

## TOLERANCIA AL CALOR DE BOVINOS CRUZADOS WAGYU-BRAHMAN BAJO CONDICIONES DE TRÓPICO HUMEDO, PANAMÁ<sup>1</sup>

*Pedro Guerra-Martínez<sup>2</sup>; José L. Bernal-Rosas<sup>3</sup>; Carlos I. Martínez-Delgado<sup>4</sup>;  
Aristides A. Villarreal-Ruíz<sup>5</sup>; María M. De Gracia-Victoria<sup>6</sup>; Olegario Ibarra-Guerra<sup>7</sup>*

### RESUMEN

El objetivo principal fue evaluar la tolerancia al calor de bovinos Wagyu-Brahman pastoreando bajo condiciones de trópico húmedo. Los datos corresponden al período 2008-2014. Las variables dependientes fueron: índice de carga calórica (HLI), frecuencia respiratoria (FR); temperatura rectal (TR) y temperatura tegumentaria (TS). Para cada observación tomada se calculó el índice temperatura-humedad (ITH) con la temperatura ambiental (Tamb) y humedad relativa (HR). Los grupos raciales fueron: WG25, WG50, WG75 y WGF1. La época del año (EP) al momento del muestreo se clasificó en época seca (ESC) y lluviosa (ELL). Los datos se analizaron mediante un modelo anidado lineal generalizado. Se utilizó análisis de regresión para estudiar la tendencia de ITH con Tamb y HR; así como de las variables en estudio con ITH. Los efectos de EP y GR(EP) no fueron significativos ( $P>0,05$ ) en las variables dependientes. Las correlaciones con ITH en WGF1 fueron: 0,218 (HLI), 0,527 (FR), 0,348 (TR) y 0,309 (TS) y todas significativas ( $P<0,01$ ). En ELL, mayores valores de HLI (95,07), FR (51,29 inspiraciones/min) y TR (39,80° C) se encontraron en WG50, pero en ESC mayores valores de HLI (97,34), FR (49,50 inspiraciones/min) y TR (40,50° C) en WG25. Las diferencias de valores de HLI, FR, TR y TS entre GR(EP) no fueron significativas ( $P>0,05$ ). De acuerdo con el HLI, la EEG-CMO-IDIAP está en una condición muy caliente (94,6) y en el ITH en una zona de peligro (82,6). Basado en la TR y FR todos los GR evaluados presentaron moderada tolerancia al calor.

**Palabras claves:** Cruces Wagyu-Brahman, frecuencia respiratoria, HLI, ITH, temperatura rectal.

<sup>1</sup>Recepción: 12 de abril de 2023. Aceptación: 28 de agosto de 2023. Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). Centro de Innovación Agropecuaria Chiriquí (CIA Chiriquí). Estación Experimental de Gualaca "Carlos M. Ortega".

<sup>2</sup>IDIAP. CIA Chiriquí. M.Sc. Mejoramiento Genético Animal. e-mail: [pedroguerram16@gmail.com](mailto:pedroguerram16@gmail.com); ORCID ID: <https://orcid.org/0000/0001/6731/3624>

<sup>3</sup>IDIAP. CIA Chiriquí. Medicina Veterinaria y Reproducción Animal.

<sup>4</sup>IDIAP. CIA Comarcal. Sub-Centro Hato Chamí. Ingeniero Zootecnista.

<sup>5</sup>IDIAP. CIA Chiriquí. Laboratorio de Salud Animal. M.Sc. Salud Animal.

<sup>6</sup>IDIAP. CIA Chiriquí. Laboratorio Salud Animal. Técnica Laboratorista.

<sup>7</sup>IDIAP. CIA Chiriquí. Asistente de Campo.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

## HEAT TOLERANCE OF WAGYU-BRAHMAN CROSSBRED BOVINES UNDER HUMID TROPIC CONDITIONS, PANAMÁ

### ABSTRACT

The main objective was to evaluate the heat tolerance of Wagyu-Brahman bovines grazing under the humid tropic conditions. Data correspond to the 2008-2014 period. Dependent variables were: heat load index (HLI), respiration rate (FR), rectal temperature (TR) and integumentary temperature (TS). For each taken observation it was calculated the temperature-humidity index (ITH) with the ambient temperature ( $T_{amb}$ ) and relative humidity (HR) were determined. Racial groups (GR) were: WG25, WG50, WG75 and WGF1. Season of the year (EP) at the sampling moment was classified into dry season (ESC) and rainy season (ELL). Data were analyzed by a generalized linear nested model. Regression analyses were performed to study the ITH tendency with  $T_{amb}$  and HR, as well as the studied variables with ITH. Effects of EP and GR(EP) were not significant ( $P > 0.05$ ) on the dependent variables. Correlations with ITH on WGF1 were: 0.218 (HLI), 0.527 (FR), 0.348 (TR), and 0.309 (TS) and all significant ( $P < 0.001$ ). In ELL, higher values of HLI (95.07), FR (51.29 breaths/min) and TR (39.80° C) were found on WG50, but higher values of HLI (97.34), FR (49.50 breaths/min) and TR (40.50° C) were found on WG25. Differences in HLI, FR, TR and TS values among GR(EP) were not significant ( $P < 0.05$ ). According to the HLI, the EEG-CMO-IDIAP is on very hot condition (94.6) and to the THI in a danger zone (82.6). Based on TR and FR all evaluated GR presented moderate heat tolerance.

**Keywords:** Wagyu-Brahman crosses, respiratory rate, HLI, ITH, rectal temperature.

### INTRODUCCIÓN

La productividad del ganado bovino bajo las condiciones del trópico está en función de su bienestar. Este bienestar no es más que el estado de armonía entre el animal con su ambiente, y tiene que ver con el esfuerzo que debe realizar para sobreponerse a las adversidades del ambiente (Broom, 2003). El nivel de estrés calórico que el animal puede experimentar se relaciona con tres factores: condiciones ambientales que existen (Hahn et al., 1999), susceptibilidad del animal (Brown-Brandl y Jones, 2011), y protocolos de manejo usados en el animal. De acuerdo con Hammond et al. (1996) la tolerancia al calor es definida como la habilidad del bovino a mantener constante la temperatura corporal en un ambiente cálido o caliente.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Los Sistemas Vaca-Ternero y Ceba Bovina de Panamá se desarrollan en el trópico húmedo y en pastoreo bajo condiciones de extrema deforestación con predominio de la raza Brahman (*Bos indicus*). Estas condiciones producen estrés calórico (fuerzas externas al animal homeotérmico<sup>8</sup> y endotérmico<sup>9</sup> que actúan para desplazar la temperatura corporal de su estado en reposo), altera el comportamiento fisiológico (funciones celulares) y comportamiento del animal (reproducción y producción) (Guerra M. et al., 2004; Guerra M. et al., 2008; Guerra M. et al., 2012). Entre las variables atmosféricas que influyen en el confort térmico (Hafez, 1973) de los bovinos están: la temperatura ambiental (Tamb), humedad relativa (HR), radiación solar (RS) y velocidad del viento (VV). Los efectos acentuados de estos fenómenos ambientales provocan alteraciones en la temperatura corporal, ingestión, digestión, respiración, circulación de la sangre, estado de las glándulas de secreción interna, (Álvarez, 2004), el cual produce una disminución en el comportamiento animal, afectando al mismo tiempo su estado de salud (Bergerón y Lewis, 2002). El Índice Temperatura-Humedad (ITH) ha sido ampliamente utilizado como un indicador de estrés calórico en la ganadería bovina (Thom, 1959), ajustado por radiación solar y velocidad del viento por Mader et al. (2006).

La productividad animal en el trópico es que las razas tolerantes al calor son de baja producción, porque la tolerancia al calor implica una baja producción de calor (Berbigier, 1989). Por otro lado, investigadores como Hammond et al. (1996) indican que, para mercados nacionales e internacionales de alta exigencia en calidad de la carne, en países de alta producción de carne bovina, la raza Brahman (*Bos indicus*) pura y sus cruces con >75% de Brahman tiene desventaja en su aceptabilidad por ganaderos (bajo comportamiento reproductivo, productivo, temperamento en confinamiento), procesadores (calidad y rendimiento de la canal) y consumidores (suavidad, jugosidad y marmoleado).

Para países como el nuestro con miras a la exportación de carne bovina, una estrategia para mejorar la eficiencia bio-económica del Sistema Vaca-Ternero y Ceba

---

<sup>8</sup> Homeotérmico: animal con temperatura corporal constante y en un determinado nivel (36° a 40°C) que es óptimo para el conjunto de todas sus reacciones bioquímicas.

<sup>9</sup> Endotérmico: animal que produce calor interno por las distintas funciones orgánicas.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Bovina es el cruzamiento interracial con razas tolerantes al calor<sup>10</sup> o adaptadas al trópico húmedo entre el Brahman (*Bos indicus*) y razas especializadas para producir carne de alta calidad capaz de competir en mercados locales e internacionales. Una raza bovina que ha despertado mucho interés a nivel mundial, incluyendo Panamá, es el Wagyu que se caracteriza por su alta fertilidad, facilidad al parto, madurez temprana, temperamento dócil, gran habilidad de marmoleado, su carne contiene dos veces más ácidos grasos monoinsaturado (MUFA) y textura más fina (Gotoh et al., 2014; Guerra M., 2015).

Actualmente hay poca información y estudios de bovinos cruzados Wagyu-Brahman en pastoreo bajo condiciones de estrés calórico del trópico húmedo. Por lo tanto, el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la tolerancia al calor de bovinos cruzados Wagyu-Brahman en pastoreo y su relación con el ITH en condiciones del trópico húmedo de Gualaca, Panamá.

## MATERIALES Y MÉTODOS

*Localización del estudio:* el estudio se realizó en la Estación Experimental de Gualaca “Carlos M. Ortega” del Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (Gualaca, provincia de Chiriquí), ubicada a 8°39’20” latitud norte y 82°10’10” longitud oeste. La zona pertenece al ecosistema Bosque Húmedo Tropical (Holdridge, 1979).

*Climatología del área de estudio:* los datos climatológicos históricos (promedio de 23 años) de la Estación Experimental de Gualaca de IDIAP fueron tomados de la Estación Gualaca II de la Empresa de Transmisión Eléctrica [ETESA], 2018. La temperatura ambiental promedio fue de 26,8° C (27,5° C en época seca y 26,5° C en época lluviosa), humedad relativa promedio de 79,0% (70,9% en época seca y 84,0 en época lluviosa), la velocidad del viento (3,2 m/s en época seca y 2,1 m/s en época lluviosa) y la precipitación pluvial anual de 4,244 mm.

*Fuente de datos:* los datos provienen de los animales post-destetados nacidos en el período 2008 a 2014. La fecha de toma de información se agrupó en dos épocas del año

---

<sup>10</sup> Tolerancia al calor: es la tolerancia fisiológica de los seres vivos al calor que recibe del ambiente donde interactúa. (Fuente: los autores)



(EP): época seca (ESC) y época lluviosa (ELL). Así los meses de enero a abril se agruparon en ESC y los meses de mayo a diciembre se agruparon en ELL.

*Grupos raciales:* los grupos genéticos del animal (GR) fueron: WG25 (25% Wagyu + 75% Brahman) con 7 animales que generaron 19 observaciones; WG50 (50% Wagyu + 25% *Bos taurus* + 25% Brahman) con 9 animales que generaron 18 observaciones; WG75 (75% Wagyu + 25% Brahman) con 10 animales que generaron 31 observaciones y WGF<sub>1</sub> (50%Wagyu + 50% Brahman) con 20 animales que generaron 88 observaciones. En total 46 animales estuvieron involucrados y generaron 156 observaciones.

*Base de alimentación:* los animales pastorearon principalmente el pasto *Brachiaria humidicola* fertilizada con acceso a libre consumo de sal mineralizada. En la época seca, los animales fueron suplementados a base de concentrados de granos, soya y subproductos de molinería del arroz, ensilado de maíz, caña de azúcar picada (*Saccharum officinarum*) y sal proteinada.

*Salud del hato:* los animales se desarrollaron bajo un régimen sanitario que consistió en el control y prevención de endoparásitos y ectoparásitos; además de vacunación contra Pierna Negra, Septicemia Hemorrágica y Carbunco Sintomático.

*Tolerancia al calor:* cada animal experimental en el momento del pesaje se les tomó la siguiente información de acuerdo con Guerra M. et al. (2004); Guerra M. et al. (2012). Los datos se tomaron entre 10:00 a.m. y 2:00 p.m.

*Temperatura interna (TR):* es la temperatura rectal medida en cada animal a través de un termómetro de vidrio con mercurio de bulbo seco por un tiempo de un minuto.

*Frecuencia respiratoria (FR):* se midió contando la cantidad de inspiraciones observadas en la caja de las costillas en 15 segundos y se multiplicó por cuatro para obtener la frecuencia en un minuto.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

*Temperatura tegumentaria (TS)*: se determinó con un termómetro digital infrarrojo dirigido encima de la piel a la altura de las vértebras lumbares.

*Área corporal (A)*: para determinar el área corporal aproximada, se utilizó la fórmula desarrollada por De Alencar Nããs (1989): para ganado el ganado Cruzado como:  $A = 0,15W^{0,56}$ . Donde: A es el área (m<sup>2</sup>) y W es el peso vivo corporal (kg).

*Índice Temperatura-Humedad (ITH)*: se calculó de acuerdo con Thom (1959); (National Oceanic and Atmospheric Administration [NOAA], 1976) tomando en cuenta la temperatura ambiental (Tamb) y humedad relativa (HR):

$$ITH = (0,8 * Tamb) + (HR/100) * (Tamb - 14,3) + 46,4$$

Este ITH no se ajustó por la velocidad del viento (VV, m/s) y radiación solar (RS, W/m<sup>2</sup>) de acuerdo con Mader et al., (2004) por carecer de dicha información. Además, para calificar la severidad del ITH se utilizó la escala de Livestock Conservation Incorporated (LCI, 1970), conocida como: Livestock Weather Safety Index basado en las siguientes categorías de ITH: normal, ITH <74; alerta, 74 < ITH < 79; peligro, 79 < ITH < 84; y emergencia, ITH > 84 (Brown-Brandl, 2018).

*Índice de Carga Calórica (HLI)*: se estimó usando las siguientes ecuaciones de regresión múltiple de Whittow (1962) y Gaughan et al. (2008), modificada por Suárez P. et al. (2012):

$$Tb = 36,27 + 0,12T \text{ para } Tamb > 25^\circ C$$

$$HLI_{Tamb > 25} = 9,62 + 0,38HR + 1,55Tb - 0,5vv + e^{-2,4*vv}$$

Donde: Tamb > 25° C = temperatura ambiental para zonas con >25° C; Tb= temperatura corporal en ° C; e= es la base del logaritmo natural; e=2,71828. Se asumió una VV de 1,0075 m/s (promedio anual en la EEG-CMO). De acuerdo con Gaughan et al. (2008) el HLI es dividido en cuatro categorías: 1) condiciones termoneutrales cuando HLI es <70,0; 2) condiciones cálidas, cuando el IHL está entre 70,1 a 77,0; 3) condiciones calientes, cuando el HLI está entre 77,1 a 86,0; y 4) condiciones muy calientes, cuando el HLI está



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

>86,0. Por otra parte, Suárez P., et al. (2012) propuso la siguiente clasificación: HLI>92 condición normal; HLI 92-100 estado de alerta; 100-114 estado de peligro; y >114 estado de emergencia.

*Análisis de varianza de los datos:* la información colectada (HLI, FR, TR y HLI) se analizó mediante un modelo lineal generalizado anidado (Searle,1971). El modelo matemático fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \gamma_j(\alpha_i) + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:  $Y_{ijk}$  es la k-ésima observación del j-ésimo grupo racial anidado en la i-ésima época del año;  $\mu$  es la media general;  $\alpha_i$  es el efecto de la época del año (EP);  $\gamma_j(\alpha_i)$  es el efecto del anidamiento del j-ésimo grupo racial dentro de la i-ésima época del año [GR(EP)] y  $\varepsilon_{ijk}$  es el término de error (NID). Medias ajustadas por mínimos cuadrados fueron comparadas mediante pruebas de t con alfa=0,05 y probar la hipótesis nula de  $H_0: \mu_i = \mu_j$ .

*Análisis de regresión de los datos:* se realizó una regresión múltiple por EP con las variables dependientes FR y TR con Tamb y HR para determinar sus efectos y grado de tendencia.

$$\hat{Y}_{ij} = \alpha + \beta_1 X_i + \beta_2 X_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde:  $\hat{Y}_{ij}$  es la variable dependiente FR o TR,  $\alpha$  es el intercepto,  $\beta_1$  y  $\beta_2$  son los coeficientes parciales de regresión  $X_i$  y  $X_j$  son las variables independientes Tamb y HR, respectivamente y  $\varepsilon_{ij}$  es el error aleatorio (NID).

Las variables dependientes relacionadas a las constantes fisiológicas (TR, FR, y TS) y HLI también fueron analizadas mediante la técnica de regresión lineal y cuadrática (Draper y Smith, 1981) pasando por el origen con el ITH. Este análisis se efectuó por grupo racial del animal (GR).

$$\hat{Y}_{ij} = \beta_1 X_i + \varepsilon_{ij}$$

$$\hat{Y}_{ij} = \beta_1 X_i + \beta_2^2 X_i + \varepsilon_{ij}$$



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Donde:  $\hat{Y}_{ij}$  es la variable dependiente del j-ésimo animal, del i-ésimo grupo racial;  $\beta_1$  y  $\beta_2$  son los coeficientes parciales de regresión;  $X_i$  es la variable independiente ITH y  $\epsilon_{ijk}$  es el error aleatorio (NID).

*Análisis de correlación de los datos:* se midió la relación entre las variables TR, FC, FR y HLI con ITH por GR a través de la técnica de correlación de Pearson (Draper y Smith, 1981).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente estudio se registró un ITH promedio de 82,7 con un mínimo de 79,3 y máximo de 84,6. Estos valores ubican al ITH en una categoría de “peligro” (Brown-Brandl, 2018). Basado en estos resultados, la EEG-CMO del IDIAP está en una zona de mucho cuidado para el desarrollo eficiente de la ganadería bovina en pastoreo y que se deben tomar medidas para mitigar los efectos adversos del estrés calórico. En el estudio de Guerra M., et al. (2004) con animales cruzados *Bos taurus* x *Bos indicus*, el ITH estuvo entre 82,17 y 82,33 en la ESC y 78,73 a 83,04 en la ELL. Además, Hammond et al. (1996) reportaron valores de ITH entre 63 y 85 en Florida, USA al evaluar razas indicas, adaptadas (Senepol y Romosinuano) y taurinas.

Entre las épocas del año y los grupos raciales anidados dentro de cada época no existieron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ). Los CV estuvieron por debajo del 5,0%, a excepción de FR, cuyo CV fue alto (24,8%), indicando una moderada variabilidad en los datos (Cuadro 1). Esta situación puede explicarse por la dificultad y lo estresante del manejo animal al momento de tomar la información.

**Cuadro 1. Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables HLI, FR, TR Y TS.**

FV	CUADRADOS MEDIOS				
	gl	HLI	FR	TR	TS
EP	1	15,3816 <sup>ns</sup>	86,6310 <sup>ns</sup>	0,0168 <sup>ns</sup>	7,4673 <sup>ns</sup>
GR(EP)	6	10,5904 <sup>ns</sup>	13,9608 <sup>ns</sup>	0,5282 <sup>ns</sup>	4,0049 <sup>ns</sup>
Error	148	11,6230	147,4069	0,5069	2,8603
CV, %		3,6	24,8	1,8	4,5

ns = no significativo ( $P > 0,05$ ). HLI: Índice de Carga Calórica; FR: Frecuencia respiratoria; TR: Temperatura interna; TS: Temperatura tegumentaria.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Las variables Tamb y HR afectan lineal y significativamente ( $P < 0,01$ ) a FR y TR en las dos EP. Las funciones de predicción son las siguientes:

- ESC:  $FR (\hat{y}) = -158,27225 + 5,30337Tamb + 0,60167HR$ .  $R^2 = 0,229$ .  $CV = 22,3\%$
- ELL:  $FR (\hat{y}) = -167,45227 + 5,57700Tamb + 0,63161HR$ .  $R^2 = 0,227$ .  $CV = 21,3\%$
- ESC:  $TR (\hat{y}) = 27,43573 + 0,27721Tamb + 0,05226HR$ .  $R^2 = 0,221$ .  $CV = 1,6\%$
- ELL:  $TR (\hat{y}) = 31,55862 + 0,17362Tamb + 0,04089HR$ .  $R^2 = 0,152$ .  $CV = 1,7\%$

Se observa que durante la ELL, tanto Tamb como HR afectan más a FR que en ESC ( $P < 0,01$ ). Ambas, Tamb y HR afectan significativamente ( $P < 0,01$ ) a TR en la ESC no así en ELL. Tanto Tamb como HR tienen igual relevancia en aumentar FR y TR en el animal, aunque Tamb presentó un mayor efecto para ambas EP.

Las correlaciones entre ITH con las variables en estudio tuvieron de bajo a mediano grado de asociación (Cuadro 2). Para los GR WG25 y WG50 no se encontraron correlaciones significativas con ITH; sin embargo, en WG75 se encontró una correlación altamente significativa ( $P < 0,01$ ) entre ITH con FR y TR. Con el WGF1 las correlaciones fueron altamente significativas ( $P < 0,01$ ) entre ITH con FR, TR y TS y significativa ( $P < 0,05$ ) con HLI. Estos resultados corroboran la importancia de FR y TR en determinar el estrés calórico en bovinos. Tal como indica Robertshaw (1985) que la FR puede ser una medida de jadeo y más apropiado indicador de estrés calórico que la TR; sin embargo, Hahn y Mader (1997); Gaughan et al. (2000); Gaughan et al. (1999) y Brown-Brandl et al. (2018), sostienen que la TR junto con la FR son indicadores confiables de la carga calórica, pero son difíciles de medir bajo condiciones de campo.

**Cuadro 2. Correlaciones (Pearson) entre ITH con las variables HLI, FR, TR Y TS.**

Grupo Racial	HLI	FR	TR	TS
WG25	0,221 <sup>ns</sup>	0,369 <sup>ns</sup>	0,082 <sup>ns</sup>	0,192 <sup>ns</sup>
WG50	0,133 <sup>ns</sup>	0,379 <sup>ns</sup>	0,243 <sup>ns</sup>	0,378 <sup>ns</sup>
WG75	0,152 <sup>ns</sup>	0,442 <sup>**</sup>	0,593 <sup>**</sup>	0,121 <sup>ns</sup>
WGF1	0,218 <sup>*</sup>	0,527 <sup>**</sup>	0,348 <sup>**</sup>	0,309 <sup>**</sup>

ns= no significativo; \*  $P < 0,05$ ; \*\*  $P < 0,01$ . HLI: Índice de Carga Calórica; FR: Frecuencia respiratoria; TR: Temperatura interna; TS: Temperatura tegumentaria.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Durante la ESC los valores de HLI, TR y TS (Cuadro 3) fueron ligeramente mayores que en la ELL, a excepción de FR; aunque sus diferencias no resultaron ser significativas ( $P>0,05$ ), pero sí una tendencia a la significancia en TS ( $P<0,05$ ). Además, Guerra M. et al. (2004) en animales cruzados F1 *Bos taurus* x *Bos indicus* también encontraron mayor FR en la ELL (33,5% más en Brahman; 13,7% más en F1 Charoláis y 50,9% más en F1 Simmental). De acuerdo con la categorización del HLI de Gaughan et al. (2008), el HLI encontrado en este estudio, aunque muy similar en ambas épocas del año, están en la categoría de muy caliente, pero para Suárez P. et al. (2012) basado en su estudio en el Valle del Sinú (bosque seco tropical de Colombia) la ubica en categoría de estado de alerta para temperatura ambiental  $>27^{\circ}$  C y radiación solar de  $>500$  W/m<sup>2</sup>, caracterizado por una leve salivación, jadeo y aumento de la frecuencia respiratoria. Ninguno de estos signos se presentó en los animales experimentales.

**Cuadro 3. Medias ajustadas  $\pm$ EE del índice de carga calórica (HLI), frecuencia respiratoria (FR), temperatura rectal (TR) y temperatura tegumentaria (TS) por época del año<sup>1</sup>.**

Época del año	HLI	FR	TR	TS
Lluviosa	94,35 $\pm$ 0,38 <sup>a</sup>	50,25 $\pm$ 1,37 <sup>a</sup>	39,69 $\pm$ 0,08 <sup>a</sup>	37,46 $\pm$ 0,19 <sup>a</sup>
Seca	95,28 $\pm$ 0,71 <sup>a</sup>	48,05 $\pm$ 2,52 <sup>a</sup>	39,72 $\pm$ 0,15 <sup>a</sup>	38,10 $\pm$ 0,35 <sup>b</sup>

<sup>1</sup>Medias unidas con la misma letra no difieren entre sí al 10%.

Bovinos WG50 presentaron la mayor FR, aunque no difirió de los otros grupos raciales dentro de cada época del año (Cuadro 4), superando en 3,7% y 4,9% al WGF1 en ambas épocas, respectivamente. Estas diferencias tampoco fueron significativas ( $P>0,10$ ). Además, Guerra M., et al. (2004) reportaron valores similares de FR en la ESC, pero más baja en la ELL; así reportaron en Brahman valores de 50,9 y 38,4 inspiraciones/min en la ESC y ELL, respectivamente; en F1 Charoláis de 51,2 y 45,0 inspiraciones/min, respectivamente y en F1 Simmental de 57,7 y 38,3 inspiraciones/min, respectivamente.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

**Cuadro 4. Medias ajustadas  $\pm$ EE del índice de carga calórica (HLI), frecuencia respiratoria (FR), temperatura rectal (TR) y temperatura tegumentaria (TS) por grupo racial dentro de época del año<sup>1</sup>.**

ÉPOCA DEL AÑO	GRUPO RACIAL	HLI	FR (insp/min)	TR ° C	TS ° C
Lluviosa	WG25	93,94 $\pm$ 0,88 <sup>a</sup>	50,27 $\pm$ 3,13 <sup>a</sup>	39,79 $\pm$ 0,18 <sup>a</sup>	37,17 $\pm$ 0,44 <sup>a</sup>
Lluviosa	WG50	95,07 $\pm$ 0,91 <sup>a</sup>	51,29 $\pm$ 3,24 <sup>a</sup>	39,80 $\pm$ 0,18 <sup>a</sup>	37,16 $\pm$ 0,45 <sup>a</sup>
Lluviosa	WG75	93,52 $\pm$ 0,68 <sup>a</sup>	49,96 $\pm$ 2,43 <sup>a</sup>	39,48 $\pm$ 0,14 <sup>a</sup>	37,90 $\pm$ 0,34 <sup>a</sup>
Lluviosa	WGF1	94,88 $\pm$ 0,55 <sup>a</sup>	49,47 $\pm$ 1,97 <sup>a</sup>	39,71 $\pm$ 0,11 <sup>b</sup>	37,60 $\pm$ 0,27 <sup>a</sup>
Seca	WG25	97,34 $\pm$ 1,70 <sup>a</sup>	49,50 $\pm$ 6,07 <sup>a</sup>	40,50 $\pm$ 0,36 <sup>a</sup>	37,80 $\pm$ 0,84 <sup>ab</sup>
Seca	WG50	94,46 $\pm$ 1,70 <sup>a</sup>	49,50 $\pm$ 6,07 <sup>a</sup>	39,78 $\pm$ 0,36 <sup>ab</sup>	39,30 $\pm$ 0,89 <sup>a</sup>
Seca	WG75	94,53 $\pm$ 1,39 <sup>a</sup>	46,00 $\pm$ 4,60 <sup>a</sup>	39,55 $\pm$ 0,29 <sup>ab</sup>	38,00 $\pm$ 0,69 <sup>ab</sup>
Seca	WGF1	94,79 $\pm$ 0,48 <sup>a</sup>	47,20 $\pm$ 1,72 <sup>a</sup>	39,47 $\pm$ 0,10 <sup>b</sup>	37,31 $\pm$ 0,48 <sup>b</sup>

<sup>1</sup>Medias con la misma letra no difieren entre sí al 10%.

La TR fue ligeramente mayor en la ESC en todos los GR, pero no hubo diferencias significativas ( $P > 0,10$ ). Bovinos WGF1 presentaron menor FR (-3,5% que WG50) en la ELL y menor TR (-2,5% que WG5) en la ESC; además bovinos WG75 en la ELL tuvieron menor TR con -0,8% y menor HLI con 1,6% que WG50 y menor FR en la ESC con 7,1% que WG25. Por último, bovinos WG50 reportaron menor HLI en la ESC con 3,0% que WG25. Bajo las condiciones climáticas de la EEG-CMO-IDIAP, Guerra M. et al. (2004) reportaron TR en novillas F<sub>1</sub> Simmental de 40,4 a 39,5° C en la ELL y ESC, respectivamente; en F<sub>1</sub> Charoláis fue 40,0 y 39,3° C y Brahman fue 39,7 y 39,3° C, respectivamente. En el estudio de Guerra M. et al. (2004), las más baja FR y TR se reportaron en la ESC en los tres grupos raciales evaluados, pero no se encontraron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) entre ellas.

De acuerdo con Suárez P. et al. (2012), los valores de HLI se encuentra en el estado de alerta y para Gaughan et al. (2008) condición muy caliente. Para estos últimos autores, en el caso de la raza Wagyu pura con sombra bajo condiciones de HLI muy caliente, el 94,12% estaba en nivel de jadeo de “0” y un 5,88% en el nivel “1” de jadeo. Por otra parte, en Brahman sin sombra en condiciones de HLI “muy caliente” el 79,69% estaba en nivel de jadeo de 0 a un 99,04% cuando estaba con sombra. Además, reportaron el más alto límite (upper threshold) en el cual el animal acumula calor en HLI es 86 (valor de referencia) y el HLI es específico para cada grupo racial. Para el caso del Brahman el límite más alto de HLI fue 96 y para el Wagyu fue 90, siendo hasta siete unidades mayores en estimadas en el presente estudio y 11 unidades con respecto al valor de referencia de 86.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Resultados preliminares de Guerra M. et al. (2013) con el mismo hato indicaron que la FR en la categoría terneros pre-destete 75WG, WGF1 y 25WG fueron  $44,6 \pm 10,4$ ;  $33,6 \pm 9,4$  y  $43,2 \pm 12,5$  inspiraciones/min, siendo más baja que la reportada en este estudio, pero la TR fue  $40,1 \pm 0,4$ ;  $39,8 \pm 0,4$  y  $39,5 \pm 0,5$  °C, respectivamente, siendo ligeramente más altos. De acuerdo con estos investigadores, los terneros pre-destete 75WG resultaron ser los más estresados de los cruces con WG. Hammond et al. (1996) al comprar al final del verano de Florida (USA), el Brahman con razas *Bos taurus* adaptadas al trópico como Romosinuano y Senepol encontraron que la TR fue muy similar entre estos GR ( $39,6$ °;  $39,5$ ° y  $39,2$ ° C, respectivamente), pero por debajo de las TR reportadas en estos GR cruzados con WG ( $39,8$ ° C en WG50 en la ELL y  $40,5$ ° C en WG25 en la ESC). Además, la FR del Brahman, Romosinuano y Senepol reportadas por Hammond et al. (1996) fueron 36, 55 y 57 inspiraciones/min, respectivamente, superando a los GR cruzados con WG en este estudio ( $51,3$  inspiraciones/min en WG50 en la ELL y  $49,5$  inspiraciones/min en WG25 en la ESC). Basado en estos reportes, los cruces WG-Brahman muestran más bajas tolerancias al calor comparado en Brahman y razas adaptadas como Senepol y Romosinuano. Por otro lado, Gaughan et al. (1996), evaluó la tolerancia al calor, bajo las condiciones de Queensland, Australia, a GR como Boran (*Bos indicus*) y Tuli (*Bos taurus*) cruzados con Hereford utilizando al Brahman (BRH) puro como testigo. Los datos tomados a las 1500 horas resultaron los más altos en TR y FR. Cruces de Hereford con Boran (HxBO) y Tuli (HxT) mostraron TR muy similar al BRH ( $38,4$ °;  $38,5$ ° y  $38,4$ ° C, respectivamente). Además, para estos GR, la FR reportada fue 50, 61 y 56 inspiraciones/min para HxBO, HxT y BRH, respectivamente.

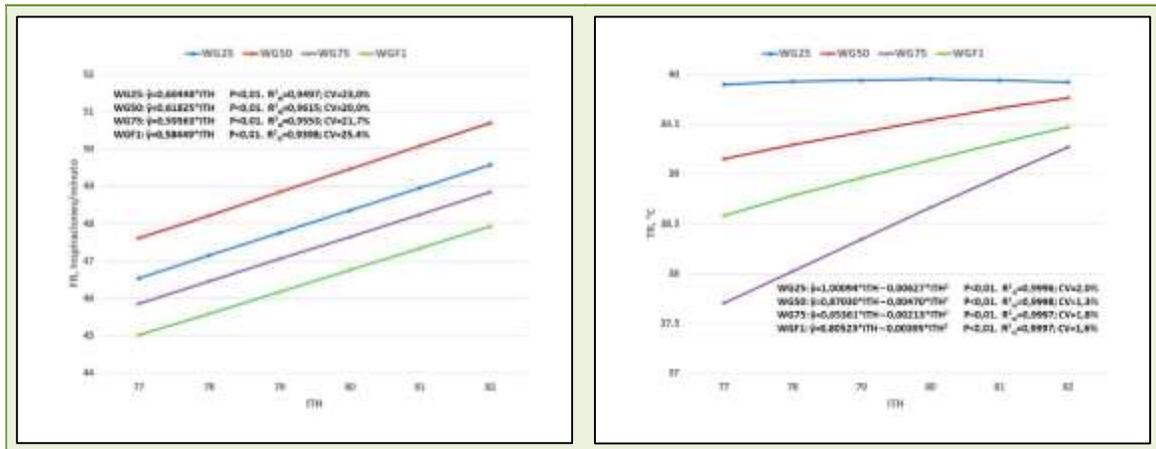
Todas las funciones de regresión (Figura 1) entre las variables FR e ITH para los cuatro GR resultaron ser lineales y altamente significativas ( $P < 0,001$ ). La mayor tendencia a aumentar la FR por cada unidad de ITH se encontró en animales WG50 ( $0,61825$  inspiraciones/minuto), el cual se explica al contener un 50% de Wagyu más 25% de otras razas *Bos taurus*. Sin embargo, los bovinos WGF1 mostraron la menor FR ( $0,58449$  inspiraciones/minuto) por unidad de ITH, estando 5,5% menor que la WG50. Bovinos WGF1 muestran el 100% de la heterosis y 50% de los efectos genéticos raciales del Brahman como raza tolerante al estrés calórico. Sin embargo, WG75 que poseen el 75% de genes Wagyu presentaron las más bajas tendencias en TR, pero el segundo GR en FR.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

De acuerdo con Gaughan et al. (2008) lo esperado es que cruces con razas británicas (Angus y Hereford) tienen baja tolerancia al calor que Brahman y Wagyu y que estas razas británicas jadean más a medida que el HLI aumenta de una condición termoneutral a muy caliente que las razas Brahman y Wagyu.

La TR es considerada una medida para establecer la susceptibilidad de los bovinos a la condición ambiental cuyo límite fisiológico está entre 38,5° y 39,0° C (Dukes y Swenson, 1978; Hafez, 1972). El cambio de la TR por unidad de cambio en el ITH fue menor en WG75 con 0,47773° C superado en 1,17% por WG50, siendo este grupo el más sensible al cambio en el ITH (Figura 1). La FR es considerada como otro indicativo del balance calórico del animal y sus límites fisiológicos están entre 10 y 30 inspiraciones/min (Dukes y Swenson, 1978; Hafez, 1972). El mayor cambio de FR por unidad de ITH se reportó con animales WG50 (0,69484 inspiraciones/min) superando en 16,68% a los animales WGF1. Los animales WG50 tuvieron los más altos cambios en TR y FR por unidad de ITH.



**Figura 1. Tendencias de FR y TR con respecto al ITH por grupo racial.**

A pesar de que el efecto promedio de interacciones (Época\*GR) no resultó significativo ( $P > 0,05$ ), la Figura 1 muestra un cambio de magnitud en la TR entre WG25 y WG75, observándose un mayor cambio en TR por unidad de cambio en ITH. Literatura sobre la TS en GR con Wagyu no encontramos, pero de acuerdo con la época del año varía entre los GR estudiados; así WG75 presentó la más alta TS con 37,9° C en la ELL y



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

39,3° C en WG50 en la ESC. En el primer caso, ELL, hay 75% de genes Wagyu que es un *Bos taurus* y en el segundo caso también hay 75% de genes *Bos taurus*, pero hay un 50% de Wagyu y un 25% de otra raza *Bos taurus*, por lo tanto, se sospecha de una posible interacción genotipo-ambiente para esta característica.

Estos resultados concuerdan con los que reportó Alzina-López et al. (2001) de que la manifestación del almacenamiento de calor en el animal al encontrarse en condiciones de zona cálida y de estrés, provoca cambios en las constantes fisiológicas. Agregan que el almacenamiento de calor se manifiesta en la TR del animal, y la respuesta compensatoria de disipación térmica evaporativa provoca cambios en la FR. De este estudio se observó que la FR y TR están por encima de los límites fisiológicos señalados anteriormente. Esto indica que bajo las condiciones de la EEG-CMO-IDIAP con ITH de 79,2 a 86,6 están en una zona de peligro y con HLI de 100,1 a 85,1 están en una “condición muy caliente”; así los GR de cruces Wagyu-Brahman presentaron moderado estrés calórico.

### CONCLUSIONES

- Bajo las condiciones de la EEG-CMO-IDIAP la FR y TR de los bovinos Wagyu-Brahman son muy influenciadas directamente por la Tamb y HR.
- De acuerdo con el ITH, el ecosistema de la EEG-CMO-IDIAP la ubican como “zona de peligro” afectando las constantes fisiológicas en el animal.
- El HLI con las escalas utilizadas indicaron que los animales estuvieron expuesto a una zona de condiciones muy caliente y se ubican en una zona estado de alerta, siendo ambas de mucho cuidado.
- Los altos valores de TR y FR comparados con la literatura muestran que los GR evaluados todos presentaron moderada tolerancia al calor.
- Se confirma que HLI, FR y TR como indicadores más confiables de estrés calórico.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

- Las más altas HLI, FR, TR y TS variaron entre los GR y dentro de cada época del año.
- Las condiciones climáticas de la ELL afectan mayormente a WG50 (mayores valores de HLI, FR y TR).
- Por otra parte, las condiciones climáticas de la ESC afectan mayormente a WG25 (mayores valores de HLI, FR y TS).

## REFERENCIAS

- Álvarez, A. (2004). Fisiología de la termorregulación de los vertebrados superiores en su entorno. Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad Agraria de la Habana (UNAH). La Habana, Cuba. <https://es.scrobd.com/document/60051526/ft>
- Alzina-López, A., Farfán-Escalante, J. C., Valencia-Heredia, E. R., y Yokoyama-Cano, J. (2001). Condición ambiental y su efecto en la temperatura rectal y frecuencia respiratoria en bovinos cruzados (*Bos taurus* x *Bos indicus*) del estado de Yucatán, México. *Revista Biomédica*, 12, 112-121. <https://www.medigraphic.com/pdfs/revbio/bio-2001/bio012d.pdf>
- Berbigier, P. (1989). Effect of heat on intensive meat production in the tropics: cattle, sheep, and goats. In: Memorias del I Ciclo Internacional de Palestras sobre Climatología Animal. Ed. J.R. Mateus Paranhos da Costa Botucatu. FMVZ/UNESP, 1986. Jaboticabal, FUNEP. 1989. Brasil. 130 p.
- Bergerón, R. y Lewis, N. (2002). Transporte, salud y bienestar de los animales de granja. *Revista de Producción Animal*, 178, 4-23.
- Broom, D. (2003). Transport stress in cattle and sheep with details of physiological, ethiological and other indicators. *Dtsch Tierärztl Wochenschr*, 110, 83-89. PMID:12731104. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12731104/>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

- Brown-Brandl, T. M. (2018). Understanding heat stress in beef cattle. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 47, e20160414. <http://doi.org/10.1590/rbz4720160414>
- Brown-Brandl, T. M. y Jones, D. D. (2011). Feedlot cattle susceptibility to heat stress: An animal specific model. *Transaction of the ASABE*, 54(2), 673-680. <https://pubag.nat.usda.gov/catalog/2342785>
- De Alencar Nããs, I. (1989). Principios de conforto térmico na produção animal. Icone Editora Ltda. Coleção: Brasil Agrícola. São Paulo, Brasil. <https://www.estantevirtual.com.br/livros/irenilza-de-alencar-nass/principios-de-conforto-termico-na-producao-animal/1474183277>
- Draper, N. R. y Smith, H. (1981). Applied regression analysis. 3<sup>rd</sup> Edition. John Willey and Sons. New York. USA. <https://wiley.com/en-us/Applied+Regression+Analysis%2C+3rd+Edition-p-9780471170822>
- Dukes, H. H. y Swenson, J. M. (1978). Fisiología de los animales domésticos. 4<sup>a</sup> Edición. Editorial Aguilar. Madrid, España. <https://www.berlibro.com/FISIOLOGIA-ANIMALES-DOMESTICOS-Tomo-Funciones-vegetativas/14168823123/bd>
- Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A. (2018). Hidrometeorología. Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A. ETESA. [https://www.hidromet.com.pa/clima\\_historicos.php](https://www.hidromet.com.pa/clima_historicos.php)
- Gaughan, J. B., Mader, T. L., Holt, S.M., y Lisle, A. (2008). A new load index for feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 86, 226-234. <http://doi.org/10.2527/jas.2007-0305>
- Gaughan, J. B., Mader, T. L., Holt, S. M., Josey, M. J., y Rowan, K. J. (1999). Heat tolerance of Boran and Tuli crossbred steers. *Journal of Animal Science*, 77, 2398-2405. <http://doi.org/10.2527/1999.7792398x>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

- Gaughan, J. B., Holt, S. M., Hahn, G. L., Mader, T. L., y Eigenberg, R. (2000). Respiration rate-Is it a good measure of heat stress in cattle? *Asian-Australian Journal of Animal Science*, 13, 329-332. <https://www.researchgate.net/publication/4349030>
- Gotoh, T; Takahashi, H., Nishimura, T., Kuchida, K., y Mannen, H. (2014). Meat produced by Japanese Black cattle and Wagyu. *Animal Frontiers*, 4(4), 46-54. <https://doi.org/10.2527/af.2014-0033>
- Guerra M., P. (2015, marzo). Oportunidades de la raza Wagyu en Panamá. (Conferencia Principal). Día dedicado al Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). Feria de San José de David, Chiriquí, Panamá.
- Guerra M., P., Bernal R., J. L., De León G., R. H., Carreño, L. A., y Barrios, J. (2008, agosto). Determinación de la tolerancia térmica de novillos Brahman y sus cruces bajo pastoreo en el bosque húmedo tropical. (Resumen de la conferencia). III Congreso Científico de Investigación-Innovación. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). Río Hato, Coclé. p.20.
- Guerra M., P., Bernal R., J. L., De León G., R. H., González M., R. A., y Barrios, J. (2012). Tolerancia térmica de novillos en pastoreo a las condiciones ambientales del trópico húmedo del sistema de cría y ceba. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDAP). Boletín Técnico. 20p. <https://www.idiap.gob.pa/download/tolerancia-termica-de-novillos-y-novillas-en-pastoreo-a-las-condiciones-ambientales-del-tropico-humedo-del-sistema-de-cria-y-ceba/?wpdmdl=1746>
- Guerra M., P., De Gracia G., M. S., Quiel B., R. A., De Gracia V., M. M., y Del Cid, I. (2004). Tolerancia térmica de animales Cebú y sus cruces en sistema de ceba en pastoreo en el bosque húmedo tropical. Gualaca, Panamá. 1999-2004. *Ciencia Agropecuaria*, (17), 75-106. <https://www.idiap.gob.pa/download/ciencia-agropecuaria-17-2004/?wpdmdl=951>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Guerra M., P., González M., R. A., Ávila, M. A., Villarreal, A., Quiel B., R. A., Ibarra, O., y De Gracia V., M. M. (2013, abril). Resultados preliminares de la tolerancia al calor de terneros Wagyu y sus cruces bajo pastoreo en el trópico húmedo de Chiriquí, Panamá. (Resumen de presentación de conferencia). 58<sup>ava</sup> Reunión del Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos y Animales. La Ceiba, Atlántida. Honduras. P.131.

Hafez, E. (1972). Desarrollo y nutrición animal. Editorial Acribia. Zaragoza, España. [https://www.editorialacribia.com/libro/desarrollo-y-nutricion-animal\\_54244/](https://www.editorialacribia.com/libro/desarrollo-y-nutricion-animal_54244/)

Hafez, E. (1973). Adaptación de los animales domésticos. Trd. Palazón, Ramón. Editorial Labor. Barcelona, España. <https://catalogosiidica.csuca-org/Record/UP.213032>

Hahn, G. L., Mader, T. L., Gaughan, J. B., Hu, Q. y Nienaber, J. A. 1999. Heat waves and their impacts on feedlot cattle. p.353-357. In: Proceedings of the 15th International Congress of Biometeorology & International Conference on Urban Climatology. Sydney, Australia. <https://catalogue.nla.gov.au/catalog/135979>

Hahn, G. L. y Mader, T. L. (1997). Heat waves in relation to thermoregulation, feeding behavior and mortality of feedlot cattle. Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Livestock and Environment Symposium. American Society of Agricultural Engineering. St. Joseph, MI. <https://www.tib.eu/en/search/id/BLCP%3ACN020637072/Heat-Waves-in-Relation-to-Thermoregulation-Feeding/>

Hammond, A. C., Olson, T. A., Chase, Jr., C. C., Bowers, E. J., Randel, R. D., Murphy, C. N., Vogt, D. W., y 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>. <http://jas.fass.org/content/74/2/295>

Holdridge, L. R. (1979). Ecología basada en zonas de vida. 3<sup>rd</sup> Ed. Trd. Jiménez Saa, Humberto. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas (IICA). San José, Costa Rica.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

<http://repositorio.iica.int/handle/11324/7936/BVE19040225e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Livestock Conservation. Inc. LCI. (1970). Patterns of transit losses. Livestock Conservation Inc., Omaha, NE. USA.

Mader T. L., Davis, M. S., y Brown-Brandl, T. (2006). Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 84(1), 712-719.  
<http://doi.org/10.2527/2006.843712x>

Mader, T. L., Davis, S., Gaughan, J., y Brown-Brandl, T. (2004, August). Wind speed and solar radiation adjustments for the temperature-humidity index. (Meeting Abstract 6B.3). 16<sup>th</sup> Conference on Biometeorology and Aerobiology. Vancouver, British Columbia, Canada.  
<https://ams.confex.com/ams/AFAPURBBIO/webprogram/Paper77847.html>

National Oceanic and Atmospheric Administration. (1976). *Livestock hot weather stress*. Operations Manual Letter C-31-76. Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). National Weather Service Central Region. Kansas City, MO.

Robertshaw, D. (1985). Heat loss of cattle. In: *Stress Physiology in Livestock*. Basic Principles. Vol. 1. Ed. M.K. Yousef. pp.55-65. CRC Press. Boca Ratón, FL. USA.  
<https://doi.org/10.1002/smi.2460020413>

Searle, S. R. (1971). *Linear models*. John Wiley and Sons, Inc. New York, USA.  
<https://doi.org/10.1002/9781118491782>

Suárez P., E., Reza G., G., Díaz A., E., García C., F., Pastrana V., I., Cuadrado C., H., y Espinosa C., M. (2012). Efectos de las condiciones ambientales sobre el comportamiento ingestivo en bovinos de carne en un sistema intensivo en el Valle de Sinú. *Revista CORPOICA – Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 13(2), 207212.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

<https://scielo.org.com/pdf/ccta/v13n2/v13n2a12.pdf>.

[https://doi.org/10.21930/rcta.vo/13\\_num2\\_art:257](https://doi.org/10.21930/rcta.vo/13_num2_art:257)

Thom, E. C. (1959). The discomfort index. *Weatherwise*, 12, 57-59.

<https://doi.org/10.1080/00431672.1959.9926960>

Whittow, G. C. (1962). The significance of the extremities of the ox (*Bos taurus*) in thermoregulation. *Journal of Agricultural Science*, 58, 109-120.

<https://doi.org/10.1017/S002185960000887x>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)