



Toros *Bos indicus* engordados bajo estrés por calor en corrales provisto de sombra tipo domo: Respuestas fisiológicas y productivas



Leonel Avendaño Reyes ^a

Ulises Macías Cruz ^{a*}

Arnulfo Vicente Pérez ^{a,b}

José A. Aguilar ^{a,c}

María Á. López-Baca ^{a,d}

José A. Roque-Jiménez ^a

Miguel Mellado ^e

Miguel Á. Gastelum ^c

Jorge A. Siller ^f

^a Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Ciencias Agrícolas, Carretera Delta-Ejido Nuevo León, Valle de Mexicali, 21705, Baja California, México.

^b Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Complejo Regional Centro Tecamachalco, Puebla, México.

^c Universidad Autónoma de Sinaloa. Facultad de Agronomía, Culiacán Sinaloa, México.

^d Universidad Autónoma de Baja California. Instituto de Investigación en Ciencias Veterinarias. Mexicali, Baja California, México.

^e Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Departamento de Nutrición Animal, Saltillo, Coahuila, México.

^f Sukarne Agroindustrial, Culiacán, Sinaloa, México.

*Autor de correspondencia: umacias@uabc.edu.mx

Resumen:

Se alojaron aleatoriamente 804 toros en 12 corrales (67 toros/corral) que tenían diferente tipo de sombra (convencional de lámina [SC], doble sombra de lámina [DS], domo sin abanicos [DSA] y con abanicos [DCA]), para determinar el mejor sistema de sombra en la engorda intensiva de ganado *Bos indicus*, con base en las respuestas de termorregulación y productivas bajo condiciones subtropicales. Se seleccionaron aleatoriamente 10 toros/corral para la evaluación de la termorregulación. Las condiciones ambientales fueron de “estrés calórico moderado”. Los corrales con SC y DCA promovieron en la mañana menor frecuencia respiratoria en los toros, pero en la tarde sólo los corrales con DCA. Independientemente del horario, los corrales con DCA redujeron las temperaturas de superficie de cabeza, cuello, lomo, grupa y ojo en los toros comparado con los otros tipos de sombras. Mientras que los toros de DSA tuvieron mayor concentración de proteína total que los otros, el tipo de sombra no afectó el perfil hematológico y las concentraciones séricas de glucosa, colesterol, triglicéridos, urea, sodio y cloro. Las concentraciones de hormonas tiroideas fueron mayores en toros con SC y DS que en toros con DSA y DCA. Comparado con SC y DS, las sombras tipo DSA y DCA aumentaron el consumo de alimento y eficiencia alimenticia, pero redujeron el marmoleo de la carne, sin afectar ganancia de peso, rendimiento en canal, y dureza o color de la carne. En conclusión, los toros *Bos indicus* bajo estrés por calor moderado presentaron una mejor capacidad de termorregulación fisiológica y eficiencia alimenticia en corrales equipados con sombra tipo domo y abanicos.

Palabras clave: Estrés calórico, Ganado Cebú, Eficiencia alimenticia, Rasgos de canal, índice temperatura-humedad.

Recibido: 05/02/2025

Aceptado: 29/05/2025

Introducción

El calentamiento global amenaza la sustentabilidad de los sistemas de producción animal, por lo que también atenta contra la seguridad alimentaria, particularmente en regiones con climas tropicales y subtropicales⁽¹⁾. En México, se estima que la temperatura ambiental (TA) promedio ha aumentado en 1.7 °C desde principios del siglo XX, superando el promedio mundial reportado entre 1.1 y 1.4 °C⁽²⁾. Este problema está más acentuado al noroeste del país donde predominan climas cálidos extremos que generan condiciones estrés por calor (EC) a los animales de interés zootécnico; siendo muy notorio en ganado bovino engordado en corrales a espacio abierto⁽³⁾. Este ganado desarrolla con facilidad hipertermia (> 39 °C) en

condiciones de alta TA y humedades relativas, ya que presenta una elevada tasa metabólica y reducida capacidad de retención de agua⁽⁴⁾.

Bajo este escenario, la instalación de sombras en los corrales de engorda representa una de las estrategias de mitigación del EC básicas, inclusive cuando los animales son de raza termotolerantes como las *Bos indicus*⁽⁵⁾. El ganado *Bos indicus* tiene mayor capacidad de termorregulación que el ganado *Bos taurus* porque posee genes asociados con termotolerancia y mecanismos de pérdida de calor corporal más eficientes (p.e., menor tasa metabólica, glándulas sudoríparas más grandes, piel delgada y de colores claros, otros); no obstante, las altas TA también merman parcialmente su capacidad productiva^(4,6). Barajas-Cruz *et al*⁽⁷⁾ reportaron que la instalación de sombras en el corral aumentó en 14 % la ganancia de peso y el peso de la canal en ganado de cruce Cebú engordado en un ambiente subtropical. Sin embargo, existe una gran variación en cuanto a la instalación y manejo de esta protección ambiental, particularmente en relación a la altura, material, orientación y tamaño. En este sentido, se necesita definir el tipo de sombra que mejor se adapte al tipo de ganado, y las diferentes condiciones ambientales y de producción. El aumento del área de sombra en los corrales de engorda ha mostrado ser mejor que las sombras tamaño convencional, tanto en ganado *Bos taurus* y *Bos indicus* en condiciones naturales de EC severo de regiones desérticas, ya que aumenta la capacidad de termorregulación fisiológica, la tasa de crecimiento y la eficiencia alimenticia⁽³⁾. Otro estudio encontró que, en ganado confinado *Bos indicus* o *Bos taurus* bajo condiciones de EC en un clima tropical, incrementar la disponibilidad de sombra con lámina galvanizada (1.2 a 2.4 m²/animal) o plástico polietileno en estructura tipo domo (sombreado total del corral, 9.0 m²/animal), mejoró el consumo de alimento sin modificar el crecimiento en corral y características de la canal; no obstante, la sombra tipo domo combinado con ventiladores mejoró la tasa de crecimiento, y el peso y rendimiento en canal en ambos tipos de ganado⁽⁸⁾.

Si bien, la instalación de domos de lona de polietileno con ventiladores ha resultado ser una buena estrategia de mitigación del EC en ganado cebú en condiciones de trópico mexicano, los antecedentes que confirmen dicho hallazgo aún son limitados^(8,9). Además, no se encontró información sobre el impacto en la calidad de la carne, y los mecanismos fisiológicos y metabólicos activados para que se presenten dichos beneficios productivos en el ganado de engorda. Así, se hipotetizó que la sombra a manera de domo equipado con ventiladores aumenta la producción y calidad de la carne en ganado *Bos indicus* estresado por calor al mejorar la capacidad de termorregulación fisiológica y ajustar el metabolismo energético. El objetivo del presente estudio fue evaluar tipos de sombras en corral (tradicionales *versus* domos provisto o no de ventiladores) sobre el comportamiento productivo, características de la canal, calidad de la carne y ajustes fisiológicos-metabólicos de ganado de carne *Bos indicus* expuesto a condiciones naturales de EC en una región subtropical.

Material y métodos

Este experimento se realizó en una engorda comercial que posee un rastro TIF (No. 111), y se ubica en Culiacán, Sinaloa, México (24° 49' N, 107° 32' O). El clima en la región es subtropical, específicamente del tipo seco cálido con temperaturas promedio de 25 °C (5 y 41 °C), precipitación media anual de 700 mm y lluvias en verano e invierno⁽¹⁰⁾. Los procedimientos realizados durante el presente estudio estuvieron dentro de las guías de las normas oficiales mexicanas aprobadas sobre cuidado de los animales en México (NOM-051-ZOO-1995: Trato humanitario en la movilización de animales; NOM-033-SAG/ZOO-2014: Métodos para dar muerte a los animales domésticos y silvestres). Además, todos los procedimientos experimentales fueron aprobados y supervisados por el Comité de Ética y Cuidado Animal de la Universidad Autónoma de Baja California.

El estudio tuvo una duración de 70 días, desde el 5 de octubre al 14 de diciembre de 2014. Se utilizaron 804 toros (machos enteros jóvenes) que pesaban al inicio del experimento 432 ± 28 kg y eran de los biotipos *Bos taurus* (Angus, Charolaise, Pardo Suizo, Jersey y sus cruzas), *Bos indicus* (Cebú) y sus cruzas *Bos taurus* x *Bos indicus*. Estos toros arribaron a la engorda aproximadamente dos meses antes del inicio del experimento desde diferentes explotaciones ganaderas de Sinaloa y de otros estados de la República mexicana. A su llegada se trataron contra parásitos internos y externos, se vacunaron y reforzaron con vitaminas. La alimentación consistió de dos dietas, la primera tenía una proporción 75:25 grano:forraje (1.85 y 1.25 Mcal/kg de MS de mantenimiento y ganancia), mientras que la segunda 90:10 (2.15 y 1.45 Mcal/kg MS de mantenimiento y ganancia); ambas con base en maíz hojuelado al vapor. Estas dietas se ofrecieron dos veces por día utilizando un camión repartidor. En los últimos 30 días de la engorda se adicionó clorhidrato de zilpaterol (6.4 mg/kg DM; Zilmax®, MSD, Salud Animal, México) a la dieta, y dicho aditivo se retiró 3 días previo al sacrificio. La disponibilidad de alimento y agua fue *ad libitum*.

Tratamientos y diseño experimental

Los tratamientos consistieron en corrales de 15 x 40 m provistos de cuatro diferentes sombras (tres corrales con cada una de ellas): convencional (SC), doble sombra (DS), domo sin abanicos (DSA) y domo con abanicos (DCA). La SC se construyó de lámina galvanizada a una altura de 3.5 m en el centro del corral, con orientación E-O, proporcionando un área de sombra de 1.3 m²/torete. Este tratamiento se consideró el grupo testigo debido a que representó el típico corral y área de sombra usado en toda la engorda. La DS se construyó como la SC pero considerando 2.6 m²/torete. La sombra DSA cubrió todo el corral con lona de polietileno (98 % de bloqueo solar; Empresas Invergrow, S.A. de C.V., Culiacán, México), la cual se instaló sobre una estructura metálica tipo invernadero que en el centro tenía una altura de 6.5 m y una abertura que permitía la salida del aire al exterior (8.7 m²/torete).

Finalmente, la sombra DCA tenía las mismas características que el DSA, excepto por la presencia de tres abanicos por corral a una altura de 4.5 m y no tenía abertura en la parte superior. Cada abanico tuvo 6 m de diámetro (Bigvento modelo BV06XA1508, Megaventilación, S.A. de C.V., Guadalajara, Jalisco, México), con ocho aspas y motor de 1.5 HP, que produjo un movimiento de aire de 6,023 m³/min con un área de cobertura de 1,365 m². Los abanicos operaron diariamente de 1000 a 1600 h. En general, los corrales tenían 15 m lineales de comedero y dos bebederos. Los toros se estratificaron por genotipo y se alojaron aleatoriamente a través de los 12 corrales, quedando 67 animales en cada uno (8.95 m²/cabeza), cuidando similar proporción de cada genotipo por corral.

Variables climáticas y fisiológicas

Las condiciones ambientales prevalecientes dentro de los corrales se determinaron colocando un termohigrómetro a una altura de 1.50 m (Hidro-Botón, Termotraker®, Lille, Francia) en cada uno, los cuales se programaron para registrar la temperatura ambiental (TA) y humedad relativa (HR) cada 20 min. Al finalizar, los datos se descargaron en Excel® para calcular el índice temperatura-humedad (ITH) con la siguiente fórmula⁽¹¹⁾: $ITH = 0.81 \times TA + (HR / 100) \times (TA - 14.40) + 46.4$. Adicionalmente, se seleccionaron aleatoriamente cinco toros del genotipo *Bos indicus* por corral para evaluar frecuencia respiratoria (FR) primeramente y luego temperatura superficial del cuerpo (TSC) dos veces por semana en los horarios de 0700 y 1400 h. La FR se midió contando el número de respiraciones en 30 seg y multiplicándolo por 2, mientras que la TSC se determinó a partir de fotos termográficas tomadas del lado derecho del animal y cabeza frontal con una cámara de infrarroja (Fluke Ti400, Everett, WA, USA). Las fotos se analizaron con el software Fluke Smart View® 3.9, donde se determinó la TSC de las siguientes regiones anatómicas: cuello, lomo, paleta, vientre, cabeza y el ojo. Estas fotos se tomaron a una distancia aproximada de 2 a 3 m y bajo la sombra.

Variables de analitos sanguíneos y hemogramas

A los toros seleccionados *Bos indicus* (n= 5/corral) también se les tomaron muestras sanguíneas por punción de la vena yugular en los días 1, 32 y 70 del experimento, lo cual se realizó antes de servir el alimento de la mañana. Se tomaron dos muestras por animal en cada muestreo, uno en tubos de 10 ml con activador de coagulación (tapa roja 368175, BD Vacutainer®, New Jersey, USA) para determinación de analitos en suero y el otro en tubos de 4 ml provisto de k3 EDTA (tapa morada 368171, BD Vacutainer®, New Jersey, USA) usado para análisis de perfil hematológico. Los tubos de tapa roja fueron centrifugados a 3,500 ×g durante 15 min a 10 °C para separar el suero y almacenarlo por duplicado en viales de 2 ml a -20 °C hasta su uso en la medición de concentraciones de glucosa, colesterol, triglicéridos, proteína total, urea, sodio (Na⁺), potasio (K⁺), cloro (Cl⁻), triiodotironina (T3) y tiroxina (T4). Las concentraciones séricas de los metabolitos se determinaron con un auto-

analizador semi-automático de fase líquida (EasyVet; KrontronLab, Morelia, Mich., México), mientras que los electrolitos en un analizador LW E60A (LandWind, Shenzhen, China). Las hormonas tiroideas se determinaron usando kits de ELISA comerciales (Monobind Inc., Lake Forest, CA, EUA) en un equipo totalmente automatizado (Thunderbolt, Gold Standard Diagnostics, CA, EUA); para este último análisis, los coeficientes de variación intra- e interensayos fueron 5.4 y 6.7 % para T3, y 1.6 y 6.1 % para T4, respectivamente.

Los hemogramas se analizaron en un equipo de hematología de uso veterinarios (MINDRAY, BC-2800 Vet, Shenzhen, China) dentro de la primera hora después de haber colectado la muestra. Los parámetros que incluyó el perfil fueron: conteo de leucocitos y eritrocitos (WBC), hemoglobina (HGB), hematocrito (HCT), volumen corpuscular medio (MCV), hemoglobina corpuscular media (MCH), concentración de hemoglobina corpuscular media (MCHC), amplitud de distribución eritrocitaria (RDW), conteo de plaquetas (PLT), volumen plaquetario medio (MPV), amplitud de distribución plaquetaria (PDW) y plaquetocrito (PCT).

Variables de desempeño en corral, canal y calidad de la carne

Se seleccionaron aleatoriamente 20 toros *Bos indicus* de cada corral (n= 240) para medir comportamiento productivo y características de la canal, y de ellos solamente a 5 se les evaluó calidad de la carne (n= 60). El peso vivo (PV) se registró individualmente los días 1, 32 y 70 del estudio, con lo cual se calculó la ganancia diaria de peso y el peso total ganado. El consumo de alimento se registró por corral, lo cual se realizó dos veces por semana durante el estudio; estos pesos se usaron para calcular el consumo de MS y eficiencia alimenticia. Una vez finalizado el periodo de engorda, los animales se condujeron caminando a la planta de sacrificio (Rastro TIF 111), donde después de llevarse el sacrificio bajo la supervisión de inspectores certificados, se registró el peso de canal caliente (PCC) y se calculó el rendimiento en canal expresando el PCC como un porcentaje del PV final. Posteriormente, las canales se seccionaron entre la 12.^a y 13.^a costilla, después de refrigerarse en un cuarto frío a 4°C durante 24 h, para registrar el espesor de la grasa dorsal, cantidad de grasa alrededor de riñón, pelvis y corazón (grasa KPH), marmoleo y área del ojo de la costilla, de acuerdo con el procedimiento descrito por Avendaño-Reyes *et al*⁽¹²⁾. El peso de la grasa KPH se expresó como un porcentaje del PCC.

Por otra parte, la calidad de la carne se evaluó en muestras del músculo *Longissimus thoracis* (MLT; entre la 11.^a y 13.^a costilla) que se maduró por 14 días con el objetivo de generar condiciones de anaquel. Post-evaluación de la canal, se tomaron dos porciones de una pulgada de espesor cada una del MLT, las cuales se empacaron individualmente al vacío y se enviaron al Laboratorio de Calidad de la Carne del ICA-UABC Mexicali, B.C., en un contenedor térmico con gel refrigerante a una temperatura de 4 °C. A su llegada, se colocaron

inmediatamente en un refrigerador a una temperatura entre 0 y 4 °C hasta alcanzar los 14 días de maduración. Posteriormente, las muestras se sacaron de las bolsas de vacío y se oxigenaron durante 30 min antes de proceder a realizar las siguientes mediciones de calidad: pH, esfuerzo al corte, pérdida de peso por goteo y color de la carne (luminosidad [L^*], rojizo [a^*], amarillento [b^*], chroma [C^*] y ángulo hue [h°]). El pH se midió introduciendo un electrodo de punción conectado a un potenciómetro portátil (Hanna Instruments Digital, Model HI-2210, Woonsocket, RI). Los parámetros de color se determinaron por triplicado colocando en diferentes partes de la superficie de la porción de carne un colorímetro portátil previamente calibrado (NH300 Portable Colorimeter, Guangzhou, China). La pérdida de peso por goteo se midió usando una técnica validada⁽¹³⁾. Finalmente, las porciones de carne fueron cocinadas hasta que alcanzaron una temperatura interna de 71 °C en una parrilla eléctrica (Cook Master Oster, modelo 3222-3, Mississauga, ON, Canadá). Luego la carne se enfrió durante 20 min para alcanzar temperatura ambiente (~ 27 °C) y se procedió a cortar tres cubos de 1.27 cm por lado para evaluar esfuerzo al corte colocando las fibras musculares de forma perpendicular a la navaja del equipo Warner-Bratzler (Salter Model 235, GR Co., Manhattan, KS, USA). Se obtuvieron promedios por muestra de cada variable de estudio.

Análisis estadístico

Todos los análisis estadísticos se realizaron con procedimiento del programa SAS⁽¹⁴⁾. Las variables fisiológicas, concentraciones de analitos sanguíneos y parámetros hematológicos se analizaron con PROC MIXED bajo modelos de mediciones repetidas en el tiempo que incluyeron los efectos fijos tratamiento, día de muestreo y sus interacciones; además se consideró el efecto aleatorio anidado de animal dentro de corral. En el caso del modelo de variables fisiológicas también se consideró como efecto fijo la hora del día y sus interacciones con el resto de factores. La triple interacción no fue significativa ($P > 0.05$) para ninguna variable de respuesta, considerándose solamente la interacción tratamiento \times hora del día. En todos los modelos desarrollados, las estructuras de varianza-covarianza simetría compuesta y la no estructurada fueron las de mejor ajuste dados los menores valores de los criterios BIC y AIC⁽¹⁵⁾. Las variables de comportamiento productivo, características de la canal y calidad de la carne se analizaron con un modelo completamente al azar con submuestreo, anidando torete en tratamiento. Las medias fueron comparadas usando el comando LSMEANS/PDIFF declarando diferencias a una $P \leq 0.05$ y tendencias entre $0.05 \leq P \leq 0.10$.

Resultados

Los valores máximos y promedios de la TA, HR e ITH durante el estudio fueron 42.3 y 26.6 °C, 100 y 57.5 %, y 95.6 y 74.6 unidades, respectivamente (Figura 1). En general, independientemente del tipo de sombra, el ganado en la primera mitad del estudio (0–35 días)

estuvo expuesto a condiciones de EC (77 a 83 unidades de ITH), y el resto del tiempo a un ambiente termoneutral (69 a 76 unidades de ITH; Figura 2). Por otra parte, las variables fisiológicas no cambiaron ($P>0.05$) por efecto de la triple interacción tipo de sombra \times hora del día \times semana de muestreo. Con excepción de la interacción tipo de sombra \times hora del día que afectó ($P<0.01$) la FR, las interacciones entre dos factores tampoco modificaron ($P\geq 0.21$) las variables fisiológicas (Cuadro 1). El DSA y DCA redujeron ($P<0.01$) la FR por la mañana y la tarde, respectivamente, en comparación con la SC y DS (Figura 3). En general, las TSC de cabeza, cuello, lomo, grupa y ojo fueron menores ($P<0.01$) en el grupo DCA comparado con el resto de los tratamientos, excepto por vientre y paleta donde fueron similares ($P>0.05$) al grupo DSA. De manera consistente, las TSC de todas las regiones anatómicas medidas fueron menores ($P<0.01$) en la mañana que en la tarde.

Figura 1: Valores promedio de cada dos días para temperatura ambiente (TA), humedad relativa (HR) y el índice temperatura-humedad (ITH) durante el periodo experimental

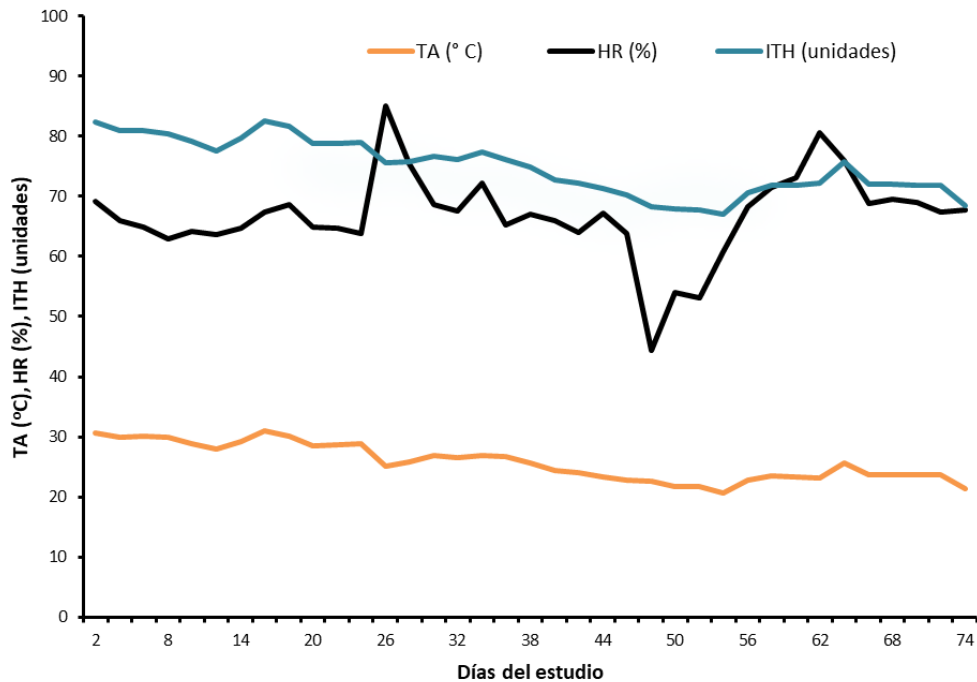
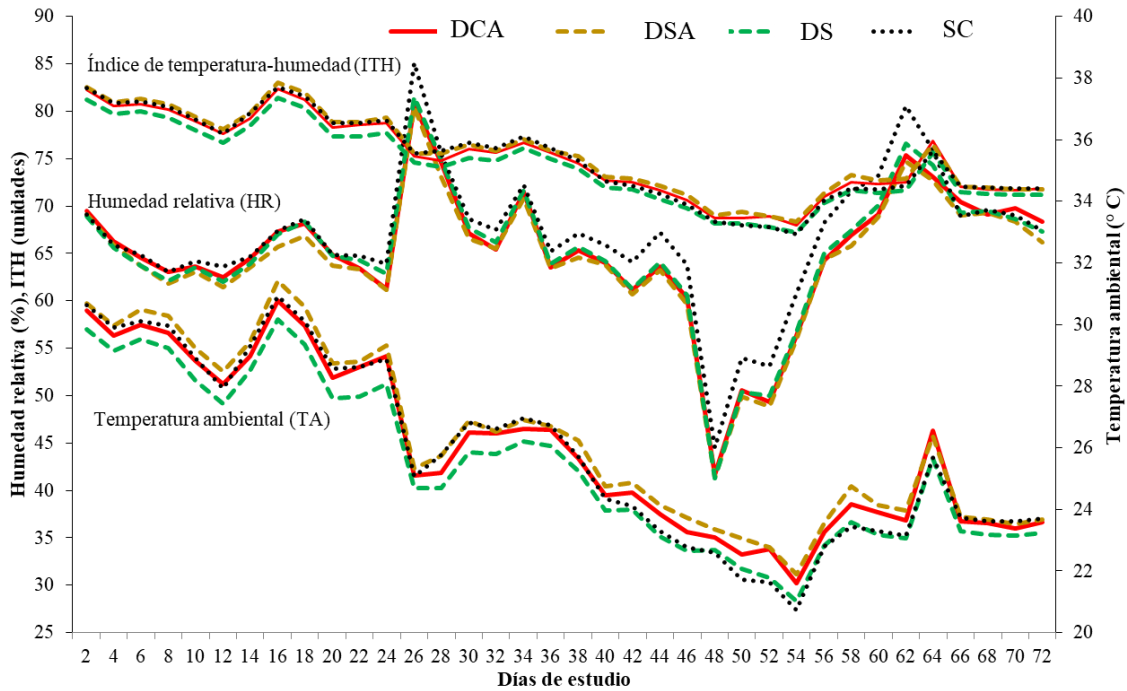


Figura 2: Variables climáticas registradas durante el periodo experimental en los diferentes tipos de sombras: convencional (SC), doble (DS), domo sin (DSA) y con (DCA) abanico



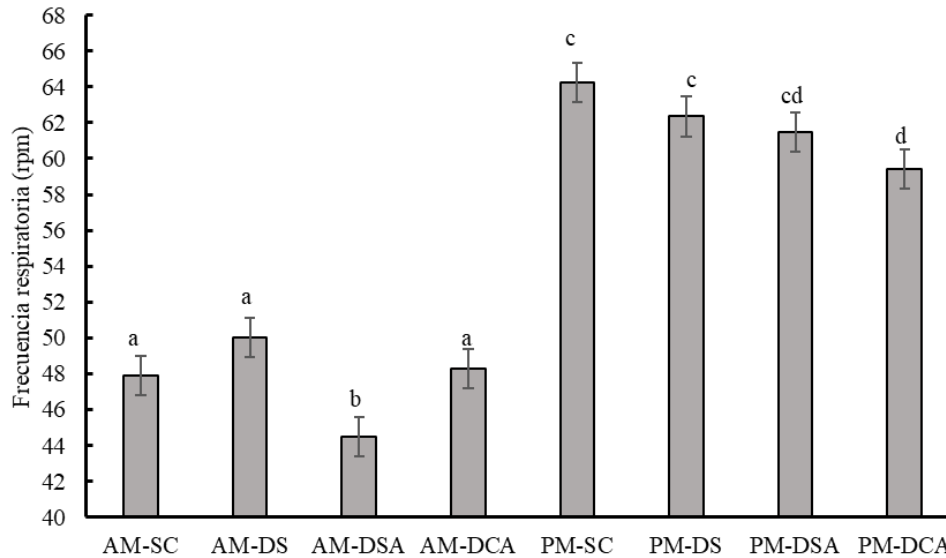
Cuadro 1: Efecto del tipo de sombra en las variables fisiológicas de toros *Bos indicus* durante la engorda en una zona subtropical

	Tipos de sombras (TS)				EE	Valor de P			
	SC	DS	DSA	DCA		TS	Hora	Semana	TS×Hora
FR, rpm	56.06 ^a	56.18 ^a	53.01 ^b	53.85 ^b	0.82	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Temperatura de la superficie corporal (°C)									
Cabeza	34.77 ^a	34.59 ^a	34.35 ^a	32.90 ^b	0.34	<0.01	<0.01	<0.01	0.39
Cuello	34.68 ^a	34.89 ^a	34.30 ^a	33.76 ^b	0.16	<0.01	<0.01	<0.01	0.21
Lomo	34.81 ^a	34.90 ^a	34.47 ^a	33.90 ^b	0.20	<0.01	<0.01	<0.01	0.74
Paleta	34.66 ^a	34.89 ^a	34.14 ^b	33.83 ^b	0.17	<0.01	<0.01	<0.01	0.92
Grupa	34.95 ^a	34.90 ^a	34.72 ^a	33.85 ^b	0.19	<0.01	<0.01	<0.01	0.62
Vientre	34.68 ^a	35.01 ^a	34.66 ^a	33.92 ^b	0.20	<0.01	<0.01	<0.01	0.98
Ojo	35.44 ^a	35.18 ^a	34.83 ^b	34.37 ^c	0.15	<0.01	<0.01	<0.01	0.81

SC= sombra convencional; DS= doble sombra; DSA= domo sin abanicos; DCA= domo con abanicos; EE= error estándar; FR= frecuencia respiratoria.

No hubo efecto ($P>0.05$) de las siguientes interacciones: TS×Semana, Hora×Semana y TS×Hora×Semana; ^{abc}. Letras diferentes dentro de hilera indican diferencias a $P\leq 0.05$.

Figura 3: Efecto de la interacción hora del día x tipos de sombra en la frecuencia respiratoria de toros *Bos indicus* en una zona subtropical



AM= mañana, PM= tarde; SC= sombra convencional, DS= doble sombra; DSA= domo sin abanico; DCA= domo con abanico.

La interacción tipo de sombra \times semana de muestreo no afectó ($P \geq 0.11$) las concentraciones de analitos séricos (Cuadro 2) y el perfil hematológico (Cuadro 3). En general, las concentraciones de glucosa, colesterol, urea, Na^+ y Cl^- , así como los parámetros hematológicos, no variaron ($P \geq 0.12$) con el tipo de sombra. La concentración de proteína total fue mayor ($P < 0.01$) en toros alojados en DSA y la concentración de K^+ menor ($P = 0.02$) en toros tratados con SC comparado con aquellos protegidos con cualquiera de los otros tipos de sombra. Las concentraciones séricas de T4 y T3 fueron mayores ($P \leq 0.04$) en SC y DS que en DSA y DCA. Independientemente del tipo de sombra, la semana de muestreo afectó ($P < 0.05$) la mayoría de las concentraciones de analitos y parámetros hematológicos.

Cuadro 2: Efecto del tipo de sombra en las concentraciones de metabolitos, electrolitos y hormonas de toros *Bos indicus* durante la engorda en una zona subtropical

	Tipos de sombras (TS)				EE	Valor de P		
	SC	DS	DSA	DCA		TS	SEM	TS×SEM
<i>Metabolitos, mg/dL</i>								
Glucosa	100.60 ^a	96.10 ^a	102.80 ^a	94.70 ^a	3.43	0.30	<0.01	0.73
Colesterol	170.04 ^a	179.65 ^a	177.91 ^a	167.27 ^a	6.10	0.42	<0.01	0.67
Triglicéridos	36.20 ^a	34.15 ^a	40.08 ^a	36.23 ^a	3.23	0.62	<0.01	0.11
Urea	22.20 ^a	23.20 ^a	23.10 ^a	21.60 ^a	1.23	0.76	<0.01	0.72
Proteína total	7.74 ^b	7.80 ^b	8.47 ^a	7.99 ^b	0.16	<0.01	<0.01	0.99
<i>Electrolitos (mmol/L)</i>								
Potasio	4.71 ^b	4.92 ^a	4.90 ^a	4.98 ^a	0.06	0.02	0.77	0.66
Sodio	139.39 ^a	138.98 ^a	139.65 ^a	139.00 ^a	0.81	0.93	0.10	0.89
Cloro	104.73 ^a	105.00 ^a	105.42 ^a	104.75 ^a	0.35	0.46	<0.01	0.99
<i>Hormonas tiroideas</i>								
T4 (µg/dl)	10.21 ^a	10.33 ^a	9.30 ^b	9.20 ^b	0.35	0.04	<0.01	0.80
T3 (ng/ml)	2.20 ^a	2.12 ^a	1.95 ^b	1.89 ^b	0.07	<0.01	<0.01	0.18

SC= sombra convencional; DS= doble sombra; DSA= domo sin abanicos; DCA= domo con abanicos; T4= tiroxina; T3= triyodotironina; EE= error estándar; SEM= semana.

^{abc} Letras diferentes dentro de hilera indican diferencias a $P \leq 0.05$.

Cuadro 3: Efecto del tipo de sombra en el perfil hematológico de toros *Bos indicus* durante la engorda en una zona subtropical

	Tipos de sombras (TS)				EE	Valor de P		
	SC	DS	DSA	DCA		TS	Día	TS×Día
Eritrocitos, x10 ⁹ /L	9.24 ^a	9.55 ^a	9.55 ^a	9.63 ^a	0.23	0.65	<0.01	0.97
Leucocitos, x10 ¹² /L	11.90 ^a	11.45 ^a	12.69 ^a	12.29 ^a	0.44	0.24	0.95	0.11
Hemoglobina, g/L	12.22 ^a	12.36 ^a	12.61 ^a	12.47 ^a	0.26	0.76	<0.01	0.90
Hematocrito, %	40.03 ^a	40.82 ^a	40.76 ^a	40.60 ^a	1.00	0.94	<0.01	0.82
VCM, fL	43.91 ^a	43.01 ^a	42.80 ^a	42.34 ^a	0.74	0.52	0.04	0.81
HCM, pg	13.28 ^a	14.14 ^a	13.41 ^a	13.02 ^a	0.61	0.64	0.26	0.11
CHCM, g/L	30.34 ^a	30.29 ^a	31.53 ^a	30.71 ^a	0.59	0.47	0.02	0.50
RDW, %	19.36 ^a	19.66 ^a	19.66 ^a	19.85 ^a	0.17	0.29	<0.01	0.22
Plaquetas, x10 ⁹ /L	409.89 ^a	398.64 ^a	427.01 ^a	434.46 ^a	23.14	0.70	0.22	0.36
MPV, fL	4.72 ^a	4.70 ^a	4.81 ^a	4.66 ^a	0.10	0.75	<0.01	0.69
PDW, %	15.78 ^a	15.82 ^a	15.79 ^a	15.71 ^a	0.06	0.60	0.99	0.98
Plaquetocrito, %	0.19 ^a	0.18 ^a	0.22 ^a	0.20 ^a	0.02	0.12	0.80	0.62

SC= sombra convencional; DS= doble sombra; DSA= domo sin abanicos; DCA= domo con abanicos; VCM= volumen corpuscular medio; HCM= hemoglobina corpuscular media; CHCM= concentración de hemoglobina corpuscular media; RDW= ancho de distribución de eritrocitos; MPV= volumen plaquetario medio; PDW= ancho de distribución de plaquetas; EE= Error estándar.

^{abc}. Letras diferentes dentro de hilera indican diferencias a $P \leq 0.05$.

Los toros presentaron menor ($P < 0.05$) consumo de MS y mayor ($P < 0.05$) eficiencia alimenticia bajo DSA y DCA que bajo SC y DS, pero no se observaron cambios ($P > 0.05$) en la tasa de crecimiento y peso final. En características de la canal, el tipo de sombra no afectó ($P > 0.05$) PCC, rendimiento en canal, área del MLT y deposición de grasa KPH, pero sí el espesor de grasa dorsal siendo menor ($P < 0.05$) en DS que en DSA y DCA. Respecto a calidad de la carne, el tipo de sombra solamente afectó ($P < 0.05$) el marmoleo, siendo mayor ($P < 0.05$) en los grupos SC y DS comparados con los grupos DSA y DCA.

Discusión

El ganado de carne experimenta condiciones de EC cuando el $ITH \geq 75$ unidades, pero el grado de severidad incrementa (alerta, peligro y emergencia) como el ITH cambia de 75 a > 84 unidades⁽¹⁶⁾. Por lo tanto, los toros del presente estudio estuvieron expuestos a condiciones ambientales de EC de tipo alerta durante el periodo experimental, ya que el ITH

se mantuvo alrededor de las 75 unidades. No obstante, la severidad del insulto térmico fue mayor en la primera mitad del experimento, ya que se clasificó como tipo peligro (ITH= 79 a 84 unidades) al presentarse ITH promedios diarios más altos que los detectados en la segunda mitad. En general, estas condiciones climáticas que prevalecieron en otoño se hacen evidentes desde verano en las regiones tropicales y subtropicales, lo cual pone de manifiesto la necesidad de implementar medidas de mitigación del EC en ganado de carne; aun cuando sean razas más termotolerantes como las *Bos indicus*. En este genotipo también se han identificado reducciones menos marcadas en comparación del ganado europeo sobre los parámetros productivos y reproductivos al comprometerse el bienestar del ganado bajo ambientes de altas TA y HR^(4,17). En este sentido, hay evidencia en la misma región de estudio señalando que el uso de sombra, al menos de lámina galvanizada, es fundamental para un desempeño en corral aceptable del ganado cebú estresado por calor⁽¹⁸⁾.

El presente estudio plantea el sombreado total del corral con una sombra tipo domo en combinación o no de abanicos industriales, como una mejor estrategia de mitigación del EC en ganado *Bos indicus* bajo condiciones de otoño de una región subtropical. Los hallazgos evidenciaron que la sombra tipo domo promovió una mejor capacidad de termorregulación fisiológica diurna en los toros, en especial aquella equipada con abanicos, ya que redujo la tasa respiratoria en las horas más calientes del día (tardes), así como las TSC a través del día, en comparación con las sombras a base de lámina galvanizada (SC y DS). Así, los toros bajo DCA priorizaron sus pérdidas de calor corporal a través de medios sensibles en lugar de latentes, lo que explica la reducción en la FR por las tardes. Si bien, la alta HR en ambientes tropicales y subtropicales compromete la eficiencia de las pérdidas de calor a través de la piel en ganado *Bos indicus*⁽⁶⁾, el movimiento de aire forzado causado por los ventiladores bajo los domos y el bloqueo de la radiación solar, pudieron favorecer que los toros disiparan por convección el calor corporal expulsado a través de la sudoración y radiación en la piel. Esto, a su vez, llevó a que bajaran significativamente las TSC. Un estudio realizado con vaquillas de engorda Cebú bajo condiciones de un ITH= 78 unidades, también señala que los beneficios de la sombra en la termorregulación podrían mejorar al combinarlo con estrategias de enfriamiento como 10 min de baño o 30 min de exposición a aire forzado con ventiladores después de pastorear; de hecho, la aplicación individual de las estrategias redujo en alrededor de 0.7 °C y 4 rpm la TR y FR, respectivamente, pero dicho efecto positivo se duplicó cuando se aplicaron simultáneamente⁽¹⁹⁾. De igual forma, en toros *Bos taurus* Charolais estresados por calor, en otro estudio se reportó que la instalación de abanicos en el techo de la sombra mejoró el confort, beneficiando que la actividad y patrones de rumia tendieran a normalizarse como en condiciones termoneutrales⁽²⁰⁾. En general, los resultados del presente trabajo junto con los publicados respaldan considerar complementar las sombras con ventilación mecánica para contrarrestar más eficazmente los efectos del calor en la engorda de ganado *Bos indicus*. Cabe mencionar que los ajustes de termorregulación en el ganado de carne estresado por calor, no solo se limitan a los de tipo fisiológicos, sino también a nivel metabólico, endócrino y hematológico⁽⁴⁾. En este sentido, se espera que una buena estrategia de mitigación del EC

en ganado de carne *Bos indicus* ajuste el metabolismo y perfil hematológico favoreciendo una mejora en la eficiencia productiva y calidad de la carne⁽⁶⁾. Aquí, el tipo de sombra no fue un factor que promoviera cambios en el metabolismo de energía (glucosa, colesterol y triglicérido) y hemograma de los toros. No obstante, la sombra tipo domo aumentó la concentración de proteína total, la cual fue regulada por promover la ventilación forzada con los abanicos. Los niveles séricos de proteína se asocian positivamente con el catabolismo muscular; proceso metabólico que se presenta para incrementar la disponibilidad de aminoácidos glucogénicos como fuente de energía en respuesta a una reducción en el consumo de alimento de ganado estresado por calor⁽¹⁷⁾. Si bien los toros alojados en DSA redujeron su consumo de MS al igual que los toros de DCA, el PCC y el área del MLT no varió por el tipo de sombra. Esto sugiere que los toros alojados en corrales con sombra tipo solo domo no presentaron una situación de catabolismo en músculo⁽⁵⁾. Además, debe considerarse que las concentraciones de dicho metabolito están dentro del rango de referencia⁽²¹⁾. Por otra parte, los toros *Bos indicus* alojados en corrales equipados con domo o doble sombra de lámina galvanizada, redujeron las pérdidas de agua corporal mediante la sudoración; lo anterior se deduce con base en la menor concentración de K^+ sérico registrado en toros alojados en corrales con SC. Los valores bajos de K^+ en suero y orina del ganado expuesto a EC, se atribuyen a la pérdida de K^+ en el sudor y una inhibición en la liberación de la hormona aldosterona⁽²²⁾.

Independientemente de la instalación de los abanicos, la sombra tipo domo redujo la actividad metabólica (menor T3 y T4) y el consumo de MS al mismo tiempo que mejoró la eficiencia alimenticia sin afectar la ganancia de PV, la deposición de masa muscular en la canal y la calidad de la carne en los toros. Se conoce ampliamente que el ganado bajo EC reduce la actividad de la glándula tiroidea y, en consecuencia, el consumo de alimento como un mecanismo de termorregulación que les permite bajar la producción de calor endógeno y, por ende, la carga de calor corporal⁽⁴⁾. De hecho, el ganado *Bos indicus* es más termotolerante que el ganado *Bos taurus* a climas cálidos porque tiene la capacidad de decrecer su tasa metabólica al reducir el tamaño del tracto gastrointestinal y órganos (hígado, corazón, otros) con alta actividad metabólica, sin cambiar el metabolismo celular⁽⁶⁾. Dado que el consumo de alimento se redujo sin afectar los rasgos asociados con crecimiento en los toros de DSA y DCA, se especula que la activación de dicho mecanismo adaptativo fue más marcada en estos animales que en aquellos mantenidos bajo sombras de lámina galvanizada. Esto podría explicar por qué los toros bajo sombra tipo domo redujeron su metabolismo y consumo de alimento, pero fueron más eficientes en transformar los nutrientes consumidos en masa muscular de la canal y ganancia de peso. Lo último se asume porque los toros de sombra tipo domo consumieron menos alimento y alcanzaron similar GDP, PV final, PCC y área del MLT que los toros de sombra tradicional. Cabe señalar que los resultados de dos estudios previos realizados en el mismo sitio evidenciaron que la sombra DCA era más efectiva que las sombras DSA o tradicionales construidas con lámina galvanizada, ya que mejoraron significativamente el confort, la ganancia de PV y el PCC de los toros al incrementar el

consumo de alimento^(8,9). Estos hallazgos difieren parcialmente de lo encontrado en el presente estudio, lo cual puede deberse a que aquí se utilizaron genotipos 100 % *Bos indicus* y en esos trabajos fueron cruza con *Bos taurus*. Las cruza de Cebú con ganado europeo generalmente son más susceptibles al EC, pero también pueden responder de manera más efectiva a estrategias de mitigación que favorezcan un mejor ambiente productivo⁽⁶⁾.

Por otra parte, los toros alojados en corrales con domo mostraron menor marmoleo en la carne e incrementaron su espesor de grasa dorsal, sin afectar la deposición de grasa KPH, en comparación con los toros de SC o DS. Este hallazgo coincide parcialmente con lo reportado por otro estudio⁽⁸⁾, donde la sombra tipo domo (DSA y DCA) *versus* SC decreció tanto la deposición de grasa intramuscular y KPH sin cambios en la grasa subcutánea. El EC mejora el marmoleo de la carne en ganado, y esto se debe a que priorizan la deposición de grasa interna en lugar de la subcutánea para facilitar las pérdidas de calor a través de la piel⁽²³⁾. El cambio en la deposición de grasa corporal es un mecanismo adaptativo de termorregulación que varía con la intensidad del EC en el ganado y la efectividad de la estrategia de mitigación implementada⁽⁶⁾. Así que la sombra tipo domo posiblemente evitó la activación de este mecanismo en los toros al haber mejorado su capacidad de termorregulación fisiológica, lo cual explicaría los resultados encontrados en cuanto a deposición de grasa corporal. Cabe mencionar que esto no se reflejó en la calidad de la carne y, de hecho, ningún tipo de sombra evitó que tendiera a ser oscura ($L^* < 38$ y $a^* < 18$)⁽²⁴⁾ y dura (esfuerzo al corte < 4.4)⁽²⁵⁾; un problema recurrente en el ganado de razas Cebú⁽²⁶⁾.

Conclusiones e implicaciones

Bajo condiciones de EC natural de una región subtropical, la instalación en corrales de sombra completa tipo domo es más efectiva en mejorar la capacidad de termorregulación y la eficiencia alimenticia de toros *Bos indicus*, que las sombras tradicionales construidas de lámina galvanizada. Adicionalmente, se recomienda colocar abanicos bajo los domos para aumentar el confort y bienestar del ganado de engorda.

Agradecimientos

El primer autor agradece al CONAHCYT (ahora SECIHTI) por el otorgamiento de becas de maestría a los estudiantes Arnulfo Vicente Pérez y José Antonio Aguilar Quiñonez. Igualmente agradecemos el apoyo de los alumnos de licenciatura de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa: José Luis Corrales Navarro, Jesús Alejo Benítez Angulo, Alexander Mendoza Cañedo y José Antonio Nieblas Carrillo.

Financiamiento

Este estudio fue financiado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (convocatoria C003V-2014-1) bajo el programa CONAHCYT-PROINNOVA y número de proyecto 218496.

Literatura citada:

1. Santos SGCG, Saraiva EP, Gonzaga-Neto S, Maia MIL, Lees AM, Sejian V, *et al.* Heat tolerance, thermal equilibrium and environmental management strategies for dairy cows living in intertropical regions. *Front Vet Sci* 2022;9:988775.
2. Estrada FP, Zavala JH, Martínez AA, Raga G, Gay CG. Estado y perspectivas del cambio climático en México: un punto de partida. Programa de Investigación en Cambio Climático – Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM. 1^{ra} ed, Ciudad de México, México, 2023.
3. Aguilar-Quiñonez JA, Avendaño-Reyes L, Macías-Cruz U, Guerra-Liera JE, Vicente-Pérez R, Gastelum-Delgado MA, *et al.* Increasing shade area in feedlot heifers during heat stress: physiological and performance parameters. *Trop Anim Health Prod* 2022;54(152). <https://doi.org/10.1007/s11250-022-03152-4>.
4. Gonzalez-Rivas PA, Chauhan SS, Ha M, Fegan N, Dunshea FR, Warner RD. Effects of heat stress on animal physiology, metabolism, and meat quality: A review. *Meat Sci* 2020;162:108025. doi:10.1016/j.meatsci.2019.108025
5. Edwards-Callaway LN, Cramer MC, Cadaret CN, Bigler EJ, Engle TE, Wagner JJ, Clark DL. Impacts of shade on cattle well-being in the beef supply chain. *J Anim Sci* 2021;99(2):skaa375. <https://doi.org/10.1093/jas/skaa375>.
6. Scheffler TL. Connecting heat tolerance and tenderness in *Bos indicus* influenced cattle. *Animals* 2022;12(3):220. <https://doi.org/10.3390/ani12030220>.
7. Barajas-Cruz R, Cervantes-Pacheco BJ, Velázquez-Elenes EA, Romo-Rubio JA, Aguirre-Ortega J, Martínez-González S, Eugenio-García D. Efecto de sombra en el corral de engorda en la respuesta productiva de toretes en finalización de la época fresca y seca. *Zootec Trop* 2010;28(3):375-381.
8. Castro-Pérez BI, Estrada-Angulo A, Ríos-Rincón FG, Núñez-Benítez VH, Rivera-Méndez CR, Urías-Estrada JD, *et al.* The influence of shade allocation or total shade plus overhead fan on growth performance, efficiency of dietary energy utilization, and carcass characteristics of feedlot cattle under tropical ambient conditions. *Asian-Australas J Anim Sci* 2020;33(6):1034-1041. <https://doi.org/10.5713/ajas.19.0112>.

9. Mejia Turcios SE, Rotz CA, McGlone J, Rivera CR, Mitloehner FM. Effects of heat stress mitigation strategies on feedlot cattle performance, environmental, and economic outcomes in a hot climate. *Animal* 2024; 18(11):101257. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2024>.
10. INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Anuario geográfico de Sinaloa. 2017. https://www.datatur.sectur.gob.mx/ITxEF_Docs/SIN_ANUARIO_PDF.pdf.
11. Hahn GL. Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. *J Anim Sci* 1999;77(Suppl 2):10-20. https://doi.org/10.2527/1997.77suppl_210x.
12. Avendaño-Reyes L, Meraz-Murillo FJ, Pérez-Linares C, Figueroa-Saavedra F, Correa A, Álvarez-Valenzuela FD, *et al.* Evaluation of the efficacy of Grofactor, a beta-adrenergic agonist based on zilpaterol hydrochloride, using feedlot finishing bulls. *J Anim Sci* 2016;94(7):2954-61. doi: <https://doi.org/10.2527/jas.2015-9878>.
13. Honikel KO, Hamm R. Measurement of water-holding capacity and juiciness. In: Pearson AM, Dutson TR, editors. Quality attributes and their measurement in meat, poultry and fish products. *Adv Meat Res* 1994;9. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2167-9_5.
14. SAS. SAS/STAT User's Guide (Release 9.4). Cary NC, USA: SAS Inst. Inc. 2009.
15. Littell RC, Miliken GA, Stroup WW, Wolfinger RD. SAS System for Mixed Models. Cary NC, USA: SAS Inst. Inc. 1996.
16. Brown-Brandl TM, Nienaber JA, Eigenberg RA, Mader TL, Morrow JL, Dailey JW. Comparison of heat tolerance of feedlot heifers of different breeds. *Livest Sci* 2006;105: 19-26. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2006.04.012>
17. Dos Santos MM, Souza-Junior JBF, Dantas MRT, De Macedo-Costa LL. An updated review on cattle thermoregulation: physiological responses, biophysical mechanisms, and heat stress alleviation pathways. *Environ Sci Pollut Res* 2021;28:30471-30485. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14077-0>.
18. Barajas-Cruz R, Cervantes-Pacheco BJ, Espino-García MA, Flores-Aguirre LR, Aguirre-Ortega J, Martínez-González S, *et al.* Efecto de sombra en el corral de engorda en la respuesta productiva de toretes en finalización de la época calurosa. *Zootec Trop* 2010;28(4):513-520.
19. Olorunnisomo OA, Akinpelu WA, Oni AA. Performance of Zebu heifers under heat mitigation measures in a humid-tropical environment. *Agr Trop et Subtrop* 2014;47(4):119-123. <https://doi.org/10.2478/ats-2014-0016>.

20. Marchesini G, Cortese M, Mottaran D, Ricci R, Serva L, Contiero B, *et al.* Effects of axial and ceiling fans on environmental conditions, performance and rumination in beef cattle during the early fattening period. *Livest Sci* 2018;214:225-230. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.06.009>.
21. Doornenbal H, Tong AKW, Murray NL. Reference values of blood parameters in beef cattle of different ages and stages of lactation. *Can J Vet Res* 1988;52(1):99-105.
22. Mishra SR. Behavioural, physiological, neuro-endocrine and molecular responses of cattle against heat stress: an updated review. *Trop Anim Health Prod* 2021;53(3):400. <https://doi.org/10.1007/s11250-021-02790-4>.
23. Chauhan SS, Zhang M, Osei-Amponsah R, Clarke I, Sejian V, Warner R, *et al.* Impact of heat stress on ruminant livestock production and meat quality, and strategies for amelioration. *Anim Front* 2023;13(5):60-68. <https://doi.org/10.1093/af/vfad046>.
24. Salim APAA, Ferrari RG, Monteiro MLG, Mano SB. Effect of different feeding systems on color of *longissimus* muscle from *Bos* cattle: A systematic review and meta-analysis. *Meat Sci* 2022;192:108871. <http://doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.108871>.
25. Warner R, Miller R, Ha M, Wheeler TL, Dunshea F, Li X, *et al.* Meat tenderness: Underlying mechanisms, instrumental measurement, and sensory assessment. *Meat Muscl Biol* 2021;4(2):1–25. <https://doi.org/10.22175/mmb.10489>.
26. Steel CC, Lees AM, Tarr G, Dunshea FR, Bowler D, Cowley F, *et al.* Feedlot factors influencing the incidence of dark cutting in Australian grain-fed beef. *Animals MPDI* 2022;12:1989. <https://doi.org/10.3390/ani12151989>.