este contexto, los inmunomoduladores representan una alternativa para reducir los efectos fisiológicos e inmunológicos del estrés térmico.

Sin embargo, antes de evaluar la eficacia de un inmunomodulador es necesario caracterizar la carga térmica ambiental y la respuesta fisiológica de los animales bajo las condiciones donde será aplicado. Esta información permite establecer un modelo experimental reproducible y una línea base para interpretar los cambios fisiológicos, hematológicos, inmunológicos y reproductivos asociados al tratamiento. En consecuencia, el presente estudio se limitó a la caracterización ambiental y fisiológica del estrés térmico en machos cabríos criollos mantenidos en estabulación, constituyendo la primera etapa de un proyecto orientado a evaluar un inmunomodulador.

1.1 Objetivo general

Evaluar el efecto de las condiciones ambientales sobre la respuesta fisiológica de machos cabríos criollos durante la transición de invierno a primavera en la Comarca Lagunera.

1.2 Objetivos específicos

- Determinar la variación de la temperatura ambiental y la humedad relativa durante el periodo de estudio.
- Estimar el Índice Temperatura-Humedad (ITH) como indicador de la carga térmica ambiental a la que estuvieron expuestos los machos cabríos.
- Evaluar los cambios en la frecuencia respiratoria de los machos cabríos durante el periodo experimental.
- Determinar la relación entre el Índice Temperatura-Humedad y la frecuencia respiratoria de los machos cabríos.
- Identificar los periodos en los que los animales presentaron condiciones compatibles con estrés térmico de acuerdo con su respuesta fisiológica.

1.3 Hipótesis

El incremento de la carga térmica ambiental durante la transición de invierno a primavera aumenta la frecuencia respiratoria de los machos cabríos criollos mantenidos bajo las condiciones ambientales de la Comarca Lagunera.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Importancia de la producción caprina

La producción de cabras es una de las labores más antiguas ya que probablemente fue uno de los primeros animales rumiantes en ser domesticados por el hombre. Es considerado que fue domesticada hace más de 10, 000 años en Mesopotamia. Se puede mencionar que es una de las especies que tuvo mucha popularidad en siglos pasados, ya que, muchas religiones la consideraban una deidad, mientras que en la biblia es considerada un símbolo de riqueza y sacrificio, pero, fuera de eso las cabras ha sido uno de los animales que han resultado muy útiles para el hombre y su supervivencia, ya que está les proveía carnes y principalmente leche (Arechiga et al, 2008). Esta comprobado que las primeras cabras en el continente americano fueron en el siglo XVI, dónde fue primero en el Caribe y luego en el continente americano por los españoles. Se describe que la especie caprina se fue extendiendo rápidamente en el continente, convirtiéndose así en una riqueza importante en conventos y latifundios (Juárez Rosendo A., 2015).

2.2 Producción caprina en México

La introducción de los caprinos a la República mexicana tuvo su origen a partir de la colonia. La introducción de esta especie a México se originó mediante la inmigración de las colonizaciones españolas que llegaron al país (Gaona Torres J., 2015).

En México, la producción de cabras se considera una actividad muy importante en el sector pecuario, ya que se reconoce como una fuente importante de ingresos por su producción de carne y leche para el consumo humano o bien para la elaboración de productos (Arcadio Castillo Y., 2023)

Actualmente según datos SIAP hasta el año 2024 México contaba con una población de más 8.8 millones de animales en todo el territorio mexicano, dónde los mayores productores son Puebla, Oaxaca, San Luis Potos, Zacatecas y Coahuila, los cuales desarrollan en diferentes sistemas de producción a los animales (SIAP 2026).

2.3 Producción caprina en la Comarca Lagunera

En México, la mayor producción caprina se puede encontrar en las regiones áridas y semiáridas donde hay un nivel socioeconómico bajo, donde cuentan con escapes de ciertos recursos naturales (Salinas et al, 2016). Los sistemas de producción de pequeños rumiantes en México, son de importancia para la economía y supervivencia de sus productores, ya que gran parte de los productores son pequeños productores y en menor cantidad productores con un sistema de producción más desarrollado, por lo cual los sistemas de producción se “clasifican” de acuerdo en las fuentes y sistemas de alimentación de los rebaños, (Echavarría & Gomez., 2013). Los sistemas de producción de cabras en México se pueden dividir en tres tipos principales: extensivo, semi extensivo e intensivo, sin embargo se pueden encontrar algunas pequeñas variaciones dentro de cada uno de los sistemas, todo esto dependiendo de la región del país en la que se encuentre cada sistema de producción, sumado a esto es importante destacar que los productores son diferentes entre si (por región, entidades e incluso al interior de una misma localidad) por lo tanto cada sistema de producción será diferente en relación a ciertas actividades (Tajonar et al., 2022), (Orona et al, 2013).

La comarca lagunera , ubicada en el norte de México, destaca por su caprina cultura como una de sus actividades económicas clave en comunidades rurales, donde los sistemas de producción se centran principalmente en la producción de leche y la crianza de cabritos (Hoyos et al, 1992).

El sistema de producción extensivo es uno de los más antiguos y más usados en todos lados, ya que en este sistema las cabras se desarrollan en un espacio libre en el que pastan y ramonean libremente donde pueden contar o no con supervisión (Chávez et al, 2022). Es importante recalcar que en este sistema de producción la alimentación de los caprinos depende al 100% del pastoreo de algunos esquilmos de cultivos y de la vegetación que existe en el agostadero (Hoyos et al, 1992). Este sistema de producción es el que se practica con mayor frecuencia, ya que no requiere de costos elevados de producción (Flores Rocha et al, 2024), al contrario este sistema de producción puede llegar a ser vulnerable en los que respecta a cambios en factores climáticos y de mercado (Salinas et al, 2016). El

sistema de producción intensivo se caracteriza por tener los animales estabulados en corrales, dónde su alimentación y cuidados son equilibrados, con el fin de tener mayor producción ya sea en ganancia de peso o mayor producción láctea, lo que conlleva a un mayor gasto de recursos monetarios, así como en ciertos casos mayor contaminación del medio ambiente (Chávez Espinoza et al, 2022).

En cambio también existe el sistema de producción semi-extensivo, en el cual se combinan los sistemas de producción extensivo y intensivo, en donde durante el día los animales se encuentran en libre pastoreo, alimentándose de los que se encuentren en los pastizales pero a cierta hora de la tarde éstos son estabulados durante la noche donde se le ofrece una alimentación balanceada. En este sistema de producción las necesidades nutritivas de los animales se cubren mediante el consumo de alimentos que se encuentran disponibles en el agostadero y los que les son ofrecidos en forma complementaria por el productor (Gómez et al, 2010).

Es de mucha importancia tener en cuenta que el porcentaje de productividad de los rebaños tendrá una variación dependiendo del sistema de producción en las que se encuentre el rebaño.

2.4 Factores que afectan a la función reproductiva del macho cabrio

La buena alimentación en los machos cabríos y en otras especies es fundamental, ya que animales bien alimentados nos darían mayor productividad y por ende mayores ganancias, sin embargo, una mala alimentación nos causaría muchos problemas además de una baja productividad.

El estado nutricional del macho tiene un importante impacto en cuanto al rendimiento de crecimiento y el desarrollo de su sistema reproductor como lo es características del semen, tamaño testicular y la producción de hormonas reproductivas puede verse influenciadas por el tipo de alimentación (Wifiyono et al, 2017).

La subnutrición es común en sistemas de manejos semiextensivos y puede reducir la eficiencia reproductiva reduciendo la capacidad de los machos cabríos para estimular las actividades sexuales y reproductivas en las hembras, ya que la mayoría de las explotaciones se mantienen en sistemas extensivos o semiextensivos donde la disponibilidad de alimento depende en mayor parte de la

estación, por lo cual se piensa que la subnutrición afecta los patrones reproductivos estacionales (Delgadillo et al, 2021)(Zarazaga et al , 2009).

En relación a los machos cabríos una mala nutrición, pueden afectar significativamente, en especial cuando se trata de animales jóvenes en desarrollo, ya que una mala nutrición afecta claramente el desarrollo testicular, así como la producción espermática produciendo menor cantidad de semen, el cual su calidad también tiende a disminuir. Así mismo, el comportamiento sexual de los machos se ve reprimida, ya que se requiere una actividad motora intensa, por lo que la libido podría deberse a una debilidad general en lugar de a limitaciones nutricionales específicas, sin embargo, los machos que presentan sobrepeso pueden mostrar una menor actividad sexual debido a sus dificultades para cortejar y montar (Martín et al, 2010). Es importante tener en cuenta que la mala nutrición de estos animales traerá consigo una cadena de problemas a los sementales caprinos, ya que su índice reproductivo será muy bajo, lo cual la productividad del rebaño será muy bajo, produciendo perdidas en un determinado tiempo.

Por otro lado, durante la época no reproductiva, el efecto macho representa una estrategia para inducir la ciclicidad ovárica en la hembras, sin embargo, la respuesta de las hembras ante el efecto del macho, es bastante variable, ya que se sabe que una baja condición corporal en los machos puede influir durante esta época, lo cual la suplementación nutricional de los animales puede aumentar la actividad reproductiva de los machos (Urrutia Morales, et al., 2012).

Los machos alimentados al 100% de sus necesidades nutricionales y expuestos a 2.5 meses de días largos (16 hrs luz: 8 de oscuridad), la estimulación de su comportamiento sexual, además de su características cuantitativa y cualitativas del semen de estos machos tratados se mejores que de los machos no tratados. Por lo cual es de suma importancia la suplementación nutricional a los machos antes del empadre, para tener mayor volumen de actividad reproductiva (Flores Nájera, et al., 2020)

2.6 Estrés térmico en caprinos

El estrés térmico constituye uno de los principales factores ambientales que afectan la productividad, el bienestar y el desempeño reproductivo de los pequeños

rumiantes en regiones áridas y semiáridas. El incremento de la carga térmica altera los mecanismos de termorregulación y desencadena respuestas fisiológicas que pueden comprometer las funciones endocrina, inmunológica y reproductiva.

El Índice Temperatura-Humedad (ITH) es uno de los indicadores más utilizados para estimar la carga térmica ambiental, mientras que la frecuencia respiratoria constituye un indicador fisiológico sensible para evaluar la respuesta de los animales al calor (Habeeb et al., 2018; Silanikove, 2000).

En la Comarca Lagunera, las altas temperaturas favorecen la exposición prolongada al estrés térmico. En machos cabríos criollos, Tejada et al. (2025) demostraron que la radiación solar incrementa la temperatura rectal y la frecuencia respiratoria, además de disminuir las concentraciones plasmáticas de testosterona y la calidad seminal. Estas alteraciones se asocian con cambios en la termorregulación testicular, el estrés oxidativo y la respuesta inflamatoria, afectando la espermatogénesis y la fertilidad (Hamilton et al., 2016; Shahat et al., 2020). En este contexto, los inmunomoduladores representan una alternativa para reducir los efectos fisiológicos e inmunológicos del estrés térmico.

2.6 Mecanismos de termorregulación en caprinos

Los mecanismos de eliminación de calor que usan la mayoría de los animales son: la radiación, conducción, convección y evaporación. La radiación es la pérdida de calor a través de rayos infrarrojos o calóricos la cual varía con la superficie corporal del animal, la conducción es la disipación del calor ocasionado por la diferencia de temperaturas entre un animal y una superficie (San Miguel & Díaz, 2011).

Las cabras son animales homeotermos, lo que significa que tienen la capacidad de mantener su temperatura corporal interna relativamente constante. Las altas temperaturas promueven varios cambios fisiológicos y de comportamiento en los rumiantes incluyendo una baja ingesta de materia seca, mayor consumo de agua, cambios en la osmolaridad y el volumen sanguíneo, alteración en la actividad Rumial y por consecuencia también una disminución en la productividad (Castro lima et al., 2022).

La termorregulación es el proceso responsable de encargarse del equilibrio de la temperatura, es decir, es el responsable de la ganancia y de la pérdida de la temperatura mediante el intercambio de calor con el ambiente externo.

El incremento de la temperaturas ambientales por arriba de la zona de confort activa los mecanismos encargados de mitigar el excedente de calor corporal, mediante la sudoración, jadeo, aumento de la frecuencia cardíaca y respiratoria. La activación de estos mecanismos de regulación de temperatura, conlleva a cambios en el comportamiento de los animales como lo es el bajo consumo de alimentos y un aumento en el consumo de agua (González Maldonado *et al.*, 2024).

2.7 Respuesta fisiológica de los caprinos al estrés térmico

La respuesta inicial de un caprino ante el estrés por calor es el aumento de su frecuencia respiratoria lo que provoca la pérdida de calor por evaporación, durante la exposición al calor, las cabras y la mayoría de los animales en general acuden a la respiración como mecanismo para evitar el aumento de la temperatura (Renaudeau *et al.*, 2012).

El incremento de la frecuencia cardíaca aumentará el flujo de sangre desde el centro hacia la periferia del cuerpo, lo cual resultará en una mayor pérdida del calor, mediante vías sensibles como lo es la pérdida por conducción, conexión y radiación y por vías insensibles como la pérdida de agua por difusión desde la piel (Ribeiro *et al.*, 2018).

2.8 Frecuencia respiratoria como indicador de estrés térmico

La frecuencia respiratoria es identificada como una de las medidas prácticas y confiable de la carga de calor, ya que muchos animales acuden a este método de enfriamiento mediante la evaporación respiratoria, el cual utilizan para expulsar el exceso de calor, lo que termina en un aumento de la frecuencia respiratoria, las cabras que tienen una frecuencia respiratoria mayor de 50 respiraciones por minuto se consideran expuestas ante estrés térmico y dependiendo de la frecuencia respiratoria se considera si es un estrés térmico, bajo, medio, alto o severo (Sejian *et al.*, 2021).

Luego del aumento de la frecuencia respiratoria, se produce un incremento del flujo sanguíneo desde el centro hacia la periferia del cuerpo en conjunto con el aumento de la frecuencia cardíaca lo que obtienen como resultado una mayor pérdida de calor (Zhou *et al.*, 2023).

2.9 Índice temperatura-humedad como indicador de carga térmica

El estrés por calor está influenciado por la temperatura del aire, la humedad, el movimiento del aire, la radiación solar y la precipitación. El índice de temperatura-humedad es un valor único que representa los efectos integrados de la temperatura del aire y la humedad asociados con el nivel de estrés por calor (Habeeb *et al.*, 2018).

El índice de Temperatura-Humedad (ITH) fue introducido por Earl Thom en 1959, con el fin de caracterizar el efecto combinado de las condiciones climáticas ambientales, como lo son: la temperatura seca, la humedad relativa y el punto de rocío, ya que tanto la humedad y ya temperatura pueden actuar sinérgicamente como un factor estresante de los animales.

El ITH sirve como un indicador del estrés térmico de las condiciones climáticas en relación a la producción y reproducción de los animales expuestos ante este estrés (Morgado *et al.*, 2022).

Aunque los valores de ITH proporcionan una estimación más precisa sobre la carga térmica en los animales que la temperatura del aire por sí sola, no tienen en cuenta la contribución de la radiación solar y de la velocidad del aire, sin embargo en 1981 se amplió el algoritmo del ITH para incluir la radiación neta del movimiento del viento, además de la temperatura y humedad (Most & Yates).

En cuanto a las cabras según Guangchen Zhou y colaboradores indicaron que los rangos de ITC de $74.8 < ITH < 76.51$ y $80.62 < ITH < 82.92$ se han denominado como etapas críticas para las cabras (Zhou *et al.*, 2023).

Los valores de ITH de 70 o menos, se consideran confortables para las cabras, ya que si son sometidas a valores mayores de 80 de ITH su capacidad homeotérmica se ve comprometida (Sejian *et al.*, 2021).

2.10 Efecto del estrés térmico sobre la función reproductiva del macho cabrío

Las cabras poseen una excelente adaptabilidad , lo que les permite prosperar en diversos entornos con condiciones extremas. A pesar de esa excelente capacidadde la cabras para soportar condiciones climáticas extremas, si reproducción y productividad puede verse comprometida en caso de someterse a un estrés térmico (Danso *et al.*, 2024).

El estrés térmico reduce la abundancia de taurina en el plasma seminal, el cual de asocia con la reprogramación metabólica, el deterioro de la calidad del esperma reduciendo: su motilidad, viabilidad , integridad de su membrana, además del movimiento cinemática de los espermatozoides, aumentado las anomalías espermaticas; además de lo mencionado anteriormente existe una disminución de LH y de Testosterona (Chen *et al.*, 2026)

III. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la Unidad Laguna de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada en la Comarca Lagunera, Coahuila, México, del 1 de noviembre de 2025 al 1 de mayo de 2026. Se utilizaron 12 machos cabríos criollos, clínicamente sanos, con una edad promedio de cuatro años y un peso vivo promedio de 71 kg, mantenidos en estabulación y alimentados con alfalfa y agua ad libitum.

Se realizaron evaluaciones quincenales de las variables ambientales y fisiológicas. La temperatura máxima, temperatura mínima y humedad relativa se obtuvieron de la Estación Meteorológica Experimental Matamoros del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). El Índice Temperatura-Humedad (ITH) se calculó a partir de la temperatura media y la humedad relativa, de acuerdo con la metodología propuesta por Habeeb et al. (2018).

En cada fecha de evaluación, la frecuencia respiratoria se determinó a las 10:00 h mediante el conteo de los movimientos costoabdominales durante un minuto. Todas las mediciones fueron realizadas por el mismo observador para reducir la variabilidad entre evaluaciones. Los animales se clasificaron como condición normal (<40 rpm), estrés térmico leve (40–60 rpm), moderado (61–80 rpm) y severo (>80 rpm), de acuerdo con Silanikove (2000).

Las variables se expresaron como media $\pm$ error estándar de la media (EEM). La frecuencia respiratoria se analizó mediante un modelo lineal mixto para medidas repetidas, considerando el tiempo como efecto fijo y el animal como efecto aleatorio. Las diferencias entre fechas se evaluaron mediante la prueba de Tukey ($P < 0.05$) y la asociación entre el ITH y la frecuencia respiratoria mediante correlación de Pearson. Los análisis estadísticos se realizaron con SYSTAT versión 13.0.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La temperatura ambiental se incrementó progresivamente durante el periodo experimental, con temperaturas máximas de 32 a 42 °C y mínimas de 2 a 20 °C (Figura 1). En concordancia, el Índice Temperatura-Humedad (ITH) aumentó de noviembre a abril, alcanzando sus valores más altos durante marzo y abril (Figura 2), lo que evidencia un incremento de la carga térmica ambiental.

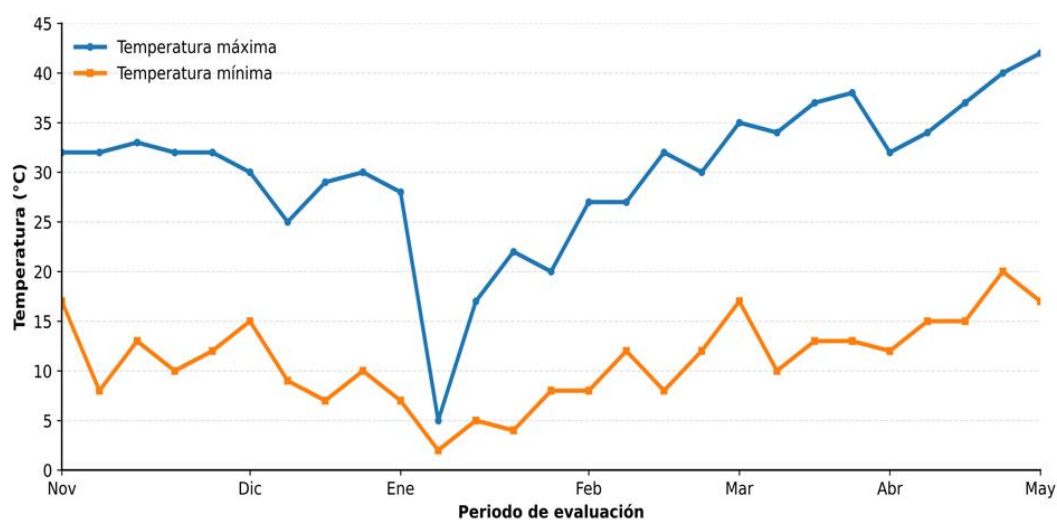


Figura 1 Temperatura ambiental máxima y mínima durante el periodo experimental en la Comarca Lagunera, Coahuila, México.

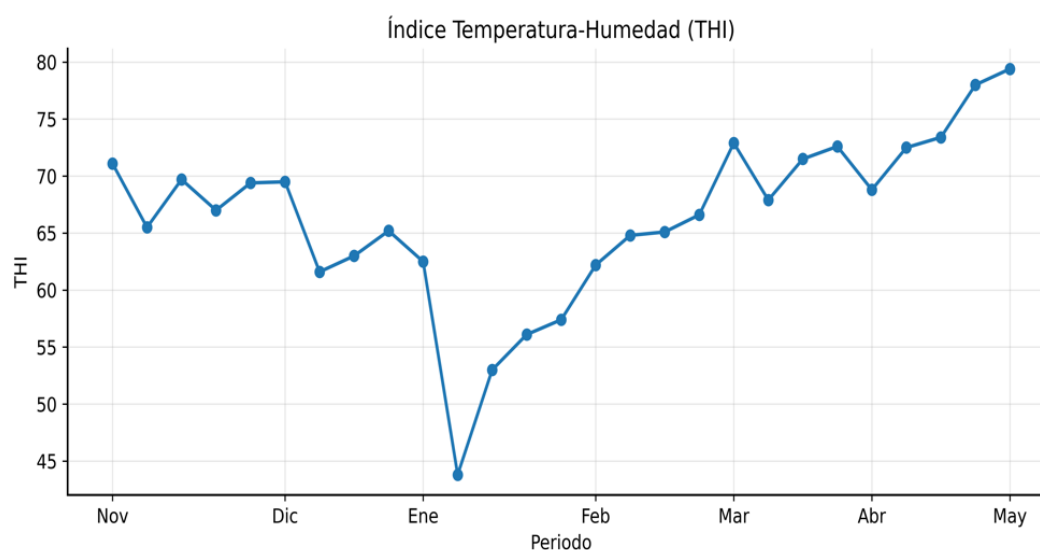


Figura 2 Índice Temperatura-Humedad (ITH) durante el periodo experimental en la Comarca Lagunera, Coahuila, México.

La respuesta fisiológica de los animales mostró un comportamiento similar al de las variables ambientales. La frecuencia respiratoria permaneció dentro del rango fisiológico (<40 rpm) de noviembre a febrero; sin embargo, aumentó significativamente ($P < 0.05$) durante marzo (53.2 ± 2.5 rpm) y alcanzó valores compatibles con estrés térmico moderado en abril (64.5 ± 2.5 rpm) (Tabla 1), de acuerdo con la clasificación propuesta por Silanikove (2000).

Tabla 1 Frecuencia respiratoria y grado de estrés térmico en machos cabríos durante el periodo experimental.

Mes	Frecuencia respiratoria (rpm, media $\pm$ EEM)	Grado de estrés térmico
Noviembre	34.8 ± 1.2	Normal
Diciembre	32.6 ± 0.9	Normal
Enero	34.0 ± 1.0	Normal
Febrero	35.1 ± 1.2	Normal
Marzo	53.2 ± 2.5	Estrés leve
Abril	64.5 ± 2.5	Estrés moderado

El incremento simultáneo del ITH y de la frecuencia respiratoria coincide con lo reportado por Habeeb et al. (2018) y Tejada et al. (2025), quienes describen que el aumento de la carga térmica ambiental induce respuestas fisiológicas compensatorias en machos cabríos. En conjunto, los resultados obtenidos validan un modelo experimental de estrés térmico bajo las condiciones de la Comarca Lagunera, proporcionando una línea base para la evaluación de un inmunomodulador.

V. CONCLUSIONES

La caracterización ambiental y fisiológica realizada permitió validar un modelo experimental de estrés térmico en machos cabríos criollos bajo las condiciones de la Comarca Lagunera. Este modelo constituye una línea base para evaluar el efecto de un inmunomodulador sobre la respuesta fisiológica, inmunológica y reproductiva de machos cabríos criollos.

VI. LITERATURA CITADA

- Aréchiga, C., Aguilera, J., Rincón, R., Méndez, S., Bañuelos, V., & Meza, H. C. (2008). Situación actual y perspectivas de la producción caprina ante el reto de la globalización. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 9(1).
- Castillo, Y. d. (2023). Identificación de herpes virus caprino tipo 1 durante el manejo reproductivo en una unidad de producción en la ciudad de México. Repositorio UNAM.
- Castro, L. A. R., Freitas, S. R. M., Martins, C. M. S., Bertolaso, V. L., Machado, M. H., Tomas, R. K. (2022). Relationship between thermal environment, thermoregulatory responses and energy metabolism in goats: A comprehensive review. *Journal of Thermal Biology*, 109. 10.1016/j.jtherbio.2022.103324
- Chávez, E. M., Cantu, S. I., Gonzales, R. H., & Oziel, M. V. (2021). Small ruminant production systems in. *Revista MVZ Córdoba*, 27(1). <https://doi.org/10.21897/rmvz.2246>
- Chen, M., Fu, T., Pan, Y., Wang, X., Bai, X., Pan, M., Ma, B., Peng, S. (2026). Dietary Taurine Supplementation Improves Sperm Quality and Modulates Seminal Plasma Metabolism in Heat-Stressed Dairy Goat Bucks. *Animals (MDPI)*, 16(7). 10.3390/ani16071086.
- Danso, F., Iddrisu, L., Lungu, S. E., Zhou, G., Ju, X. (2024). Effects of Heat Stress on Goat Production and Mitigating Strategies. *Animals (MDPI)*, 14 (12). 10.3390/ani14121793
- Delgadillo, J. A., Sifuentes, P. I., Flores, M. J., Espinoza, F. L. A., Andrade, E. J. D., Hernandez, H., . . . Chemineau, P. (2021). Nutritional supplementation improves the sexual response of bucks exposed to long days in semi-extensive management and their ability to stimulate reproduction in goats15(2). <https://doi.org/10.1016/j.animal.2020.100114>
- Echavarria, C. F., & Gómez, R. W. (2013). Los Sistemas de Producción de Rumiantes Menores. En I. Iñiguez Rojas, *La Producción de Rumiantes Menores* (págs. 95-100).
- Gómez, P. M., Mora, I. O., Melendez, S. R., Romano, M. J. L., Vera, A. H., & Shimada, M. A. (2010). Efecto de una subalimentación prolongada sobre el peso, la condición y la composición corporal de cabras adultas. *Rev. mexicana de ciencias pecuarias*, 1(3).
- Gonzales, M. J., Flores, G. R., Santillano, C. J., Maldonado, J. J. A., Lorenzo, T. A., Muñoz, G. C., Buenabad, C. L. (2024). Tolerancia y resiliencia de los caprinos a climas calidos. *Revista universitaria de ovinos y caprinos*

- Habeeb, A. A. M., Gad, A. E., & Atta, M. A. A. (2018). Temperature-humidity indices as indicators to heat stress of climatic conditions with relation to production and reproduction of farm animals. *International Journal of Biotechnology and Recent Advances*, 1(1), 35–50. <https://doi.org/10.18689/ijbr-1000107>
- Hamilton, T. R. S., Mendes, C. M., Castro, L. S., Assis, P. M., Siqueira, A. F. P., Delgado, J. C., Goissis, M. D., Muiño-Blanco, T., Cebrián-Pérez, J. A., Nichi, M., Visintin, J. A., & Assumpção, M. E. O. D. (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, 1687657. <https://doi.org/10.1155/2016/1687657>
- Hoyos G., S. H. (1992). Sistemas de producción caprina y sus principales limitaciones en la comarca lagunera, México. *Turrialba* 42(1), 1-7.
- Morgado, J. N., Santoramo, F., Lamonaca, E., Ciliberti, M. G., Caroprese, M. (2022). Meta-analysis and systematic literature review of climate change effects on livestock welfare. *EFSA journal*, 20 (4). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2022.e200413>
- Most, M. S., & Yates, D. T, (2021). Inflammatory Mediation of Heat Stress-Induced Growth Deficits in Livestock and Its Potential Role as a Target for Nutritional Interventions, *animals* (MDPI), 11(12). 10.3390/ani11123539
- Orona, C. I., Sangerman. J. D. M., Antonio. G. J., Salazar. S. E., Garcia. H. J. L., Navarro, B. A., & Schwentesiu. R R. (2013). Proyección económica de unidades representativas de producción en caprinos en la Comarca Lagunera, México. *Rev. Mexicana de ciencias agrícolas*, 4(4).
- Renaudeau, D., Collin, A., Yahav, S., de Basilio, V., Gourdine, J. L., Collier, R. J. (2012). Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. *international journal of animal bioscience*, 6(5), 707–728. <https://doi.org/10.1017/S1751731111002448>
- Ribeiro, M. N., Riberio, N. L., Bozzi, R., Costa, R. G. (2018). Physiological and biochemical blood variables of goats subjected to heat stress.46, <https://doi.org/10.1080/09712119.2018.1456439>
- Salinas, G. H., Valle, M. E. D., De Santiago, M. M. A., Veliz, D. F. G., Maldonado, J. J. A., Vélez, M. L. I., Torres, H. D., Isidro, R. L. M., Figueroa, V. U. (2016). Análisis descriptivo de unidades caprinas en el suroeste de la región lagunera, Coahuila, México. *Interciencia*, 41(11).
- Sanmiguel, P. R. A., Diaz, A. V. (2011). Mecanismos fisiológicos de la termorregulación en animales de producción Physiological mechanisms involved in thermoregulation of production animals. *Revista colombiana de ciencia animal*, 4(1)
- Sejian, V., Silpa, M. V., Nair, M. R., Devaraj, C., Krishnan, G., Bagath M., Chauhan, S., Suganthi, R. U., Fonseca, V., Konig, S., Gaughan, J. (2021). Heat Stress and Goat Welfare: Adaptation and Production Considerations. *Animals* (MDPI), 11(4). 10.3390/ani11041021

- Shahat, A. M., Rizzoto, G., & Kastelic, J. P. (2020). Amelioration of heat stress-induced damage to testes and sperm quality. *Theriogenology*, 158, 84–96. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2020.08.034>
- Silanikove, N. (2000). Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. *Livestock Production Science*, 67(1–2), 1–18. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(00\)00162-7](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(00)00162-7)
- Tajonar, K., Lopez, D. C. A., Sanchez, I. L. E., Chay, C. A. J., Gonzales, R. M., & Bello, P. E. (2022). A Brief Update on the Challenges and Prospects for Goat. *ANIMALS MDPI*, 12(7). <https://doi.org/10.3390/ani12070837>
- Tejada, L. M., García-Cruz, O. U., Nava-Rivera, L. E., López-Magaña, N., Hernández, H., López-Magaña, D., Keller, M., Chemineau, P., Santiago-Moreno, J., & Delgadillo, J. A. (2025). Solar exposure reduces plasma testosterone concentrations, sperm quality and fertility in male goats from subtropical latitudes. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 28(2), Article 108. <https://doi.org/10.56369/tsaes.6241>
- Torres, J. C. (2015). “Transferencia de embriones caprinos por mini laparotomía en condiciones. Repositorio UABC.
- Urrutia, M. J., Meza, H. C. A., Tello, V. L., Diaz, G. M. O., Beltran, L. S. (2012). Effect of nutritional supplementation upon pregnancy rates of goats under semiarid rangelands and exposed to the male effect. *Trop anim health prod*, 44. [10.1007/s11250-012-0090-8](https://doi.org/10.1007/s11250-012-0090-8)
- Widiyono, I. S., Purwono P P., & Astuti. (2017). Effects of Nutritional Status on Semen Characteristics of Kacang Goats. *Pakistan Journal of Nutrition*, 16(9). <https://doi.org/10.3923/pjn.2017.678.683>
- Zarazaga, L. A., Guzman, J. L., Dominguez, C., Perez, M., & Prieto, R. (s.f.). Effects of season and feeding level on reproductive activity and semen quality in Payoya buck goats. *ELSEVIER*, 71(8). <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2009.01.007>
- Zhou, G., He, X., Yang, K., Li, L., Guo, H., Wang, G., Li, J., Chen, Y., Yang, Y. (2023). Effects of temperature and relative humidity on behavior and physiological indices in goats. *Small Ruminant Research*, 229. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2023.107126>

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Fondo de Ciencia y Tecnología del Estado de Coahuila (FONCYT) por el financiamiento otorgado para el desarrollo del proyecto COAH-2025-C25-C155. Asimismo, agradecen a la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna, por las facilidades e infraestructura proporcionadas para la realización del estudio.