



El estrés calórico afecta a las hembras ovinas Blackbelly durante el verano en el trópico

Ethel C García y González¹ ; Blanca C Pineda-Burgos¹ ; Maricela Ruiz-Ortega² 
Cesar Cortez-Romero³ ; Marisol Paredes-Alvarado⁴ ; José L Ponce-Covarrubias^{1*} .

¹Universidad Autónoma de Guerrero (UAGro), Escuela Superior de Medicina Veterinaria y Zootecnia No. 3, Técpan de Galeana, Guerrero, México.

²Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Instituto de Ciencias Agropecuarias, Tulancingo de Bravo, Hidalgo, México.

³Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí. Posgrado en Innovación en Manejo de Recursos Naturales. Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí, México.

⁴Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Cuautitlán Izcalli, Estado de México, México.

*Correspondencia: jlponce@uagro.mx

Recibido: Abril 2023; Aceptado: Diciembre 2023; Publicado: Enero 2024.

RESUMEN

Objetivo. Determinar si las hembras ovinas Blackbelly son afectadas por el estrés calórico (EC) durante el verano en un clima tropical. **Materiales y métodos.** En el experimento, 21 hembras ovinas fueron divididas en dos tratamientos (T1=7 corderas y T2=14 ovejas multíparas) para evaluar el efecto del EC a través del índice de temperatura y humedad (ITH), variables fisiológicas y hematológicas. **Resultados.** En el experimento se encontró un ITH de entre 77 y 88 U. Asimismo, la frecuencia respiratoria (FR) fue mayor en el T2 por la tarde (117 rpm) que por la mañana (114 rpm) ($p<0.05$). También, se encontró que la temperatura rectal (TR) fue mayor en el T1 por la tarde (39.3°C) que por la mañana (38.9°C) ($p<0.05$). Finalmente, se encontró que la frecuencia cardiaca (FC) fue mayor en el T2 durante la tarde ($p<0.05$). Las variables del hematocrito (HCT) y hemoglobina (HB) fueron similares entre tratamientos durante el estudio, pero existieron diferencias entre los muestreos dos al siete (concentraciones más altas) comparado con el muestreo 13 (concentración más baja) ($p<0.001$). Finalmente, la variable potencial de hidrogeno (pH) presentó variaciones, siendo más alto en los muestreos tres y seis, y los valores más bajos en los muestreos cuatro, cinco, siete y doce ($p<0.001$). **Conclusiones.** Las hembras ovinas Blackbelly presentaron EC severo durante el verano en el trópico de Guerrero.

Palabras clave: Ovejas multíparas; corderas; termorregulación; índice de temperatura y humedad; hemoglobina; hematocrito (*Fuente: ICYT*).

ABSTRACT

Objective. To evaluate if female Blackbelly ewes are affected by heat stress (HS) during the summer under tropical conditions. **Materials and methods.** In the experiment, female sheep were divided into two treatments (7 female lambs and 14 multiparous ewes) to evaluate the effect of HS through

Como citar (Vancouver).

García y González EC, Pineda-Burgos BC, Ruiz-Ortega M, Cortez-Romero C, Paredes-Alvarado M, Ponce-Covarrubias JL. El estrés calórico afecta a las hembras ovinas Blackbelly durante el verano en el trópico. Rev MVZ Córdoba. 2024; 29(1):e3186. <https://doi.org/10.21897/rmvz.3186>



©El (los) autor (es) 2024. Este artículo se distribuye bajo los términos de la licencia internacional Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>), que permite a otros distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir de su obra de modo no comercial, siempre y cuando den crédito y licencien sus nuevas creaciones bajo las mismas condiciones.

the temperature and humidity index (THI), physiological and hematological variables. **Results.** During the study, a THI between 77 and 88 U was found. Likewise, respiratory frequency (RF) was higher in the T2 in the afternoon (117 bpm) than in the morning (114 bpm) ($p<0.05$). Also, it was found that rectal temperature (RT) was higher in T1 in the afternoon (39.3°C) than in the morning (38.9°C) ($p<0.05$). Finally, it was found that the heart rate (HR) was higher in T2 during the afternoon ($p<0.05$). Hematocrit (HCT) and hemoglobin (HB) variables were similar between groups during the study, but there were differences between samples two through seven (higher concentrations) compared to sample 13 (lower concentration) ($p<0.001$). Finally, the hydrogen potential (pH) variable presented variations, with samplings three and six being the highest, and samplings four, five, seven, and twelve being the lowest values ($p<0.001$). **Conclusions.** Female Blackbelly ewes presented severe HS during the summer in the tropics.

Keywords: Multiparous ewes; female lambs; thermoregulation; temperature and humidity index; hemoglobin; hematocrit (*Source: ICYT*).

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial la temperatura ambiental se ha incrementado debido al calentamiento global, fenómeno que amenaza la producción de proteína animal (1). El panorama no es favorable ya que se prevé que entre los años 2030 y 2052 el aumento de las temperaturas supere 1.5°C (2). Consecuencias observables en el incremento de algunos fenómenos meteorológicos como los huracanes y sequías que afectan fuertemente la salud humana y animal (3). En conjunto, esto provoca cambios ambientales e incrementos en el índice de temperatura y humedad (ITH), favoreciendo problemas de termorregulación en los animales de producción (4,5). Esta problemática se intensifica debido a la competencia por el alimento entre humanos y animales, una alternativa de producción son los pequeños rumiantes debido a las bondades que estos animales ofrecen (tamaño, poco consumo de alimento y rusticidad a climas inhóspitos) (1,6). México presenta diferentes regiones agroecológicas (desierto hasta trópico) a las cuales son capaces de adaptarse los ovinos de pelo, gracias a sus características fisiológicas y su rusticidad (7). Sin embargo, esto no exenta a los ovinos del estrés calórico (EC) como se ha reportado en regiones áridas (8) y tropicales del país (5).

Lo anterior, evidenciado el EC en ovinos a través de su clasificación en base al ITH (82 unidades): moderado, severo y muy severo [(<84) , (<86) y (≥ 86) , respectivamente] (9). Se ha reportado que los ovinos estresados por calor incrementan algunas variables fisiológicas [frecuencia respiratoria (FR), temperatura rectal (TR) y frecuencia cardíaca (FC)] como resultado de la intensa carga de calor (5,9). En los ovinos, el EC afecta el crecimiento de las crías, así como, el comportamiento productivo

y reproductivo. En efecto, algunos trabajos de investigación mencionan que debido al EC disminuyen los perfiles de progesterona, esta disminución posiblemente se debe a la regresión temprana del cuerpo lúteo activo (10). Finalmente, se ha observado que los ovinos bajo EC aumentan la concentración hematológica debido a las altas temperaturas a las que fueron expuestas (11). Por lo antes mencionado, el objetivo del estudio fue determinar si las hembras ovinas Blackbelly son afectadas por el EC durante el verano en un clima tropical.

MATERIALES Y MÉTODOS

General. El presente estudio se realizó de mayo a junio de 2020 en la Posta Zootécnica de Ovinos y Caprinos de la ESMVZ-3, UAGro. La institución se ubica en el municipio de Técpan de Galeana, región Costa Grande de Guerrero, México ($17^{\circ}06'57''$ LN y $17^{\circ}41'33''$ LO). El clima local se clasifica como semicálido subhúmedo, con temperaturas máximas (40°C) durante los meses del verano y mínimas (17°C) durante los meses del invierno (12). Todos los procedimientos y condiciones de uso, cuidado y bienestar de las hembras ovinas experimentales, fue basado en las reglas institucionales (Protocolo #108).

Animales experimentales y tratamientos.

Para el experimento fueron usadas 21 hembras ovinas Blackbelly las cuales se dividieron en dos tratamientos (T1 y T2): el T1 de 7 corderas de cuatro meses de edad y el T2 de 14 ovejas multíparas vacías. Al inicio del estudio las ovejas contaban con peso de 35 ± 5.5 kg y condición corporal (CC) de 2.6 ± 0.4 unidades (U), y las corderas con 17.5 ± 1.4 kg y 2.4 ± 0.2 U. La CC fue medida a través de la técnica de Russel et al (13) donde 1 es delgada y 5 es gorda.

Variables climáticas. Los datos climáticos fueron solicitados vía correo electrónico al Servicio Meteorológico Nacional, a la estación meteorológica Atoyac de Álvarez (DGE), número 12161 (12). La estación registró la siguiente información: rapidez del viento (km/h), temperatura ambiental (°C), humedad relativa (%) y radiación solar (W/m²). Los datos proporcionados por la estación fueron registros cada 10 min las 24 h en los meses de mayo a julio del 2020.

Con la información anterior, se calculó el índice de temperatura-humedad (ITH) con la ecuación propuesta para ganado (4):

$$ITH = T - \{[0,55 \cdot (1 - HR)] \cdot (T - 14,4)\}$$

T representa la temperatura ambiental y HR la humedad relativa en decimales.

Además, se calculó el Índice de Temperatura-Humedad-Viento-Radiación (ITHA) según Mader (14):

$$ITHA = [4.51 + ITH - (1.992 \cdot VIE) + (0.0079 \cdot RAD)]$$

VIE representan la velocidad del viento en km por hora y la RAD la radiación solar en unidades de vatios por metro cuadrado.

Se calculó el ITH e ITHA a tres horas del día: mañana (6:00 a 12:00 h), tarde (12:10 a 18:00 h) y noche (18:10 a 5:50 h).

Variables fisiológicas y hematológicas. En el estudio fueron evaluadas variables fisiológicas y hematológicas: frecuencia respiratoria (FR), frecuencia cardíaca (FC) y temperatura rectal (TR); las cuales fueron medidas por un minuto. La FR se midió contando el número de movimientos de la fosa paralumbar derecha, la FC se midió con un estetoscopio de usa sola campana (3M™ Littmann®) y la TR se midió en grados Celsius con un termómetro clínico de uso veterinario (Delta Trak®, USA). Por su parte, las variables hematológicas: hematocrito (HCT; %), hemoglobina (HB; g/dl⁻¹) y potencial de hidrógeno (pH), fueron analizadas en el laboratorio con un equipo automatizado Auto Hematology Analyzer (MINDRAY, BC-2800 Vet). La sangre fue extraída por venopunción con un vacutainer de 4 mL que contenían EDTA para evitar la coagulación.

Alojamiento y alimentación. Los animales fueron alojados en un corral abierto construido

con postes de madera, malla ciclónica, y con techo de láminas galvanizadas (medidas: 13.20 m de largo y 13.80 m de ancho). Los comederos son de madera (medidas: 2.10 m de largo y 0.39 m de ancho, el segundo 1.14 m de ancho y 38 m de ancho), y bebederos de tinajas de plástico (medidas: 0.96 m de ancho y 0.68 m de largo con una altura de 0.35 m). Todos los ovinos permanecieron en pastoreo por la mañana (9:00 h) y tarde (17:00 h), consumiendo pastos guinea (*Panicum máximum*) y grama (*Cynodon dactylon*). El corral siempre cuenta con agua limpia y fresca a libre acceso que los animales la consumen cuando regresan del pastoreo.

Manejo pre- experimental. Un mes antes del inicio del estudio los animales experimentales se desparasitaron (Ivermic, 1 mL vía subcutánea, Laboratorios Macrosules), vitaminaron (A, D, E y complejo B) y despezuñaron (tijeras de jardinería marca TRUPER). Así mismo, se pesó y midió la CC. Durante todo el experimento las ovejas contaron con bloques de sales minerales a libre acceso (oligoelementos y sales minerales).

Análisis estadísticos. Los datos fueron analizados con el programa estadístico SAS (15). Bajo un diseño completamente al azar con el siguiente modelo:

$$Y = m + t_i + e_{ij}$$

De donde:

$i = 1, \dots, t$;

t = número de tratamientos

$j = 1, \dots, n$;

m = efecto medio

t_i = efecto de iésimo tratamiento

e_{ij} = error experimental

Con la opción PROC MEANS se calcularon medias, desviaciones estándar, mínimos y máximos para las variables climáticas, fisiológicas y hematológicas del estudio. De forma independiente se compararon los tratamientos para las variables hematológicas por 14 días de muestreo.

Las medias fueron separadas con el comando PDIF a un nivel de significancia del 5%. Respecto a las variables fisiológicas se utilizó un arreglo factorial 2x2, donde se comparó cada tratamiento por hora del día (mañana y tarde) e interacción tratamiento x hora del día, los cuales se consideraron como efectos fijos. Para ello se empleó el modelo factorial:

$$Y = m + a_i + b_j + (ab)_{ij} + e_{ijk}$$

De donde:

$j = 1, \dots, t$;

$k = 1, \dots, n$;

m = efecto medio

a = efecto del tratamiento (T1 y T2)

b = efecto de la hora del día (mañana y tarde)

(ab) = efecto de la interacción tratamiento por hora del día en su repetición k

e_{ij} = error experimental

Adicionalmente, se realizó una prueba de Tukey entre los tratamientos para detectar diferencias significativas, se consideró como diferencias estadísticas cuando $p < 0.05$.

RESULTADOS

Condiciones climáticas. Durante el experimento la temperatura ambiental máxima fue de 38.8°C en la tarde y 36.8°C en la mañana y la noche. Por su parte, la humedad relativa máxima fue de 90%; 70% en la mañana y la tarde, 78% en la noche (Figura 1). En cambio, el índice de temperatura y humedad (ITH) oscilaron entre 77 y 89 unidades (U), se obtuvieron 79 U durante la mañana, 88 U en la tarde y 77 U en la noche (Figura 1).

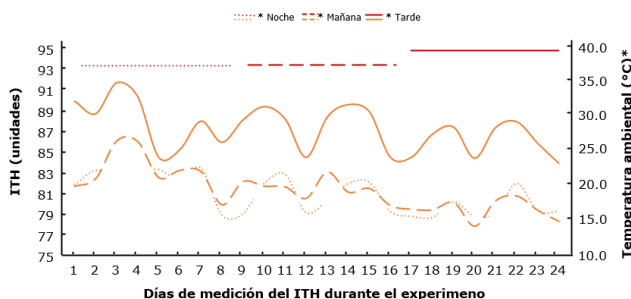


Figura 1. Promedios del índice de temperatura y humedad (ITH), durante el experimento (mayo a julio del 2020). En el eje de las "Y" del lado izquierdo se presenta la escala del ITH (líneas amarillas), en el eje del lado derecho la temperatura ambiental (líneas rojas), y en el eje de las "X" son los promedios de los días de medición. Los registros de temperatura y humedad relativa fueron cada 10 min durante 24 h.

Variables fisiológicas. En el experimento la variable FR fue similar entre los tratamientos 1 y 2 ($p > 0.05$), sin embargo, se encontró una diferencia significativa al comparar por hora del día (mañana vs tarde) ($p < 0.05$). En efecto, la FR fue mayor en el T2 durante la tarde (117 rpm) que por la mañana (114 rpm) ($p < 0.05$) (Tabla 1).

Por otro lado, se encontró que la TR fue mayor en el T1 durante la tarde (39.3°C) que en la mañana (38.9°C) ($p < 0.05$) (Tabla 1). Finalmente, las ovejas del T2 tuvieron mayor FC en la tarde (108.5 latidos por minuto (lpm)), en cambio, en la mañana fue similar entre los dos tratamientos ($p > 0.05$) (Tabla 1).

Tabla 1. Constantes fisiológicas de hembras ovinas estresadas por calor en el trópico.

Variables	Mañana		Tarde		Valor p
	Corderas	Ovejas	Corderas	Ovejas	
FR	36.8 ±14.9	42.2 ±18.1	113.7 ±34.5	116.7 ±33.6	0.0037
FC	95.4 ±20.4	91.9 ±18.1	100.4 ±22.3	108.6 ±20.4	0.0242
TR	38.5 ±0.5	38.2 ±1.7	39.3 ±0.5	38.9 ±0.9	<.0001

Frecuencia respiratoria (FR), frecuencia cardiaca (FC) y temperatura rectal (TR).

Variables hematológicas. Los resultados del presente estudio indican que no hubo diferencia significativa en la variable de hematocrito (HCT) ($p > 0.05$). Pero si lo hubo en los muestreos 2 al 7 (**) donde se presentaron las concentraciones más elevadas del HCT, comparado con el muestreo 13 que presentó la concentración estadísticamente más baja ($p < 0.001$) (Tabla 2). Por su parte, la variable hemoglobina (HB) tampoco presentó diferencia estadística al comparar los valores por el nivel tratamiento (T1 vs T2) o nivel de muestreo (1 al 14) ($p > 0.05$) (Tabla 2). Por otro lado, la variable pH presentó diferencias significativas en los diferentes muestreos ($p < 0.001$). En efecto, los muestreos 3 y 6 (**) registraron el valor más alto, en cambio, los muestreos 4, 5, 7 y 12 presentaron valores bajos ($p < 0.001$) (Tabla 2).

Las significancias obtenidas en los variables hematológicas presentadas en la Tabla 2, se expresan en las Figuras 2, 3 y 4; lo anterior para mayor claridad y entendimiento de las diferencias presentadas en la Tabla 2.

Tabla 2. Resultados de variables hematológicas en corderas y ovejas multíparas durante 14 muestreos.

Muestreo	Variable	Tratamiento							
		Corderas				Ovejas			
		Media	D.E.	Mínimo	Máximo	Media	D. E.	Mínimo	Máximo
1	HCT (%)	33.25	2.45	30	37.9	31.01	3.26	27.1	36.5
	HB (g/dl ⁻¹)	10.92	0.8	9.9	12.5	10.2	1.08	8.9	12
	pH	-	-	-	-	-	-	-	-
2	HCT (%)	34.55*	2.57	31.1	38.9	32.93*	1.84	30.3	37.2
	HB (g/dl ⁻¹)	11.34	0.85	10.2	12.8	10.8	0.61	9.9	12.2
	pH	-	-	-	-	-	-	-	-
3	HCT (%)	33.68*	3.45	28.5	37.5	33.1*	2.56	28.5	38.9
	HB (g/dl ⁻¹)	11.05	1.12	9.4	12.3	10.89	0.83	9.4	12.8
	pH	7.13**	0.05	7.1	7.2	7.23**	0.07	7.1	7.4
4	HCT (%)	33*	4.05	28.2	38.6	33.36*	2.91	29.3	38.5
	HB (g/dl ⁻¹)	10.87	1.33	9.3	12.7	10.99	0.96	9.6	12.7
	pH	6.85	0.12	6.7	7.1	6.77	0.042	6.7	6.8
5	HCT (%)	32.22*	4.77	27	38.7	33.77*	2.56	29.5	38.7
	HB (g/dl ⁻¹)	10.62	1.58	8.9	12.8	11.12	0.82	9.7	12.7
	pH	6.9	0	6.9	6.9	6.97	0.05	6.8	7
6	HCT (%)	32.81*	4.89	27.3	39.9	33.53*	2.38	28.1	38.3
	HB (g/dl ⁻¹)	10.82	1.61	9	13.2	11.01	0.82	9.3	12.6
	pH	7.52**	0.11	7.4	7.7	7.16**	0.06	7	7.2
7	HCT (%)	32.5*	4.81	27.1	39	33.28*	2.05	29.5	35.6
	HB (g/dl ⁻¹)	10.71	1.61	8.9	12.9	10.971	0.671	9.7	11.7
	pH	6.87	0.07	6.7	6.9	6.95	0.06	6.9	7.1
8	HCT (%)	31.82	4.81	25	37.7	33	2.27	29.3	37.3
	HB (g/dl ⁻¹)	10.5	1.56	8.3	12.4	10.89	0.75	9.7	12.3
	pH	6.971	0.07	6.8	7	7.08	0.06	7	7.2
9	HCT (%)	32.185	5.75	22.4	39.3	31.57	2.89	27.4	36.7
	HB (g/dl ⁻¹)	10.6	1.87	7.4	12.9	10.42	0.97	9	12.1
	pH	6.98	0.08	6.8	7.1	7.06	0.04	7	7.1
10	HCT (%)	32.44	5.82	22.4	39.7	31.28	2.81	27.4	36.1
	HB (g/dl ⁻¹)	10.68	1.91	7.4	13.1	10.32	0.9	9.2	11.9
	pH	7.01	0.08	6.9	7.1	7.1	0.06	7	7.2
11	HCT (%)	32.44	5.91	22.4	40.2	31.67	2.4	29.3	37.5
	HB (g/dl ⁻¹)	10.7	1.95	7.4	13.3	10.42	0.83	9.6	12.4
	pH	7.01	0.06	6.9	7.1	7.09	0.04	7	7.2
12	HCT (%)	30.228	5.82	22.7	39	31.69	3.34	27.9	38.3
	HB (g/dl ⁻¹)	9.97	1.93	7.5	12.9	10.46	1.1	9.2	12.6
	pH	6.84	0.07	6.7	6.9	6.99	0.07	6.9	7.1
13	HCT (%)	29.58	4.73	24.3	39	30.92	2.83	27.4	35.5
	HB (g/dl ⁻¹)	10.15	1.97	8	12.9	10.17	0.9	9	11.5
	pH	7	0.14	6.8	7.2	7.07	0.06	6.9	7.1
14	HCT (%)	31.68	5.52	26.4	39.5	33.06	2.43	30	37.2
	HB (g/dl ⁻¹)	10.73	1.8	9.1	13	10.87	0.8	9.9	12.3
	pH	7.05	0.05	7	7.1	7.12	0.05	7	7.2

Desviación Estándar (D.E.), hematocrito (HCT), hemoglobina (HB) y potencial de hidrógeno (pH).

Diferencia significativa (p<0.001) dentro de fila (**), diferencia significativa (p<0.05) dentro de fila (*).

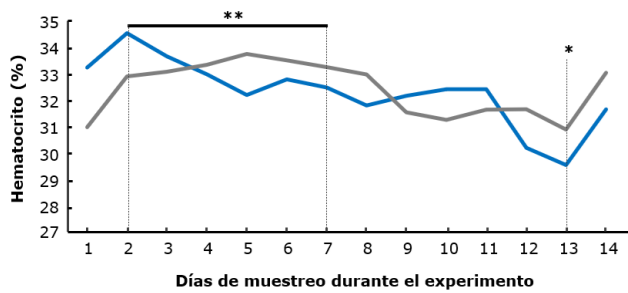


Figura 2. Valor del hematocrito en el T1 (línea gris) y T2 (línea azul) durante 14 muestreos, ** sobre la barra negra muestran concentraciones elevadas de HCT, * sobre línea punteada muestran concentraciones bajas de HCT.

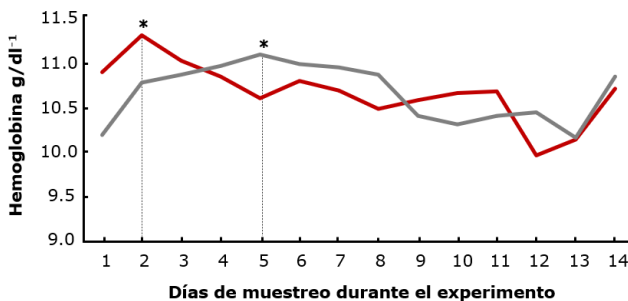


Figura 3. Valor de la hemoglobina en el T1 (línea gris) y T2 (línea roja) durante 14 muestreos, * el valor máximo para T1 y T2.

Finalmente, el valor del pH mostro variaciones en ambos tratamientos durante los primeros 6 muestreos y fue similar del muestreo 7 al 14 (Figura 4).

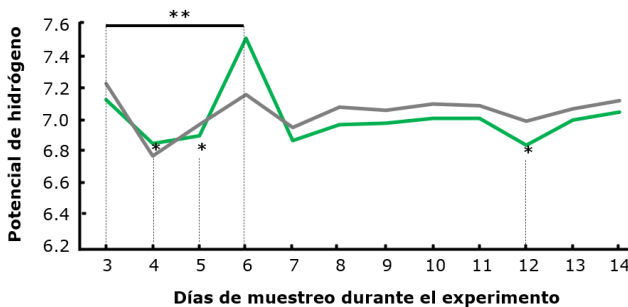


Figura 4. Valor del potencial de hidrogeno en el T1 (línea gris) y T2 (línea verde) durante los 14 muestreos, ** sobre la barra negra muestran pH elevado, * sobre línea punteada muestra pH bajo.

DISCUSIÓN

Condiciones climáticas. Las combinaciones de ITH ≥ 78 U son condiciones ambientales suficientes para producir EC en los ovinos de pelo (9). En esta especie en particular la zona

termoneutral es entre 12 y 27°C, el límite superior de esta se considera a 30°C (1,16). Por ejemplo, las ovejas comienzan a expresar EC cuando el ITH alcanza un valor >78 U (16). En el presente estudio las hembras ovinas Blackbelly sufrieron EC severo en las tres horas del día registradas (mañana, tarde y noche). Resultados consistentes a los del presente estudio fueron reportados durante el verano en corderas en una región árida de México (8,17). Por otro lado, en el trópico las ovejas multiparas presentan EC durante el verano debido a que no alcanzan a termorregularse fisiológicamente, aunque activen mecanismos evaporativos como la FR (5). En efecto, en el presente estudio las corderas presentaron mayor TR independientemente de la hora del día. Consistentemente con estos resultados Macías-Cruz et al (8) encontraron mayores TR en corderas que en ovejas multiparas. Lo anterior se puede explicar porque las corderas no son capaces de disipar el calor a lo largo del día en comparación con las ovejas multiparas. Esto es evidenciado por algunos autores donde mencionan que las corderas aun en condiciones termoneutrales producen mayor calor corporal debido a una mayor actividad metabólica, como consecuencia de los procesos de crecimiento y mantenimiento que estas presentan (18,19). Estos resultados son lógicos ya que, en mamíferos, la homeostasis de la temperatura corporal cambia durante el primer año de vida (19), mientras que en ovinos alcanzan la estabilidad térmica hasta el segundo año de vida (20,21). Es interesante resaltar que la humedad relativa en el trópico de Guerrero alcanzó el 90%, condiciones que favorecieron para que la termorregulación de las hembras ovinas se viera comprometida. El EC presentado por las hembras ovinas del presente estudio se debió a los factores ambientales de T y HR (ITH), presentadas durante el verano en la región Costa Grande de Guerrero.

Variables fisiológicas. En los ovinos, los valores normales de las constantes fisiológicas varían de acuerdo con la edad y el tamaño, la FR en promedio es de 10 a 20 respiraciones por minuto (rpm) (22). En este sentido, algunos estudios reportaron que las ovejas sometidas a EC presentan FR mayores a 160 rpm e ITH de 79.1 U (5,23). Esta respuesta de adaptación ayuda a los ovinos tolerar la carga de calor corporal, eliminada por un incremento de la FR en horarios donde disminuye la radiación solar (16,24). Fisiológicamente el incremento de la FR ayuda al animal a liberar el calor por el sistema respiratorio, debido a un aumento en la

frecuencia y disminución de la cantidad de aire inhalado. La evaporación del tracto respiratorio depende de las superficies húmedas, así como, a la frecuencia y profundidad de la respiración. Esto fue observado en los dos grupos de hembras ovinas del presente estudio principalmente durante la tarde, ya que era el momento del día cuando se incrementaba el ITH y los animales presentaban el mayor grado de EC. El parámetro más importante para determinar la presencia de EC en ovinos es el incremento de la TR, fisiológicamente esta variable oscila entre 39 a 40°C por minuto (22). Las TR del presente experimento son acordes a las encontradas por Macías-Cruz et al (25), con ITH similares entre los dos trabajos de investigación (88 U vs 82 U). En otra investigación las ovejas de raza Blackbelly y cruza con Dorset fueron más tolerantes al calor que los ovinos de razas de pelo al presentar TR menores (39.1°C) bajo condiciones de EC en el trópico (26). En sistemas de producción de ganado ovino con climas clasificados como tropical cálido – húmedo, se reporta una TR promedio de 39.4°C en corderos Katahdin expuestos a EC bajo condiciones de confinamiento, manteniéndose dentro de los valores normales para ovinos y similar a la obtenida en los ovinos criollos en condiciones de pastoreo (22). Características similares se presentan en las condiciones ambientales donde se realizó el presente experimento. Cuando el equilibrio homeostático es alterado se activa un intercambio de calor, el cual se refleja en el cambio de la TR (27). Los ovinos del presente estudio presentaron cambios en su TR por hora del día lo que podría indicar adaptación a valores de ITH superiores a la zona de confort. El monitoreo de la FC es una técnica no invasiva para determinar el estrés por factores externos como lo es el estrés calórico. Con esta variable fisiológica se miden las características del sistema nervioso autónomo, la fluctuación entre los latidos expresa la actividad simpática y parasimpática de los ovinos estresados por calor (28). Fisiológicamente la FC oscila entre 90 a 100 lpm (28). Consistentemente con esta información McManus et al (29) en ovejas encontraron valores acordes a los de este experimento. En contraste, Gesualdi et al (30) en ovejas de pelo bajo EC encontraron FC superiores (141 lpm) a las encontradas en el presente estudio (108.6 lpm).

Variables hematológicas. En este experimento el porcentaje de HCT se encontró en condiciones normales para ovinos de pelo (28 a 40%) (11). La disminución de HCT en ovejas bajo EC está

asociado a diferentes fenómenos, como el incremento de agua en la sangre por efecto de un mayor consumo, o la disminución nutricional de los pastizales durante el verano (31). Por tal motivo, se encontró al final de los muestreos la cantidad de HCT en el límite de lo normal. Esto probablemente se debió a que para este momento las hembras ovinas se encontraban con mayor carga de calor metabólica y tenían la necesidad de reducir este calor por medio del descenso del HCT. Otra posibilidad es la poca disponibilidad y mala calidad de los pastos disponibles para las ovejas en el lugar de estudio. Se ha determinado que la HB en ovinos de pelo oscila entre 8 a 15 g/dl⁻¹ aunque esto depende de algunos factores como el sexo, edad, tipo de alimentación, estado reproductivo, temperatura y humedad (11,32). En efecto, en el presente estudio no hubo diferencias entre tratamientos de hembras ovinas, presentando niveles de entre 10 y 11 g/dl⁻¹ de HB esto probablemente se debió a que a pesar del EC presentado por las hembras no fue requerido el oxígeno de los eritrocitos durante la termorregulación hasta el grado de verse afectada esta variable. Otra posibilidad es que durante el momento del experimento las ovejas contaban con bloques de sales minerales altos en hierro y otros oligoelementos que probablemente pudo contribuir a que la HB no se viera afectada. Los valores normales del pH de la sangre en ovinos son de 7.32 a 7.53, valores inferiores son ácidos (<7) y superiores son alcalinos (>7) (33).

El pH plasmático está relacionado con el equilibrio ácido-base y, problemas de acidosis metabólica (33). En este experimento en la mayoría de los muestreos se obtuvieron valores superiores a los normales presentando un pH de tipo alcalino para los dos grupos de hembras ovinas. Algunos estudios han encontrado valores superiores (pH > 7) a los del presente estudio que son fisiológicamente normales (34). Sin embargo, otros estudios han reportado valores inferiores a los normales obteniendo resultados ácido-base (35). Por ejemplo, la disminución del pH sanguíneo involucra a otros solutos como es el Na⁺, K⁺, Mg²⁺ y pCO₂, relacionados en la excreción urinaria principalmente el K⁺, Na⁺ y Cl⁻, lo anterior, por la carga de calor metabólica y las hembras ovinas independientemente del tratamiento tratan de disipar el calor a través de la excreción de orina y heces. Sin embargo, esto puede afectar provocando que las hembras ovinas presenten una alcalosis metabólica influyendo en la salud y bienestar de estas hembras. En general, estos resultados

muestran que, aunque no se hayan encontrado diferencias significativas respecto al HCT y HB, se encontraban en los límites normales, probablemente por efecto del EC. Situación que se clarificó en el pH sanguíneo ya que fue de tipo alcalino influyendo directamente en la salud del animal durante la época de verano.

En conclusión, las hembras ovinas Blackbelly del presente estudio son afectadas por EC severo durante el verano, y este fue más intenso durante la tarde independientemente del tratamiento. Los valores de HCT y HB fueron fisiológicamente normales de acuerdo con los parámetros establecidos para los ovinos de pelo, sin embargo, en algunos muestreos se encontraban en los límites inferiores a verse afectados por el EC. Por otro lado, el pH sanguíneo fue de tipo alcalino influenciado por el efecto del EC como mecanismo de termorregulación durante la excreción de orina. Es necesario realizar más estudios en ovejas bajo EC en condiciones de trópico, los cuales deben tomar en cuenta factores como el estado fisiológico y metabólico de los ovinos, así como considerar algunos electrolitos que se pierden cuando los animales tratan de enfriarse durante el EC.

Declaración de conflicto de interés

Declaramos que no existen conflicto de intereses sobre los resultados presentados en el presente artículo.

Agradecimientos

Se agradece a Guadalupe Mejía Villa, Corazón de Jesús Romero Rosas y Ricardo García Abarca por su apoyo en la colecta de datos y análisis de laboratorio. Asimismo, a la colaboración de las universidades: UAGro, UAEH, COLPOS-S.L.P., y FES-Cuatitlán. Finalmente, el Cuerpo Académico UAG-CA-234 "Sistemas de Producción Animal", agradece a todos sus integrantes por el apoyo durante el trabajo experimental y redacción del presente artículo.

Financiación

Este estudio fue financiado con recursos del incentivo SNII/CONAHCYT (CVU: 299696).

REFERENCIAS

1. Ali MZ, Carlile G, Giasuddin M. Impact of global climate change on livestock health: Bangladesh perspective. *Open Vet J.* 2020; 10(2):178-188. <http://dx.doi.org/10.4314/ovj.v10i2.7>
2. ONU. Cambio climático y salud. Organización Mundial de la Salud; 2022. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health>
3. Mora C, McKenzie T, Gaw IS, Dean IM, Hammerstein Hv, Knudsen TA, et al. Over half of known human pathogenic diseases can be aggravated by climate change. *Nat Clim Change.* 2022; 12:869-875. <https://doi.org/10.1038/s41558-022-01426-1>
4. Ruiz-Ortega M, García y González EC, Hernández-Ruiz PE, Pineda-Burgos BC, Sandoval-Torres MA, Velázquez-Morales JV, et al. Thermoregulatory response of Blackbelly adult ewes and female lambs during the summer under Tropical conditions in southern Mexico. *Animals.* 2022; 12:1960. <https://doi.org/10.3390/ani12141860>
5. Ponce-Covarrubias JL, García y González EC, Ramírez-Bribiesca JE, Pineda-Burgos BC. Reproductive response of synchronized and extensively grazed Blackbelly ewes during the summer in the tropics. *J Anim Behav Biometeorol.* 2023; 11(1):11:e2023001. <http://dx.doi.org/10.31893/jabb.23001>
6. Valencia-Franco E, García y González EC, Soni-Guillermo E, Pineda-Burgos BC, Hernández-Ruiz PE, Romero-Rodríguez PI, et al. Morphostructural characterization of the Creole goat (*Capra hircus*) of the municipality of Cuajinicuilapa, on the Costa Chica of Guerrero, México. *Open Access J Sci.* 2019; 3(3):84-88. <https://doi.org/10.15406/oajs.2019.03.00136>
7. Henry BJ, Carlin JP, Hammerschmidt JA, Buck RC, Buxton LW, Fiedler H, et al. A critical review of the application of polymer of low concern and regulatory criteria to fluoropolymers. *Integr Environ Assess Manag.* 2018; 14(3):316-334. <https://doi.org/10.1002/ieam.4035>

8. Macías-Cruz U, Correa-Calderón A, Mellado M, Meza-Herrera CA, Aréchiga CF, Avendaño-Reyes L. Thermoregulatory response to outdoor heat stress of hair sheep females at different physiological state. *Int J Biometeorol*. 2018; 62(12):2151-2160. <https://doi.org/10.1007/s00484-018-1515-2>
9. Marai IFM, El-Darawany AA, Fadiel A, Abdel-Hafez MAM. Physiological traits as affected by heat stress in sheep-A review. *Small Rum Res*. 2007; 71:1-12. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2006.10.003>
10. Tabarez-Rojas A, Porras-Almeraya A, Vaquera-Huerta H, Hernández-Ignacio J, Valencia J, Rojas-Maya S, et al. Desarrollo embrionario en ovejas Pelibuey y Suffolk en condiciones de estrés calórico. *Agrociencia*. 2009; 43:671-680. <https://agrociencia-colpos.org/index.php/agrociencia/article/view/752>
11. Vicente-Pérez A, Avendaño-Reyes L, Barajas-Cruz R, Macías-Cruz U, Correa-Calderón A, Vicente-Pérez R, et al. Parámetros bioquímicos y hematológicos en ovinos de pelo con y sin sombra bajo condiciones desérticas. *Ecosist Recur Agrop*. 2018; 5(14):259-269. <https://doi.org/10.19136/era.a5n14.1544>
12. AMN. Normales Climatológicas por Estado. Servicio Meteorológico Nacional: México; 2020. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/normales-climatologicas-por-estado>
13. Russel AJF, Doney JM, Gunn RG. Subjective assessment of body fat in live sheep. *J Agric Sci*. 1969; 72:451-454. <https://doi.org/10.1017/S0021859600024874>
14. Mader TL, Davis MS, Brown-Brandl TM. Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *J Anim Sci*. 2006; 84:712-719. <https://doi.org/10.2527/2006.843712x>
15. SAS Institute. SAS/STAT: User's Guide Statistics Released 9, 12th ed.; SAS Institute, Inc.: Cary, NC, USA, 2021. https://support.sas.com/documentation/onlinedoc/91pdf/sasdoc_91/stat_ug_7313.pdf
16. Tulu D, Gadissa S, Hundessa F. Impact of water stress on adaptation and performance of sheep and goat in dryland regions under climate change scenarios: a systematic review. *J Anim Behav Biometeorol*. 2023; 11:e2023012. <http://doi.org/10.31893/jabb.23012>
17. Macías-Cruz U, Álvarez-Valenzuela FD, Torrentera-Olivera NG, Velázquez-Morales JV, Correa-Calderón A, Robinson PH, et al. Effect of zilpaterol hydrochloride on feedlot performance and carcass characteristics of ewe lambs during heat-stress conditions. *Anim Prod Sci*. 2010; 50:983-989. <https://doi.org/10.1071/AN10094>
18. Mortola JP. Respiratory physiology of newborn mammals: a comparative perspective. Johns Hopkins University Press, Baltimore; 2001. <https://www.press.jhu.edu/books/title/2270/respiratory-physiology-newborn-mammals>
19. Todini L. Thyroid hormones in small ruminants: effects of endogenous, environmental and nutritional factors. *Animal*. 2007; 1:997-1008. <https://10.1017/S1751731107000262>
20. Piccione G, Messina V, Vazzana I, Dara S, Giannetto C, Assenza A. Seasonal variations of some serum electrolyte concentrations in sheep and goats. *Comp Clin Pathol*. 2012; 21(5):911-915. <https://10.1007/s00580-011-1198-3>
21. Arfuso F, Rizzo M, Giannetto C, Giudice E, Fazio F, Piccione G. Age-related changes of serum mitochondrial uncoupling 1, rumen and rectal temperature in goats. *J Therm Biol*. 2016; 59:47-51. <https://10.1016/j.jtherbio.2016.05.002>
22. Rodríguez-Carías AA, Suárez-Rodríguez JI, Collazo J, Fernández-Van Cleve J. Sistemas de alimentación y parámetros productivos y fisiológicos de corderos criados en estrés por calor. *J Agric Univ PR*. 2020; 104(2):181-199. <https://doi.org/10.46429/jaupr.v104i2.19041>

23. Quesada M, McManus C, D´Araújo Couto FA. Heat Tolerance of Two Hair Sheep Breeds in the Federal District, Brazil. *R Bras Zootec*. 2001; 30(3):1021-1026. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982001000400016>
24. Cain III JW, Krausman PR, Rosenstock SS, Turner JC. Mechanisms of thermoregulation and water balance in desert ungulates. *Wildlife Society Bulletin*. 2006; 34(3):570-581. <https://www.jstor.org/stable/3784682>
25. Macías-Cruz U, López-Baca MA, Vicente R, Mejía A, Álvarez FD, Correa-Calderón A, et al. Effects of seasonal ambient heat stress (spring vs summer) on physiological and metabolic variables in hair sheep located in an arid region. *Int J Biometeorol*. 2016; 60:1279-1286. <https://doi.org/10.1007/s00484-015-1123-6>
26. Ross TT, Goode L, Linnerud AC. Effects of high ambient temperature on respiration rate, rectal temperature, fetal development and thyroid gland activity in tropical and temperate breeds of sheep. *Theriogenology*. 1985; 24(2):259-269. [http://dx.doi.org/10.1016/0093-691x\(85\)90190-6](http://dx.doi.org/10.1016/0093-691x(85)90190-6)
27. De KD, Kumar VK, Saxena P, Thirumurugan P, Naqvi SMK. Effect of high ambient temperature on behavior of sheep under semi-arid tropical environment. *Int J Biometeorol*. 2017; 61:1269-1277. <https://doi.org/10.1007/s00484-016-1304-y>
28. Kitajima K, Oishi K, Miwa M, Anzai H, Setoguchi A, Yasunaka Y, et al. Effects of heat stress on heart rate variability in free-moving sheep and goats assessed with correction for physical activity. *Front Vet Sci*. 2021; 8:658-673. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.658763>
29. McManus CM, Faria DA, Lucci CM, Louvadini H, Pereira SA, Paiva SR. Heat stress effects on sheep: Are hair sheep more heat resistant? *Theriogenology*. 2020; 155(1):157-167. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2020.05.047>
30. Gesualdi JA, Viana Sales ES, Souza Freitas R, da Costa-Henry F, Santos de Oliveira VP, de Sousa-Gesualdi ACL. Effects of heat stress on the physiological parameters and productivity of hair sheep in tropical and coastal environments. *R Bras Zootec*. 2014; 43(10):556-560. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982014001000008>
31. Coop NB, Coop JA, Revidatti MA, Capellaria A, Navamuel JM, Fioranelli SA. Cambios del eritrograma en vaquillonas cruza cebú, suplementadas con pulpa de citrus. *Rev Vet*. 2001-2002; 12/13:1-2. <https://revistas.unne.edu.ar/index.php/vet/article/view/670>
32. Arraga de Alvarado M. Valores hematológicos en caprinos del estado Zulia, Venezuela. *Revista Científica, FCV-LUZ*. 1991; 1(1):7-16. <https://produccioncientificaluz.org/index.php/cientifica/article/view/14042>
33. Rodríguez L, Mantecón AR, Lavín P, Asensio C, Martín-Diana AB, Olmedo S, et al. Rango de normalidad de parámetros sanguíneos en ovejas de raza Assaf con un sistema de análisis inmediato. *ITEA*. 2012;108(4):563-573. <http://hdl.handle.net/10261/73233>
34. Odongo NE, AlZahal O, Lindinger MI, Duffield TF, Valdes EV, Terrell SP, et al. Effects of mild heat stress and grain challenge on acid-base balance and rumen tissue histology in lambs. *J Anim Sci*. 2006; 84:447-455. <https://doi.org/10.2527/2006.842447x>
35. Fadare AO, Peters SO, Yakubu A, Sonibare AO, Adeleke MA, Ozoje MO, et al. Physiological and haematological indices suggest superior heat tolerance of white-coloured West African Dwarf sheep in the hot humid tropics. *Trop Anim Health Prod*. 2013; 45: 157-165. <https://doi.org/10.1007/s11250-012-0187-0>