

## Parámetros hematológicos y bioquímicos de vaquillas engordadas en corral bajo estrés calórico: Efecto de área de sombra y genotipo

José Antonio Aguilar-Quiñonez<sup>1</sup>, Juan Eulogio Guerra-Liera<sup>2,\*</sup>, Leonel Avendaño-Reyes<sup>3</sup>, Ulises Macías-Cruz<sup>3</sup>, Abelardo Correa-Calderón<sup>3</sup>, Rubén Barajas-Cruz<sup>1</sup>, Miguel Ángel Gastelum-Delgado<sup>2</sup>, Miguel Mellado<sup>4</sup> y Arnulfo Vicente-Pérez<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Sinaloa. Blvd. San Ángel 3886, Mercado de Abastos, Fracc. San Benito, 80260, Culiacán, Sinaloa, México

<sup>2</sup> Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Sinaloa. Km. 17.5 Carretera Culiacán-El Dorado, 80000, Culiacán, Sinaloa, México

<sup>3</sup> Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California. Blvd. Delta S/N, Ejido Nuevo León, 21705, Mexicali, Baja California, México

<sup>4</sup> Departamento de Nutrición Animal, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, 25315, Saltillo, Coahuila, México

### Resumen

El objetivo fue evaluar el efecto de dos áreas de sombra por animal en parámetros bioquímicos, hematológicos y hormonales de vaquillas cebú y europeas bajo estrés calórico. Quinientas diez vaquillas cebú, europeas y sus cruizas se dividieron en seis corrales y se asignaron aleatoriamente a dos tratamientos: T1) tres corrales con 100 vaquillas por corral (2,7 m<sup>2</sup>/animal de sombra), y T2) tres corrales con 70 vaquillas por corral (3,7 m<sup>2</sup>/animal de sombra). Se obtuvieron tres muestras de sangre en 15 vaquillas cebú y 15 vaquillas europeas por corral tres veces (días 1, 28 y 66) durante el estudio. Para estimar metabolitos, electrolitos y hormonas tiroideas se utilizó suero sanguíneo, y para componentes hematológicos, sangre fresca. Los datos se analizaron mediante arreglo factorial 2x2 en un diseño completamente al azar con mediciones repetidas. El índice temperatura-humedad promedió 81,7 unidades. En T1, los dos genotipos tuvieron similar ( $P < 0,05$ ) concentración de glucosa, pero en T2 glucosa fue más alto ( $P < 0,05$ ) en cebú. La concentración de urea fue menor ( $P < 0,05$ ) en T2 que T1. La concentración de Na<sup>+</sup> en T1 fue mayor ( $P < 0,05$ ) que en T2, pero Cl<sup>-</sup> fue menor en T1 ( $P < 0,05$ ) que en T2. La hormona triiodotironina fue menor en T1 ( $P < 0,05$ ) que en T2. Hematocrito y hemoglobina fueron similares entre genotipos dentro de T1 ( $P < 0,05$ ), pero en T2 fueron mayores ( $P < 0,05$ ) en cebú. Utilizar una mayor área de sombra en la engorda de vaquillas no presentó diferencias importantes en la fisiología de vaquillas de engorda cebú y europeas en corral durante verano.

**Palabras clave:** Vaquillas, electrolitos, hematología, sombra.

\* Autor para correspondencia: lar62@hotmail.com

Cita del artículo: Aguilar-Quiñonez JA, Guerra-Liera JE, Avendaño-Reyes L, Macías-Cruz U, Correa-Calderón A, Barajas-Cruz R, Gastelum-Delgado MA, Mellado M, Vicente-Pérez A (2021). Parámetros hematológicos y bioquímicos de vaquillas engordadas en corral bajo estrés calórico: Efecto de área de sombra y genotipo. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 117(2): 130-144. <https://doi.org/10.12706/itea.2020.017>

## Hematological and biochemical parameters in feedlot heifers under heat stress: Effect of shade area and genotype

### Abstract

The aim of the study was to determine the effect of two shade areas per animal on hematological and biochemical concentrations in Zebu and European heifers fattened under heat stress conditions. Five-hundred ten heifers (Zebu, European and its crosses) were randomly assigned to six pens divided in two shade areas: T1 three pens with 100 heifers per pen (shade area: 2.7 m<sup>2</sup>/animal), and T2 three pens with 70 heifers per pen (shade area: 3.7 m<sup>2</sup>/animal). Fifteen blood samples of each genotype per pen were collected three times (days 1, 28 and 66) during the study. To analyze metabolites, electrolytes and thyroid hormones, serum samples were used, while for hematological components fresh blood. Data was analyzed under a 2x2 factorial arrangement in a completely randomized design with repeated measurements. The temperature-humidity index averaged 81.7 units. In T1, both genotypes showed similar glucose concentration ( $P < 0.05$ ), but in T2 glucose concentrations was higher in Zebu ( $P < 0.05$ ). The urea level were lower ( $P < 0.05$ ) in T2 than in T1. The Na<sup>+</sup> level in T1 was higher ( $P < 0.05$ ) than in T2. The Cl<sup>-</sup> in T1 was lower ( $P < 0.05$ ) than in T2. The hormone T<sub>3</sub> showed lower concentration ( $P < 0.05$ ) in T1 compared to T2. No differences were detected for Htc and Hb between genotypes within T1 ( $P < 0.05$ ), but they were higher in T2 for Zebu heifers ( $P < 0.05$ ) than Europeans. Overall, the use of greater shade area did not show substantial differences in the physiology of fattening Zebu or European heifers during summer.

**Keywords:** Heifers, electrolytes, hematology, shade.

### Introducción

A nivel mundial se ha aceptado una tendencia de aumento en la temperatura ambiente como consecuencia del calentamiento global (IPCC, 2007). Este aumento de la temperatura puede acompañarse de efectos negativos importantes en el sector agropecuario, lo cual a su vez puede alterar la seguridad alimentaria en el planeta. En México, las principales operaciones de ganado bovino de engorda se localizan en estados ubicados en zonas áridas y semiáridas del norte del país, donde la producción de insumos hace más fácil y rentable esta actividad. Sin embargo, estas regiones también se distinguen por presentar altas temperaturas por largos periodos de tiempo durante el verano (Avendaño *et al.*, 2011). Las altas temperaturas provocan en el animal alteraciones fisiológicas que conducen a una condición fisiopatológica conocida como estrés calórico (EC) (Avendaño, 2013). Esta condición ocurre cuando existen cargas excesivas de calor junto con baja velocidad

del viento y elevada radiación solar, lo que afecta directamente al rendimiento y al bienestar animal; este escenario se intensifica bajo sistemas de producción en confinamiento (Mitloehner *et al.*, 2002; Vásquez-Requena *et al.*, 2017). La respuesta al estrés calórico es muy compleja debido a que intervienen factores como genotipo, edad, condición corporal, color de pelaje y estatus sanitario. No obstante, el bovino responde mediante la modificación de sus procesos fisiológicos y de conducta para reducir la carga calórica. Se dan cambios en parámetros hematológicos y bioquímicos, en síntesis y secreción de hormonas, así como en actividades de postura y caminado, entre otros (Silanikove, 2000; Sullivan *et al.*, 2011). El conocimiento de alternativas que ayuden a mitigar el EC en verano es de suma importancia para el sector ganadero. Dentro de estas alternativas se pueden enlistar la manipulación nutricional de la dieta (Duff y Galyean, 2007), cambios en la frecuencia y hora de alimentación (Avendaño *et al.*, 2011), así como la manipulación am-

biental del entorno de los animales (Mader et al., 2006). Dentro de las opciones de manipulación ambiental se considera al uso de sombras como manejo básico para proteger a los animales y evitar el aumento en su temperatura corporal (Correa-Calderón et al., 2004). Sin embargo, la determinación del espacio o área de sombra por animal en sistemas de producción intensivo se ha propuesto como un problema que influye en el estrés para el ganado de engorda, sobre todo cuando éste se encuentra en zonas cálidas. Aengwanich et al. (2011) evaluaron el efecto de proporcionar sombra artificial y natural mediante la comparación de parámetros fisiológicos usando ganado Brahman. Los animales sin sombra tuvieron frecuencia respiratoria, tasa de sudoración y relación neutrófilos/linfocitos más elevada que animales con sombra. Por su parte, Sullivan et al. (2011) evaluaron diferentes áreas de sombra (0; 2,0; 3,3 y 4,7 m<sup>2</sup>/animal) en ganado Angus, encontrando que proveer sombra mejoró el bienestar y productividad de los animales; además, señalan que proveer más de 2 m<sup>2</sup>/animal de sombra no mejoró los resultados. Sin embargo, en presencia de ondas de calor, proveer más de 2 m<sup>2</sup>/animal mejoró el bienestar del ganado. Estos resultados demuestran que el uso de sombra es esencial en explotaciones de bovinos ubicadas en zonas cálidas, sin embargo, el área de sombra por animal que mejore su bienestar es un aspecto que aún no está determinado. Por otro lado, el ganado *Bos indicus*, originario de la zona sur del continente asiático, ha mostrado mayor capacidad termorreguladora que el ganado *Bos taurus* (Pererira et al., 2014), lo que ha vuelto popular su presencia en engordas de bovinos que se ubican en zonas con problemas de alta temperatura y humedad relativa.

Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue comparar el efecto de proporcionar dos áreas de sombra por corral (2,7 y 3,7 m<sup>2</sup>/animal) en parámetros hematológicos, metabólicos y

hormonales de vaquillas cebú y europeas engordadas bajo condiciones de estrés por calor en una zona árida.

## Material y métodos

### Lugar del estudio y duración

El estudio se realizó en las instalaciones de una engorda comercial de bovinos productores de carne que maneja alrededor de 15.000 cabezas y está ubicada en el Ejido Saitillo, Valle de Mexicali, Baja California, en el noroeste de México. Su ubicación geográfica es 32°25'27" latitud norte y 115°07'30" de longitud oeste. El clima de la zona es árido, seco y extremoso, muy frío en invierno (<0 °C) y muy caliente en verano (>45 °C). La precipitación pluvial es escasa, con promedio anual de 86 mm y que se concentran en diciembre y enero (García, 1987). El estudio abarcó el periodo más cálido del año en la zona, durante los meses de julio a septiembre, con una duración promedio de 66 d.

### Animales, corrales experimentales y tratamientos

Se consideraron 510 vaquillas en fase de finalización con peso inicial en el estudio promedio de 432 ± 28 kg. Las vaquillas fueron de genotipo europeo, cebú y sus cruza, que se asignaron aleatoriamente a seis corrales y se dividieron en dos tratamientos con base a la concentración de animales por corral: T1) tres corrales con 100 vaquillas cada uno (densidad de sombra 2,7 m<sup>2</sup>/animal); y T2) tres corrales con 70 vaquillas por corral (densidad de sombra 3,7 m<sup>2</sup>/animal). La dimensión de los corrales fue 30 × 30 m, mientras que la de las sombras fue 30 × 6,35 m en T1 y 30 × 12,3 m en T2, con orientación N-S. El material de las sombras fue natural, usando una planta nativa de la región llamada Cachanilla (*Pluchea*

sericea). En T1 se tuvo un área por corral de 9 m<sup>2</sup>/animal, mientras que T2 tuvo área de 12,9 m<sup>2</sup>/animal. Cada corral contó con comedero tipo canoa linealmente dispuesto del lado este del pasillo y bebedero automático. La raza de la vaquilla se consideró el segundo factor que tuvo dos niveles, genotipo europeo y genotipo cebú.

### **Composición racial de las vaquillas y tratamientos**

En cada corral se identificaron fenotípicamente animales de 3 genotipos: tipo europeo, tipo cebú y cruza europeo x cebú. Dado que de estos últimos su número era limitado en cada corral, se seleccionaron vaquillas bien definidas de genotipo cebú y europeo solamente. En el caso de vaquillas cebú, se identificaron animales con jiba, orejas largas y pendulosas, papada y animales altos. En el caso de vaquillas tipo europeo, se tomó en cuenta que fueran de raza Charolaise y Simmental.

### **Alimentación de los animales e ingredientes de la dieta**

El alimento se ofreció dos veces por día (07:00 h y 14:30 h) y la ración consistió en: maíz rolado (71,5 %), granos secos de destilería (12 %), ensilado de sorgo dulce (10 %), heno de alfalfa (4 %) y mezcla comercial de minerales (2,5 %). La composición química de la dieta fue 94,6 % de materia seca (MS), 2,3 % de proteína cruda, 5,6 % de cenizas, extracto etéreo 6,03 % y fibra detergente neutro 51,6 %.

### **Procedimiento experimental**

El estudio inició el 25 de julio, sin embargo, los animales se vendieron de acuerdo a las necesidades del mercado en fechas distintas que en promedio tuvieron una duración de 66 d. Los muestreos sanguíneos coincidieron

con los días de pesaje, ya que los sangrados se realizaron en la báscula-trampa. Estos días fueron el 1, 28 y 66, tratando de que coincidieran con el inicio, mitad y final de su engorda. Se registraron variables fisiológicas en 30 vaquillas seleccionadas aleatoriamente de cada tratamiento (10 por corral); de ellas, 15 vaquillas fueron tipo *Bos indicus* y 15 tipo *Bos taurus*. Se colectaron dos tubos, uno para estimar las variables hematológicas con sangre entera que se condujo al Laboratorio de Fisiología Animal del ICA-UABC para su análisis inmediato, mientras que el otro se centrifugó, se guardó en viales y posteriormente se le determinaron metabolitos, electrolitos y hormonas en el mismo laboratorio.

### **Variables de respuesta en laboratorio**

Se colectaron dos muestras de sangre, la primera en tubos vacutainer de 10 ml mediante venopunción en la vena yugular antes de la alimentación matutina. Las muestras se centrifugaron a 350g durante 15 min a 10 °C; el suero se separó por duplicado en viales de 2 ml y se almacenó a -20 °C para su posterior análisis en el Laboratorio de Fisiología Animal del ICA-UABC. Los metabolitos (glucosa, colesterol, urea, triglicéridos y proteína total) se analizaron con un equipo de química sanguínea (Model DT-60, Johnson Co.; High Wycombe, UK), mientras que los electrolitos (Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> y K<sup>+</sup>) se analizaron con un equipo automatizado (Electrolyte Analyzer LW E60A; Landwind Medical; Shenzhen, China). También se determinaron las hormonas triiodotironina (T<sub>3</sub>) y tiroxina (T<sub>4</sub>) mediante un analizador automático para pruebas de Elisa y pruebas de Quimioluminiscencia (CLIA) con un equipo Thunderbolt® Analyzer (Davis, CA, USA). Para estimar los componentes hematológicos, el segundo muestreo de sangre se colectó en tubos vacutainer de 4 ml que contenían EDTA-K2, para posteriormente en sangre fresca determinar concentraciones de

los siguientes componentes hematológicos usando un equipo automatizado (Auto Hematology Analyzer, Mindray, BC-2800 Vet; Shenzhen, China): glóbulos blancos (Gb), linfocitos (Lin), monocitos (Mon), granulocitos (Gran), glóbulos rojos (Gr), hemoglobina (Hb), hematocrito (Htc), volumen corpuscular medio (VCM), hemoglobina corpuscular media (HCM), concentración corpuscular media de hemoglobina (CCMH), ancho de distribución de eritrocitos (ADE), ancho de distribución del tamaño plaquetario (ADTP), plaquetas (Plt) y volumen medio de plaquetas (VMP).

### **Variables climáticas**

Las variables climáticas temperatura y humedad relativa se colectaron de higrómetro-grafos colocados en el sitio experimental, y con ellos se estimó el índice temperatura-humedad (ITH) utilizando la fórmula propuesta por (Hahn, 1999):

$$ITH = 0.81 \times Temp + \frac{HR}{100} \times (Temp - 14.4) + 6.4$$

Donde,

Temp = Temperatura ambiente

HR = Humedad relativa

### **Análisis estadístico**

Se obtuvieron estadísticos descriptivos de las variables climáticas usando el PROC MEANS del programa de cómputo SAS (2004), presentando valores mínimos, máximos y promedio de temperatura ambiente, humedad relativa e ITH. Esta información se clasificó por el periodo completo del estudio y además en dos periodos del día (10:00 h – 19:00 h y 23:00 h – 08:00 h). Las variables de estudio se analizaron mediante un arreglo factorial 2x2 en un diseño completamente al azar con mediciones repetidas, considerando la ani-

dación de corral en tratamiento. Los factores fueron: área de sombra por animal (T1 y T2) y genotipo (europeo y cebú). La medida del tiempo fue el momento del muestreo (días 1, 28, 66). Las diferencias entre medias ajustadas se detectaron con una prueba de t student para parejas de medias a través de la opción PDIFF/STDERR y el nivel de error utilizado fue 5 %. Los análisis se realizaron con el PROC GLM (General Linear Models) del programa estadístico (SAS, 2004).

## **Resultados y discusión**

### **Variables climáticas**

De acuerdo a la clasificación del estrés calórico para ganado de engorda en corral señalada por Brown-Brandl *et al.* (2006), el valor donde inicia el estrés calórico para este tipo de animales es 75 unidades de ITH, el cual se considera estado de alerta y en la que es necesario tomar medidas para evitar la carga calórica. Esta clasificación del ITH considera que de 79 unidades a 84 unidades el animal está en peligro y 84 unidades o más en emergencia, la cual es la clasificación más alta de estrés calórico. De acuerdo a esta información, los resultados de las condiciones ambientales durante el periodo experimental del presente estudio para ambos tratamientos demuestran que los animales se encontraban bajo condiciones de estrés calórico peligroso durante la mayor parte del periodo experimental, dado que el ITH fue mayor a 75 unidades desde las 10:00 h a las 23:00 h diariamente (Tabla 1). Las temperaturas promedio registradas por encima de 30 °C, aunadas a HR oscilando entre 34,4 % y 68,8 %, provocaron condiciones donde la zona de confort de las vaquillas fue excedida durante el periodo experimental (Brown-Brandl *et al.*, 2005). El promedio de ITH durante el periodo completo fue de 81,7 unidades. Por otro

Tabla 1. Promedios de variables climáticas registradas en la mañana, en la noche y en el periodo completo durante el estudio (\*Agosto a septiembre).

Table 1. Averages of climatic variables recorded in the morning, at night and in the entire period during the study (\* August to September).

	Mínima diaria			Máxima diaria			Promedio diario		
	HR	Temp	ITH	HR	Temp	ITH	HR	Temp	ITH
10:00 a 19:00 h	34,4	32,7	81,8	49	38	85,6	39,5	36,5	84,6
23:00 a 08:00 h	51,4	26,7	76,4	68,8	34,3	84,4	63	29	79
Periodo completo*	34,4	26,7	76,4	68,8	38	85,6	51,9	32,6	81,7

ITH = Índice temperatura-humedad; HR = Humedad relativa; Temp = Temperatura.

lado, Silanikove (2000) menciona que un ITH mayor a 78 unidades puede causar en el animal complicaciones para regular la temperatura de su organismo.

### Electrolitos

La respuesta en los niveles de electrolitos entre vaquillas de tipo cebú y europeo ante los efectos del estrés calórico se comportó de manera similar, sin embargo, se encontraron diferencias entre las dos densidades de sombra, presentándose mayores concentraciones de Na<sup>+</sup> en T1 ( $P < 0,05$ ) que T2. No obstante, T2 presentó mayor ( $P < 0,05$ ) concentración de Cl<sup>-</sup> que T1 (Tabla 2). A pesar de estos resultados, los valores observados estuvieron dentro de los rangos establecidos en la literatura (Wood y Quiroz-Rocha, 2010). Es importante mencionar que los resultados reportados en la literatura en relación a los niveles de electrolitos bajo condiciones de estrés calórico no son consistentes. Beatty et al. (2006) reportan que ganado cebú y europeo bajo condiciones de estrés calórico tuvieron menores niveles de Na<sup>+</sup> en plasma, mientras que los niveles de K<sup>+</sup> y Cl<sup>-</sup> no fueron afectados por genotipo ni por época del año, lo cual no coincide con los resultados del presente estudio. Por su parte, Scharf et al.

(2010) realizaron un estudio durante 14 d para evaluar la capacidad termorreguladora en dos razas de ganado *Bos Taurus* sometidos a estrés por calor (temperaturas: noche = 26 °C y día = 36 °C). Estos autores encontraron que los niveles sanguíneos de K<sup>+</sup> y Na<sup>+</sup> no fueron afectados por la incidencia de altas temperaturas, lo que coincide con los resultados de este estudio. Se espera que en condiciones de estrés calórico exista una reducción en los niveles de Na<sup>+</sup> y K<sup>+</sup>, así como un aumento en los niveles de Cl<sup>-</sup> (Beatty et al., 2006). También se menciona que las concentraciones de Na<sup>+</sup> en sangre pueden reducirse en épocas de verano por un incremento en la excreción urinaria por aumento en la ingestión de agua, la cual a su vez es provocada por la baja producción de la hormona aldosterona. Sin embargo, cationes y aniones como Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> y K<sup>+</sup> intervienen en el mantenimiento del equilibrio ácido-base, de manera que en el animal existen mecanismos hipotalámicos que evitan la excreción de agua y pérdida de electrolitos mediante la estimulación y secreción de la hormona vasopresina (Silanikove, 2000). Los mayores valores de Cl<sup>-</sup> observados en el grupo con mayor área de sombra coinciden con lo señalado por Beatty et al. (2006) en novillos Angus y por Sánchez et al. (2004) en vacas Holstein en

Tabla 2. Concentraciones séricas de electrolitos y metabolitos en vaquillas *Bos indicus* y *Bos taurus* sujetas a dos diferentes áreas de sombra.

Table 2. Serum concentrations of electrolytes and metabolites in *Bos indicus* and *Bos taurus* heifers subject to two different shaded areas.

Variables	Área de sombra			Genotipo		
	T1	T2	EE	Europeo	Cebú	EE
K <sup>+</sup> , mmol/L	5,05	4,88	0,08	4,88	5,00	0,88
Na <sup>+</sup> , mmol/L	134,9 <sup>a</sup>	132,3 <sup>b</sup>	0,63	133,2	134,0	0,64
Cl <sup>-</sup> , mmol/L	108,8 <sup>a</sup>	110,0 <sup>b</sup>	0,23	109,7	109,1	0,24
Colesterol, mg/dL	240,0	225,5	6,53	228,9	236,6	6,69
Proteína total, mg/dL	7,91	7,98	0,04	7,89	7,99	0,04
Triglicéridos, mg/dL	36,19	33,27	1,50	34,52	34,94	1,54
Urea, mg/dL	21,45 <sup>a</sup>	19,68 <sup>b</sup>	0,50	20,22	20,91	0,50

<sup>ab</sup> Medias con distinta literal en hilera difieren ( $P < 0,05$ ). Relación Na/K = 27,0, en promedio. Relación Na/Cl = 1,2 en promedio.

producción, ya que reportan valores altos de este mineral en suero cuando estos animales estuvieron sujetos a mayor carga calórica. Por otro lado, Jenkinson y Mabon (1973) mencionan que conforme aumenta la temperatura ambiente, la pérdida de electrolitos también aumenta en relación al consumo de alimento, reportando en bovinos de engorda pérdidas en K<sup>+</sup> de 11,5 %, en Na<sup>+</sup> de 5,8 % y de 0,84 % en Cl<sup>-</sup> en relación al consumo en bovinos. Los mismos autores señalan que los niveles de estos tres iones estuvieron altamente correlacionados con la tasa de sudoración. Además, indican que, bajo estrés calórico, la relación Na/K presenta un valor mucho mayor a 1,0, así como la relación Na/Cl es alrededor a 1,0 bajo condiciones de estrés calórico. En el presente estudio, la relación Na/K fue de 27 unidades y la de Na/Cl de 1,2 unidades, lo cual coincide con lo indicado por estos autores (Tabla 2). Es posible que los resultados obtenidos en nuestro estudio sean debidos, en parte, a que las condiciones climáticas no fueron tan determi-

nantes como para causar en los animales algún grado de deshidratación; también es importante reconocer que los animales disminuyen la carga calórica durante las horas de la noche y madrugada debido a las corrientes de aire al encontrarse en ausencia de radiación solar de manera directa o indirecta. Así, es posible que las vaquillas disiparan calor a través de radiación por las noches.

### Metabolitos

Los resultados de metabolitos en efectos principales se muestran en el Tabla 2, mientras que la interacción tratamiento x genotipo para glucosa se muestra en la Figura 1. En T1, el ganado cebú y europeo tuvieron similar ( $P < 0,05$ ) concentración de glucosa, pero en T2 estos niveles fueron mayores ( $P < 0,05$ ) en cebú que en ganado europeo Figura 1. No obstante los niveles de urea fueron menores ( $P < 0,05$ ) en T2 que T1, sin observar diferencias por genotipo ( $P > 0,05$ ). En

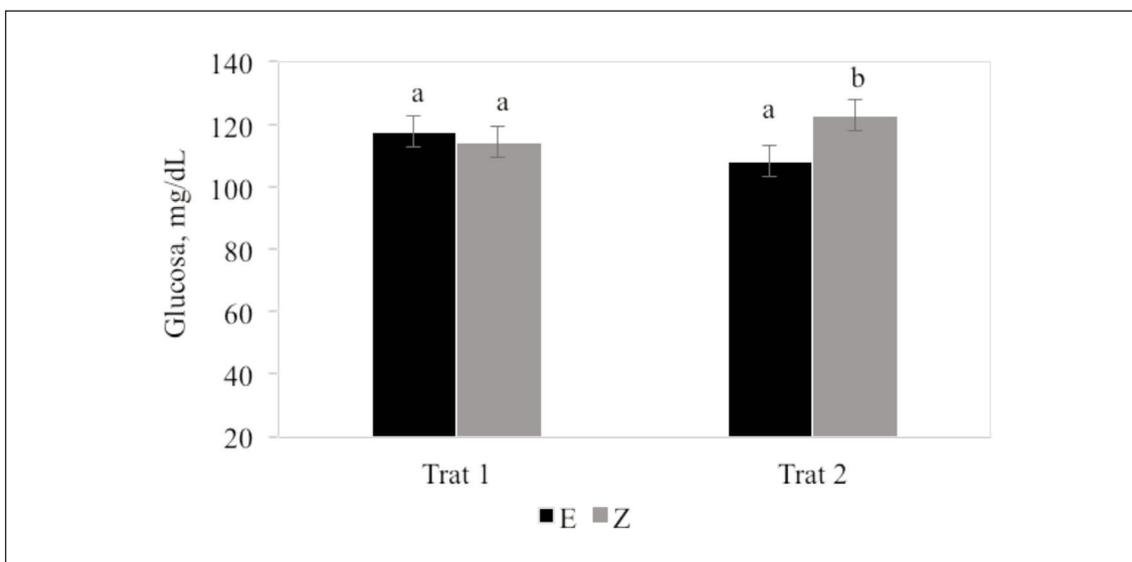


Figura 1. Concentraciones de glucosa en vaquillas *Bos indicus* y *Bos taurus* sujetas a dos diferentes áreas de sombra.

<sup>a, b</sup> Medias con distintas literales difieren ( $P < 0,05$ ; E = europeo, Z = cebú).

Figure 1. Glucose concentrations in *Bos indicus* and *Bos taurus* heifers subject to two different shaded areas.

<sup>a, b</sup> Averages with different literals differ ( $P < 0.05$ ; E = European, Z = Zebu).

colesterol, proteína total y triglicéridos no se encontró efecto ( $P > 0,05$ ) de área de sombra ni genotipo. Una posible reducción en los niveles de glucosa se atribuye a la producción de energía requerida para sustentar el incremento en los requerimientos de energía necesarios para la actividad muscular del sistema respiratorio (Rasouli et al., 2004). Mientras tanto, la reducción en los niveles de colesterol se atribuye a la disminución en el consumo de alimento (Sejian et al., 2010). Vaquillas cebú tuvieron mayor nivel de glucosa respecto a vaquillas europeas (Figura 1), lo que sugiere que vaquillas europeas son afectadas en mayor grado que genotipos cebuinos. Lees (2015) encontró resultados similares en novillos Brahman en relación a los de raza Charolais y Angus. Al respecto, Hammond et al. (1996) mencionan ventajas genéticas del ganado *Bos indicus* sobre el *Bos taurus* asociadas a la tolerancia al calor, lo cual le per-

mite exhibir un mejor desempeño en corral que animales de raza europea. Al respecto, Ocak et al. (2009) encontraron que la reducción en glucosa y colesterol puede ser un indicativo de fallas en la homeostasis. Sin embargo, los niveles obtenidos se encontraron por encima de los valores normales en glucosa (54-79 mg/dl) y colesterol (80-120 mg/dl), señalados para bovinos adultos (RAR, 2000). Este incremento en colesterol coincide con la afirmación de Rasouli et al. (2004), quienes señalan que el incremento de colesterol en sangre se debe a que existe un aumento en la utilización de ácidos grasos para producir energía, como consecuencia de la disminución en la concentración de glucosa en animales estresados por calor. Por otro lado, el cortisol limita a la glucosa como principal fuente de energía, y a su vez incrementa los niveles de triglicéridos y proteínas como reservas de energía (Bernabucci et al., 2010).

Sin embargo, de acuerdo con RAR (2000), los niveles obtenidos en el presente estudio estuvieron dentro del rango normal, probablemente porque las necesidades de energía en el animal se cubrían adecuadamente. Las concentraciones de urea sanguínea también se encontraron dentro de los rangos normales, lo que coincide con Merk (2018), quien reporta valores de 10 mg/dl a 25 mg/dl de urea como rango normal.

### Hormonas Tiroideas

El grupo T1 tuvo menor ( $P < 0,05$ ) concentración de  $T_3$  en comparación a T2. Las vaquillas tipo europeo tuvieron menor ( $P < 0,05$ ) concentración de  $T_3$  a diferencia de las cebú. Finalmente, las concentraciones de  $T_4$  no fueron afectadas por ningún factor (Tabla 3). Los resultados obtenidos en el presente estudio indican una disminución en la concentración

Tabla 3. Variables hematológicas en vaquillas *Bos indicus* y *Bos taurus* sujetas a dos diferentes áreas de sombra.

Table 3. Hematological variables in *Bos indicus* and *Bos taurus* heifers subject to two different shaded areas.

Variables	Área de sombra			Genotipo		
	T1	T2	EE	Europeo	Cebú	EE
Glóbulos blancos, $\times 10^9/L$	9,13	9,03	0,32	8,43 <sup>a</sup>	9,72 <sup>b</sup>	0,32
Linfocitos, $\times 10^9/L$	3,98	4,36	0,17	3,78 <sup>a</sup>	4,56 <sup>b</sup>	0,17
Monocitos, $\times 10^9/L$	0,83	0,82	0,03	0,79	0,85	0,03
Granulocitos, $\times 10^9/L$	4,31 <sup>a</sup>	3,84 <sup>b</sup>	0,16	3,85 <sup>a</sup>	4,30 <sup>b</sup>	0,16
Linfocitos, %	43,62 <sup>a</sup>	47,89 <sup>b</sup>	0,92	45,11	46,38	0,93
Monocitos, %	9,48	9,20	0,18	9,74 <sup>a</sup>	8,94 <sup>b</sup>	0,18
Granulocitos, %	46,51 <sup>a</sup>	43,11 <sup>b</sup>	0,90	44,92	44,69	0,89
Glóbulos rojos, $\times 10^{12}/L$	9,18	9,41	0,15	9,12	9,47	0,15
VCM, $\times 10^{15}/L$	48,61	47,44	0,51	48,21	47,84	0,51
HCM, Pg	14,12	13,94	0,15	14,12	13,94	0,15
CMMH, g/dL	29,18	29,51	0,14	29,43	29,26	0,14
Volumen de plaquetas, $\times 10^{15}/L$	4,94	4,94	0,04	4,85 <sup>a</sup>	5,02 <sup>b</sup>	0,04
ADTP, %	16,13	16,19	0,05	16,16	16,15	0,05
Plaquetas, $\times 10^9/L$	380,2	396,0	29,3	387,2	389,0	29,6
Plaquetocrito, %	0,18	0,20	0,01	0,19	0,19	0,01
Triiodotironina, g/dL	1,14 <sup>a</sup>	1,29 <sup>b</sup>	0,03	1,18	1,26	0,03
Tiroxina, g/dL	5,62	5,79	0,1	5,59	5,83	0,1

<sup>a, b</sup> Medias con distinta literal en hilera difieren ( $P < 0,05$ ).

de la hormona  $T_3$  a medida que aumentan los días en verano. Lo anterior es importante debido a que pudieran existir repercusiones negativas en el bienestar y la productividad de las vaquillas, dado que la baja secreción de las hormonas tiroideas  $T_3$  y  $T_4$  provocan hipertiroidismo (Martínez *et al.*, 2001). Esto coincide con Marai y Haebe (2010), quienes realizaron un estudio en búfalos durante condiciones de estrés calórico y observaron disminución en las concentraciones de  $T_3$  y  $T_4$ . Bajo este planteamiento, se cree que existe fuerte asociación entre las concentraciones de hormonas tiroideas y el consumo de alimento. En el presente estudio, la concentración de  $T_3$  fue mayor en el grupo con mayor sombra por animal, es decir, que tuvieron más espacio y sombra que el grupo con menos sombra y espacio. Esto coincide con los resultados de Correa-Calderón *et al.* (2007) en un estudio realizado bajo condiciones ambientales similares donde encontró mayor concentración de  $T_3$  en animales bajo condiciones de sombra y enfriamiento con respecto a los de sólo sombra. Estos resultados se atribuyen a que proporcionar un mejor ambiente mejora la reducción de la carga calórica y mejora el metabolismo basal. Sin embargo, la respuesta hormonal ante condiciones adversas afecta de manera diferente a los animales, ya que razas cebú, a diferencia de las europeas, presentan mejor adaptación a altas temperaturas (Hansen, 2004). Adicionalmente, se ha señalado que esta reducción en  $T_3$  es una respuesta adaptativa de los animales para regular la producción de calor metabólico interno sin comprometer sus funciones corporales básicas (Afsal *et al.*, 2018). Esto se relaciona directamente con un menor consumo de alimento en condiciones cálidas, lo cual coincidió con un bajo nivel de glucosa. Esto coincidió con los resultados del presente estudio, ya que las vaquillas cebú tuvieron mayor concentración de hormonas tiroideas que vaquillas tipo europeo.

### Hematología

Los resultados obtenidos en el presente estudio indican que el conteo total de glóbulos blancos y de linfocitos en torrente sanguíneo fue mayor ( $P < 0,05$ ) en ganado *Bos indicus* comparado con los mismos conteos en *Bos taurus* (Tabla 3). Por otro lado, el porcentaje de linfocitos fue mayor ( $P < 0,05$ ) en animales bajo mayor área de sombra en comparación con animales con menor área de sombra (Tabla 3). Sin embargo, los valores de estos parámetros hematológicos se encuentran dentro de los valores de referencia (Merck, 2018). Los linfocitos, considerados células agranulares que forman parte de los glóbulos blancos, tienen la función de regular la respuesta inmunitaria específica reaccionando contra agentes extraños al organismo (Wood y Quiroz-Rocha, 2010). El estrés calórico activa el eje Hipotálamo-Pituitaria-Adrenal provocando la liberación de glucocorticoides, al igual que un aumento en los niveles de la hormona cortisol, y en conjunto inducen a que los linfocitos circulantes se fijen a células endoteliales de los vasos sanguíneos, después pasan a otros tejidos como bazo, médula ósea, ganglios linfáticos y piel, donde son almacenados, produciéndose una disminución en la proliferación de linfocitos (Romero-Peñuela *et al.*, 2011; Bagath *et al.*, 2019). Por su parte, Kamwanja *et al.* (1994) sometieron linfocitos de vaquillas Angus, Senepol y Brahman a temperatura de 45 °C por 3 h *in vitro*, resultando en mayor pérdida de viabilidad en los linfocitos de animales raza Angus; los autores confirmaron que existen diferencias de tipo celular entre ganado *Bos taurus* y *Bos indicus* en cuanto a la tolerancia al calor. Tolini *et al.* (2017) también reportaron un efecto negativo del estrés calórico en vacas Holando sobre los glóbulos blancos y linfocitos, indicando que la relación neutrófilos/linfocitos aumentó. En el presente estudio no se midieron los neutrófilos, pero tomando en cuenta que los neutrófilos forman

en gran medida a los granulocitos (hasta 75 %), es muy probable que la relación neutrófilos/linfocitos fuese mayor en vaquillas *Bos taurus* (Gennaro et al., 1978; Tolini et al., 2017). También se observó que el conteo y el porcentaje de granulocitos fue mayor en animales con menor área de sombra, resultado que se asocia a un aumento en glucocorticoides por efecto del estrés calórico. Esta granulocitosis se atribuye a un aumento en la circulación de leucocitos polimorfonucleares (LPMN) desde la médula ósea, promovida por una mayor demarginación de LPMN por efecto del cortisol; este mecanismo está fuertemente relacionado con la respuesta inflamatoria como consecuencia de las altas temperaturas (Nakagawa et al., 1998). Sin embargo, Brown-Brandl et al. (2017) sometió vaquillas Angus a condiciones de estrés calórico prolongado bajo distintos materiales de sombra que promediaron un área de 7,5 m<sup>2</sup>/vaquilla; los autores no encontraron efecto en la concentración de granulocitos, inclusive en el grupo de animales sin sombra. Por otro lado, en la variable monocitos se encontraron niveles elevados en ambos genotipos en relación con los presentados por Merck (2018). Esto concuerda con los resultados presentados por Stanger et al. (2005), quienes mencionan que animales bajo condiciones de estrés calórico tienden a aumentar los niveles de monocitos por efecto de las condiciones ambientales. Lo que contrasta con Gutiérrez-de la Rosa et al. (1971), quienes no observaron diferencias sobre la cantidad de glóbulos blancos entre ganado *Bos taurus* y *Bos indicus* bajo condiciones de altas temperaturas. No obstante, otros componentes hematológicos son: GR, Hb, Htc, VCM, HCM, CCMH, ADE, ADTP, Plt y VMP. Habitualmente, el conteo de estos componentes en sangre es desde un punto de vista clínico importante, niveles normales eritrocitos en sangre indican una síntesis normal de hemoglobina en glóbulos

rojos, y de esta manera existe una mejor capacidad de transportar oxígeno desde los pulmones por medio del torrente sanguíneo hacia los tejidos del cuerpo (Cunningham, 2014). En el presente estudio, las concentraciones de hemoglobina fueron mayores ( $P < 0,05$ ) para ganado *Bos indicus* que *Bos taurus* (Figura 2). Sin embargo, estos valores se encontraron dentro de los rangos descritos por RAR (2000) y Merck (2018) para ambos genotipos. Esto puede sugerir que los animales bajo estudio estuvieron ausentes de enfermedades en función de que la producción y liberación de glóbulos rojos logran una mayor capacidad hacia el sistema respiratorio como mecanismo termorregulador (Reece, 2006). Mientras que los niveles de la variable hematocrito se encontraron dentro de los niveles de referencia descritos por Merck (2018). Sin embargo, el nivel de hematocrito en *Bos indicus* fue mayor ( $P < 0,05$ ) a diferencia de ganado *Bos taurus*. De manera general, la mayor concentración de algunos componentes de glóbulos rojos se encontró en ganado *Bos indicus*, componentes que son responsables de ligar el transporte de oxígeno desde los pulmones a los tejidos del organismo, por lo tanto, bajo condiciones de estrés calórico el ganado cebú promueve de manera más eficiente la producción y liberación de estos componentes como una medida de adaptación (Reece, 2006).

En general, el área de sombra mostró pocas ventajas en relación a la fisiología de las vaquillas en su etapa final de la engorda. Sin embargo, las vaquillas *Bos indicus* mostraron algunos signos hematológicos y bioquímicos de su ventaja en relación a la tolerancia al calor. Es posible que el hecho de que las vaquillas hayan ingresado a la engorda desde la época de primavera les permitió adaptarse a las condiciones climáticas cálidas conforme el verano se hizo presente.

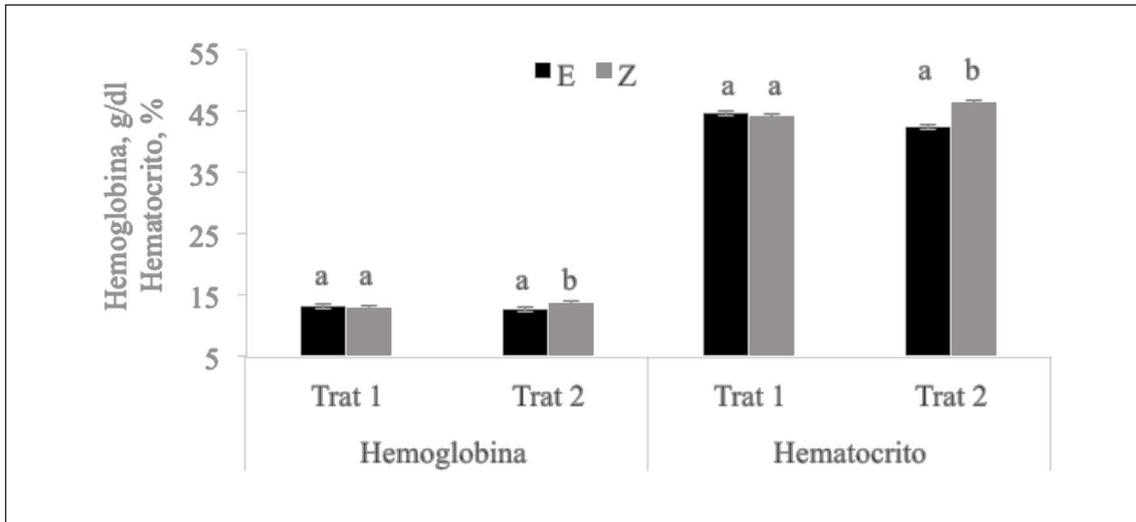


Figura 2. Concentraciones de hemoglobina y hematocrito en vaquillas *Bos indicus* y *Bos taurus* sujetas a dos diferentes áreas de sombra.

<sup>a b</sup> Medias con distintas literales difieren. E = europeo; Z = cebú.  $P < 0,05$ .

Figure 2. Hemoglobin and hematocrit concentrations in *Bos indicus* and *Bos taurus* heifers subject to two different shaded areas.

<sup>a b</sup> Means with different literals differ. E = European; Z = zebu.  $P < 0.05$ .

### Conclusiones

Las variables hematológicas, electrolitos, metabolitos y hormonas tiroideas en vaquillas de engorda en finalización estuvieron en general dentro de los rangos de referencia establecidos por la literatura. Sin embargo, se notaron ligeras diferencias fisiológicas por efecto del área de sombra por animal y por genotipo, siendo éstos en favor de las vaquillas *Bos indicus* y de la mayor área de sombra. Proporcionar 3,7 m<sup>2</sup> de área de sombra a ganado de engorda en corral mejora su fisiología y, por ende, el bienestar de los animales.

### Agradecimientos

Los autores agradecen a la Coordinación de Posgrado e Investigación de la UABC por el fi-

nanciamiento brindado a través del proyecto de investigación de Cuerpos Académicos con número de programa 2229. Asimismo, al Sr. Antonio Valdivia Jáuregui, propietario de Corrales Valdivia, en el valle de Mexicali, B.C., por el apoyo recibido durante el presente estudio.

### Referencias bibliográficas

- Aengwanich W, Kongbuntad W, Boonsorn T (2011). Effects of shade on physiological changes, oxidative stress, and total antioxidant power in Thai Brahman cattle. *International Journal of Biometeorology* 55(5): 741-748. <https://doi.org/10.1007/s00484-010-0389-y>
- Afsal A, Sejian V, Bagath M, Krishnan G, Devaraj C, Bhatta R (2018). Heat stress and livestock adaptation: neuro-endocrine regulation. *International Journal of Veterinary and Animal Medicine* 1.2: 1-8.

- Avendaño RL, Álvarez FD, Correa CA, Torrentera NG, Torres V, Ray DE (2011). Frecuencia de alimentación e iluminación nocturna y productividad de vaquillas para engorda en verano. *Archivos de Zootecnia* 60(232):1247-1254. <https://doi.org/10.4321/S0004-05922011000400039>
- Avendaño RL (2013). La Ganadería en Baja California ante el Cambio Climático. Capítulo 4. En: *Baja California ante el embate del cambio climático* (Ed. M. Quintero), pp. 209-232. Editorial UABC. Mexicali, B.C., México.
- Bagath M, Krishnan G, Devaraj C, Rashamol VP, Pragna P, Lees AM, Sejian V (2019). The impact of heat stress on the immune system in dairy cattle: A review. *Research in Veterinary Science* 126: 94-102. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2019.08.011>
- Beatty DT, Barnes A, Taylor E, Pethick D, McCarthy M, Maloney SK (2006). Physiological responses of *Bos taurus* and *Bos indicus* cattle to prolonged, continuous heat and humidity. *Journal of Animal Science* 84: 972-985. <https://doi.org/10.2527/2006.844972x>
- Bernabucci U, Lacetera NL, Baumgard H, Rhoads RP, Ronchi B, Nardone A (2010). Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. *Animal* 4(7): 1167-1183. <https://doi.org/10.1017/S175173111000090X>
- Brown-Brandl T, Eigenberg R, Nienaber J, Hahn GL (2005). Dynamic response indicators of heat stress in shaded and non-shaded feedlot cattle, Part 1: analyses of indicators. *Biosystems Engineering* 90(4): 451-462. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2004.12.006>
- Brown-Brandl TM, Nienaber JA, Eigenberg RA, Mader TL, Morrow JL, Dailey JW (2006). Comparison of heat tolerance of feedlot heifers of different breeds. *Livestock Science* 105: 19-26. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2006.04.012>
- Brown-Brandl TM, Chitko-McKown CG, Eigenberg RA, Mayer JJ, Welsh TH, Davis JD, Purswell JL (2017). Physiological responses of feedlot heifers provided access to different levels of shade. *Animal* 11(8): 1344-1353. <https://doi.org/10.1017/S1751731116002664>
- Correa-Calderón A, Yáñez V, Verdugo F, Pérez A, Avendaño L, González VM, Ponce F, Tarazón M (2004). Efecto de un sistema de enfriamiento a espacio abierto en la eficiencia productiva de novillos Holstein durante el verano. *Interciencia* 29: 86-88.
- Correa-Calderón A, Yáñez Cantabrana VM, Verdugo Zárate FJ, Avendaño Reyes L, Álvarez Almorá E, Árechiga Flores CF, Rivera Acuña AF (2007). Respuesta fisiológica y productiva de novillos engordados con un sistema de enfriamiento a espacio abierto en un clima árido y seco. *Técnica Pecuaria en México* 45(3): 345-354.
- Cunningham JG (2014). *Fisiología Veterinaria*. 5ª ed. Ed. Elsevier. México D.F.
- Duff GC, Galyean ML (2007). Recent advances in management of highly stressed, newly received feedlot cattle. *Journal of Animal Science* 85(3): 823-840. <https://doi.org/10.2527/jas.2006-501>
- García E (1987). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. 3ra. Ed. México, D.F., Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gennaro R, Schneider C, De Nicola G, Cian F, Romeo D (1978). Biochemical properties of bovine granulocytes. *Experimental Biology and Medicine* 157(3): 342-347. <https://doi.org/10.3181/00379727-157-40050>
- Gutiérrez-de la Rosa JH, Warnick AC, Cowley JJ, Hentges JF (1971). Environmental physiology in the sub-tropics. I. Effect of continuous environmental stress on some hematological values of beef cattle. *Journal of Animal Science* 32(5): 968-973. <https://doi.org/10.2527/jas1971.325968x>
- Hahn GL (1999). Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. *Journal of Animal Science* 77: 10-20. [https://doi.org/10.2527/1997.77suppl\\_210x](https://doi.org/10.2527/1997.77suppl_210x)
- Hammond AC, Olson TA, Chase CC, Bowers EJ, Randel RD, Murphy CN, Vogt DW, Tewolde A (1996). Heat tolerance in two tropically adapted *Bos taurus* breeds, Senepol and Romosinuano, compared with Brahman, Angus and Hereford cattle in Florida. *Journal of Animal Science* 74: 295-303. <https://doi.org/10.2527/1996.742295x>
- Hansen PJ (2004). Physiological and cellular adaptation of zebu cattle to thermal stress. *Animal*

- Reproduction Science 82-83: 349-360. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2004.04.011>
- IPCC (2007). Chapter 8, Agriculture. En: Climate Change: Mitigation. Contribution of working group III to the fourth Assessment report of the intergovernmental panel on climate change. (Eds. B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer), pp 498-540. Cambridge University Press.
- Jenkinson DM, Mabon M (1973). The effect of temperature and humidity on skin surface pH and the ionic composition on skin secretions in Ayrshire cattle. *British Veterinary Journal* 129(3): 282-295. [https://doi.org/10.1016/s0007-1935\(17\)36482-5](https://doi.org/10.1016/s0007-1935(17)36482-5)
- Kamwanja LE, Chase CC, Gutierrez JA, Guerriero V, Olson TA, Hammond AC, Hansen PJ (1994) Responses of bovine lymphocytes to heat shock as modified by breed and antioxidant status. *Journal of Animal Science* 72: 438-444. <https://doi.org/10.2527/1994.722438x>
- Lees AM (2005) Biological responses of feedlot cattle to heat load. Doctor of Philosophy Thesis. University of Queensland, Brisbane, Australia.
- Mader TL, Davis MS, Brown-Brandl T (2006). Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *Journal of Animal Science* 84: 712-719. <https://doi.org/10.2527/2006.843712x>
- Marai IFM, Haebe AAM (2010). Buffalo's biological functions as affected by heat stress: A review. *Livestock Science* 127: 89-109. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2009.08.001>
- Martínez Y, Chongo B, Pizarro L, Castillo E (2001). Una nota acerca de las concentraciones de hormonas tiroideas de toros de ceba que consumieron *Leucaena leucocephala*. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 35(4): 379-381.
- Merck (2018). *Veterinary Manual. Hematologic Reference Ranges*. Fielder S.E. Disponible en: <https://www.merckvetmanual.com/appendices/referenceguides/hematologic-reference-ranges> (Consultado: 10 marzo 2019).
- Mitloehner FM, Galyean ML, McGlone JJ (2002). Shade effects on performance, carcass traits, physiology, and behavior of heat-stressed feedlot heifers. *Journal of Animal Science* 80(8): 2043-2050. <https://doi.org/10.1093/ansci/80.8.2043>
- Nakagawa M, Terashima T, D'yachkova Y, Bondy GP, Hogg JC, van Eeden SF (1998). Glucocorticoid-induced granulocytosis: contribution of marrow release and demargination of intravascular granulocytes. *Circulation* 98(21): 2307-2313. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.98.21.2307>
- Ocak S, Darcan N, Çankaya S, Inal TC (2009). Physiological and biochemical responses in German Fawn kids subjected to cooling treatments under Mediterranean climate conditions. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Science* 33(6): 455-461. <https://doi.org/10.3906/vet-0708-3>
- Pereira AMF, Titto EL, Infante P, Titto CG, Geraldo AM, Alves A, Leme TM, Baccari Jr F, Almeida JA (2014) Evaporative heat loss in *Bos taurus*: Do different cattle breeds cope with heat stress in the same way? *Journal of Thermal Biology* 45: 87-95. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2014.08.004>
- RAR (2000). *Research Animal Resources. Reference values for laboratory animals*. University of Minnesota. Disponible en: [www.Ahc.umn.edu/rar/refvalues.html](http://www.Ahc.umn.edu/rar/refvalues.html) (Consultado: 15 Noviembre 2017).
- Rasouli A, Nouri M, Khajeh Gh, Rasekh A (2004) The influences of seasonal variations on thyroid activity and some biochemical parameters of cattle. *Iran Journal of Veterinary Research* 5: 1383-1391.
- Reece WO (2006). *Dukes: Fisiologia dos Animais Domésticos*. 12 edição. Guanabara Koogan. Rio de Janeiro, Brasil.
- Romero-Peñuela MH, Uribe-Velásquez LF, Sánchez-Valencia JA (2011). Biomarcadores de estrés como indicadores de bienestar en ganado de carne. *Biosalud* 10(1): 71-87.
- SAS (2004). *SAS/STAT® User's Guide*. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Scharf B, Carroll JA, Riley DG, Chase CC, Coleman SW, Keisler DH, Weaber RL, Spiers DE (2010). Evaluation of physiological and blood serum differences in heat-tolerant (Romosinuano) and heat-susceptible (Angus) *Bos taurus* cattle du-

- ring controlled heat challenge. *Journal of Animal Science* 88(7): 2321-2336. <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2551>
- Sejian V, Maurya VP, Naqvi SMK (2010). Adaptive capability as indicated by endocrine and biochemical responses of Malpura ewes subjected to combined stresses (thermal and nutritional) in a semi-arid tropical environment. *International Journal Biometeorology* 54: 653-661. <https://doi.org/10.1007/s00484-010-0341-1>
- Silanikove N (2000). Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. *Livestock Production Science* 67: 1-18. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(00\)00162-7](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(00)00162-7)
- Stanger KJ, Ketheesan N, Parker AJ, Coleman CJ, Lazzaroni SM, Fitzpatrick LA (2005). The effect of transportation on the immune status of *Bos indicus* steers. *Journal of Animal Science* 83(11): 2632-2636. <https://doi.org/10.2527/2005.83112632x>
- Sullivan ML, Cawdell-Smith AJ, Mader TL, Gaughan JB (2011). Effect of shade area on performance and welfare of short-fed feedlot cattle. *Journal of Animal Science* 89(9): 2911-2925. <https://doi.org/10.2527/jas.2010-3152>
- Tolini F, Fernández G, Mayer N, Maiztegui L, Muñoz G, Pagni C, Rodríguez N (2017). Influencia del estrés calórico sobre los glóbulos blancos en vacas Holando Argentino. *Revista Agronomía del Noroeste Argentino* 37(1): 67-75.
- Vásquez-Requena ÁG, Sessarego-Dávila EA, Lavalle-Peña GF, Tello-Alarcón VI (2017). Influencia del sistema de enfriamiento sobre la productividad del ganado bovino lecheros en el valle de Huaura, Perú. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* 28 (1): 195-200. <https://doi.org/10.15381/rivep.v28i1.12928>
- Wood D, Quiroz-Rocha GF (2010). Normal hematology of cattle. En: Schalm's *Veterinary Hematology*. 6th ed (Eds. Douglas JW, Wardrop KJ), pp. 829-835. Wiley-Blackwell. Ames Iowa, USA.

(Aceptado para publicación el 9 de junio de 2020)