

TENDENCIA DE LOS MECANISMOS DE TERMORREGULACIÓN EN BOVINOS WAGYU-BRAHMAN BAJO EL TRÓPICO HUMEDO¹

**Pedro Guerra-Martínez²; José L. Bernal-Rosas²; Carlos I. Martínez-Delgado²;
Aristides A. Villarreal-Ruiz²; María M. De Gracia-Victoria²;
Olegario Ibarra-Guerra²**

RESUMEN

El objetivo fue estudiar las tendencias de los mecanismos de termorregulación del calor corporal de bovinos Wagyu-Brahman en pastoreo bajo condiciones del trópico húmedo. El estudio se realizó en la EEG-CMO (IDIAP). Los grupos raciales (GR) fueron: WG25, WG50, WG75 y WGF1. Las variables independientes fueron: ITH, temperatura corporal (Tb), coeficiente de tolerancia al calor (CTC) y relación peso vivo: área corporal (WA). Las variables dependientes fueron: convección (Qc), radiación (Qr) y conducción (Qk). Los datos se analizaron mediante correlación simple y regresión lineal pasando por el origen por GR. Las correlaciones entre Qc, Qr y Qk con ITH y CTC fueron muy bajas a bajas ($P > 0,05$) en los cuatro GR. Los WG50 y WGF1 disiparon más Qc por unidad de ITH (0,00054 y 0,00053 kcal/s); por Tb (0,00113 y 0,00112 kcal/s); por CTC (0,01330 y 0,01342 kcal/s) y por WA (0,00125 y 0,00113 kcal/s). También, WG50 y WGF1 disiparon más Qr, por ITH (0,153836 y 0,153313 kcal/m²·s); por Tb, (0,323093 y 0,324453 kcal/m²·s); por CTC (3,822003 y 3,910471 kcal/m²·s) y por WA (0,357052 y 0,327805 kcal/m²·s). En Qk, los WG50 y WGF1 disiparon 0,000155 y 0,000151 kcal/m²·s·°C por unidad de ITH; por Tb disiparon 0,000324 y 0,000319 kcal/m²·s·°C; por CTC, disiparon 0,00387 y 0,00385 kcal/m²·s·°C y por WA, disiparon 0,000341 y 0,000320 kcal/m²·s·°C. Se concluye que la tendencia de la disipación de calor por Qc, Qr y Qk *versus* ITH, Tb, CTC y WA fue lineal ($P < 0,01$) desde el origen en todos los GR. Las mayores disipaciones de Qc, Qr y Qk por unidad de ITH, Tb, CTC y WA se encontraron en WG50 y WGF1.

Palabras clave: Conducción, convección, ITH, radiación, termorregulación, Wagyu-Brahman.

¹Recepción: 07 de enero de 2025. Aceptación: 22 de agosto de 2025. Contribución del Proyecto “Mejoramiento Genético Aplicado en Hatos de los Sistema Ganaderos Familiares Bovinos de Panamá”. 501.B.2.33. Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). Estación Experimental de Gualaca “Carlos M. Ortega” (EEG-CMO). Centro de Innovación Agropecuaria de Chiriquí (CIA Chiriquí). Higuerón, Gualaca. Chiriquí.

²IDIAP. EEG-CMO. CIA Chiriquí. e-mail: pedroguerram16@gmail.com; pedro.guerra@idiap.gob.pa; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-6731-3624>
e-mail: jbernalrosas@hotmail.com; ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0004-7646-2882>
e-mail: carlosmartinez1705@hotmail.com; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-3944-6558>



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

TREND IN THERMOREGULATION MECHANISMS IN WAGYU-BRAHMAN CATTLE IN THE HUMID TROPICS

ABSTRACT

The objective of this study was to analyze trends in body heat dissipation mechanisms of Wagyu–Brahman cattle grazing under humid tropical conditions. The study was conducted at the EEG-CMO experimental station of the Panamanian Institute of Agricultural Innovation (IDIAP). Four breed groups (BG) were evaluated: WG25, WG50, WG75, and WGF1. Independent variables included the temperature-humidity index (THI), body temperature (Tb), heat tolerance coefficient (CTC), and the live weight-body surface area ratio (WA). Dependent variables were heat dissipation through convection (Qc), radiation (Qr), and conduction (Qk). Data were analyzed using simple correlation and linear regression forced through the origin for each BG. Correlations between Qc, Qr, and Qk with THI and CTC were low to very low ($P > 0.05$) across all BGs. However, WG50 and WGF1 exhibited higher heat dissipation per unit of THI, Tb, CTC, and WA across all three mechanisms. For convection (Qc), WG50 and WGF1 dissipated 0.00054 and 0.00053 kcal s⁻¹ per unit of THI, respectively, and similar proportional increases were observed relative to Tb, CTC, and WA. For radiation (Qr), these groups exhibited the highest dissipation rates, ranging from 0.153 to 0.154 kcal m⁻² s⁻¹ per unit of THI. Likewise, conduction (Qk) dissipation rates were greater in WG50 and WGF1 across all independent variables evaluated. Overall, heat dissipation through convection, radiation, and conduction exhibited a linear trend ($P < 0.01$) with THI, Tb, CTC, and WA when modeled from the origin in all breed groups. The most outstanding thermoregulatory efficiency was observed in WG50 and WGF1, indicating superior adaptation to humid tropical conditions.

Keywords: conduction, convection, radiation, temperature-humidity index, thermoregulation, Wagyu-Brahman.

INTRODUCCIÓN

En las últimas dos décadas, el clima ha sufrido cambios muy notorios y ha llegado a ser impredecible, afectando muy significativamente la producción agropecuaria. Eventos climáticos extremos tales como: alta temperatura ambiental y humedad, ondas de calor, escasez de lluvias y sequías están afectando, no solamente, el bienestar animal, el sistema de producción, el agroecosistema, sino también la producción de alimentos, la seguridad alimentaria y la sostenibilidad de los sistemas productivos (Lamy et al., 2012). Además, la



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 ambiental ha aumentado por 1° C desde los 1800's y se espera que continúe incrementándose por otro 1,5° C entre el 2030 y 2052 (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2018).

El aumento de los gases de efecto de invernaderos (GEI) son los responsables del actual cambio climático que afecta a todos los que habitan este planeta. De acuerdo con McMichel et al., (2007), el sector agropecuario da cuenta del 22% de la total emisión de GEI, de la cual la producción pecuaria representa el 80% de estas emisiones. Los principales GEI son dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) (Steinfeld et al., 2006). Sin embargo, mayor atención se ha puesto en el CO₂, cuando en realidad CH₄ y N₂O son los más potentes GEI, con Potencial de Calentamiento Global (PCG) 23 y 296 veces más potentes que el CO₂, respectivamente (Koneswaran & Nierenberg, 2008).

Cambios históricos en la composición de GEI han modificado el clima y, por lo tanto, también la zona de confort. De acuerdo con Bavera & Beguet (2003), la zona de confort para bovinos Aberdeen Angus (*Bos taurus*) es de 0° a 16° C y sube la temperatura rectal a los 27° C, en bovinos ½ Brangus es de 5° a 20° C y sube la temperatura rectal a los 30° C y en el Cebú (*Bos indicus*) es de 10° a 26° C y sube la temperatura rectal a los 33° C. Todos estos cambios en el clima han tenido su repercusión en el comportamiento de los animales domésticos a través del estrés calórico, siendo más incidente en los países tropicales como Panamá. Autores como Wankar et al. (2024); Chauhan et al. (2023); Bunning & Wall (2022) han reportado efectos del estrés calórico en la producción y calidad de la carne bovina; así como Castaño et al. (2014); Gupta et al. (2016); Díaz et al. (2020) han reportado efectos en la reproducción y Wang et al. (2020) han reportado efecto en el desarrollo de terneras y novillas.

Entre las variables climáticas que más influyen en alterar el confort bovino están: temperatura ambiental (TA, °C), radiación solar (RS, W/m²), velocidad del viento (VV, m/s) y humedad relativa (HR, %). Con esas variables se construye el Índice Temperatura-Humedad (ITH) reportado por Mader et al. (2004), el cual es utilizado como indicador de estrés calórico. De acuerdo con Guerra-Martínez y De Gracia-Gálvez (2022) en zonas de



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

Panamá como La Villa de Los Santos, Tonosí y Costa Abajo de Colón este ITH está entre 77 y 80, indicando zonas de “alerta” a los efectos del estrés calórico. Nardone et al. (2010) ha alertado que para final de este siglo la TA aumentará de 1,1° a 6,4° C.

El bovino es un animal homeotérmico³ y endotérmico⁴ que para liberar calor al ambiente y regular su temperatura corporal utiliza mecanismos de termorregulación como evaporación, radiación (Qr), conducción (Qc) y convección (Qk). En la estación Experimental de Gualaca “Carlos M. Ortega” del IDIAP (EEG-CMO-IDIAP) se estudia el comportamiento biológico de cruces Wagyu-Brahman. La Wagyu es una raza japonesa *Bos taurus*, el cual produce la carne de más alta calidad organoléptica y así mismo valorada alrededor del mundo y el Brahman es una raza *Bos indica* muy adaptada a las condiciones tropicales de la EEG-CMO-IDIAP. Ambas razas se estudian en cruzamiento interracial para combinar esas cualidades genéticas (complementariedad) bajo condiciones de bosque húmedo tropical y en sistemas de pastoreo y estabulación. Sin embargo, hay poca información sobre la tendencia de los mecanismos de termorregulación de bovinos de diferentes encastes Wagyu-Brahman bajo condiciones de pastoreo en este ecosistema tomando en cuenta el ITH, su temperatura corporal (Tb), el coeficiente de tolerancia al calor (CTC) y la relación WA, peso vivo (W) con el área corporal (A) y este es el principal objetivo del presente estudio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización: El estudio se realizó bajo las condiciones edafoclimática de la EEG-CMO-IDIAP en Gualaca Bajo (Instituto de Meteorología e Hidrología de Panamá [IMHPA], 2024). Los rangos de las características climáticas en la estación seca (ESC) y lluviosa (ELL) fueron: en TA de 26,8° C (ESC) a 26,5° C (ELL); en HR de 70,9% (ESC) a 84,0% (ELL); VV de 3,2 m/s (ESC) a 2,1 m/s (ELL) y precipitación anual de 4,244 mm.

³Animales que pueden mantener una temperatura corporal constante, independientemente de la temperatura ambiental.

⁴Animales que pueden regular su temperatura corporal interna, independientemente de la temperatura del medio ambiente.



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

Fuente de datos: Los datos utilizados son el proyecto de mejoramiento genético bovino de la EEG-CMO-IDIAP del período 2008-2014.

Grupos raciales: De acuerdo con la composición racial de los bovinos se clasificaron en los siguientes grupos raciales (GR):

- WG25: 25% Wagyu + 50% *B. taurus* + 25% Brahman
- WG50: 50% Wagyu + 25% *B. taurus* + 25% Brahman
- WG75: 75% Wagyu + 25% Brahman
- WGF1: 50% Wagyu + 50% Brahman

Relación peso vivo: Área corporal (WA): es el cociente al dividir el peso vivo (W en kg) entre el área corporal (A en m²) expresada en kg/m²:

$$WA = \frac{W}{A}$$

Grosor de la piel (GP): Mediante un pie de rey se midió el grosor del pliegue de piel del animal a la altura de la 13^a costilla. El valor obtenido se dividió entre dos.

A partir de las 10:00 a.m. a 2:00 p.m., en los días de muestreo, a cada bovino individualmente se les tomó la siguiente información:

Variables climáticas: Con un termómetro de bulbo seco se tomó la temperatura ambiental en °C (TA) y con un higrómetro el porcentaje de la humedad relativa (HR).

Temperaturas corporales (°C): Con un termómetro de mercurio se midió temperatura rectal (TR) por un minuto. Mediante un termómetro infrarrojo se tomó la temperatura en el área del lomo (TL), temperatura en la cabeza (TC), temperatura en las costillas (TCOS) y temperatura en el vientre (TV).

Temperatura superficial promedio (Ts): De acuerdo con McLean et al. (1983) a cada temperatura corporal se le dio una ponderación, expresándose así:



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

$$Ts = 0,25(TL + TC) + 0,32(TCOS) + 0,18(TV)$$

Temperatura corporal (Tb): Esta temperatura se estimó de acuerdo con McLean et al. (1983) asignándole una ponderación a TR y Ts, expresándose así:

$$Tb = 0,86TR + 0,14Ts$$

Coeficiente de tolerancia al calor (CTC): Se basó en la FR y TR. La FR se midió a través de un estetoscopio colocado en el área del pecho para contar la tasa de inspiración por un minuto.

$$CTC = \left(\frac{Tb}{38,3} \right) + \left(\frac{FR}{23} \right)$$

Dónde: 38,3 es la medida estándar de la temperatura corporal y 23 es la medida estándar de la frecuencia respiratoria en un minuto (Mariana et al., 2019).

Índice temperatura-humedad (ITH): Para estimar este índice se utilizó la siguiente ecuación de acuerdo con Thom (1959), National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, 1976) y Mader et al. (2004) tomando en cuenta la temperatura ambiental (TA) y la humedad relativa (HR):

$$ITH = (0,8 * TA) + \left(\frac{HR}{100} \right) * (TA - 14,3) + 46,4$$

Se utilizó la escala de Livestock Conservation Incorporated (LCI, 1970) conocida como Livestock Weather Safety Index basado en las siguientes categorías de ITH: normal, <74; alerta, 74>ITH<79; peligro, 79<ITH<84; y emergencia ITH>84 (Brown-Brandl, 2018).

Para este estudio se consideraron las siguientes medidas de termorregulación y sus cálculos de acuerdo con Tippens (1980) y Willmer et al. (2000):



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

Conducción (Qk): Es la transferencia de calor que se efectúa entre el cuerpo y el medio con que están en contacto, siempre que ese medio no esté en movimiento contacto, incluye medios como aire y líquidos entre otros (Tippens, 1980; Louw, 1993). Para su cálculo se utilizó la versión modificada de la Ley de Fick (Willmer et al., 2000).

$$Qk = K * A * \frac{(TR - Ts)}{GP}$$

Dónde: Qk está en kcal/m²·s; K=0,000002 kcal/m·s/°C; A=área corporal en m²; TR=temperatura rectal en °C; Ts=temperatura superficial promedio en °C y GP=grosor de la piel en m.

Convección (Qc): Consiste en la transferencia térmica entre un cuerpo y el medio fluido en movimiento (Tippens, 1980). La fórmula de Louw, (1993) es la siguiente.

$$Qc = h * A * (Ts - Tf)$$

$$h = Kc * A * (Ts - Tf)^{1/4}$$

Dónde: Qc está en kcal/s; s=segundo; Kc=coeficiente de convección, 0000493 kcal/m²·s/°C y Tf es la temperatura del aire en °C.

Radiación (Qr): Es el proceso por el cual el calor se transfiere en forma de ondas electromagnéticas (Tippens, 1980) o energía intercambiable por medio de energía electromagnética la cual viaja a la velocidad de la luz y no necesita medio de propagación (Louw, 1993). La tasa de transferencia de calor radiante entre un animal y su ambiente se calcula mediante:

$$Qr = \{C * A * \varepsilon * [(Ts + 273)^4 - (TA + 273)^4]\}/w$$

Dónde: Qr= está en kcal/m²·s; C es el coeficiente que incorpora la constante de Stefan-Boltzman (5,67 x 10⁻⁸ W/m²·s·k⁴); ε=constante de emisión (0,4); w=es una constante (1 kcal/m²·°C = 1,163 W/m²·°C) para transformar watts (W) en kilocalorías (kcal).



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

Análisis estadístico: Los datos fueron analizados mediante la técnica regresión simple pasando por el origen de acuerdo con Draper & Smith (1980).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El GR que mayormente disipó calor a través Q_c fue el WG50 (0,044 kcal/s) superando en 22,6% la promedio de los WG25 y WG75 (Cuadro 1). También disipó más Q_r y Q_k que el WG75 (19,4% y 41,3% más, respectivamente). La más baja T_s se encontró en los WG50 (36,086°C) siendo apenas 1,27% más baja que los WG75. Los WG25 mostraron, en promedio, la más baja T_L con 37,305° C y el WG75 la más alta con 37,916° C. El rango de T_A fue de 31,361° C en WG50 a 32,071° C. Los WG75 tuvieron menor TR con 39,490; sin embargo, los WG25 mostraron la mayor TR con 39,853° C. Por otra parte, la T_b no mostró mucha variación entre los GR con un rango de 40,033° C (WG50) a 40,118° C. Así mismo se observa en el Cuadro 1 que el GP no varió mucho, de $0,0049 \pm 0,0002$ m (WG50) hasta $0,0053 \pm 0,0001$ (WGF1). Los ITH promedio en los que estuvieron sometidos los GR estuvieron entre 82,387 a 82,980, indicando una “zona de peligro” de acuerdo con Brown-Brandl (2018). Menor CTC se observó con los WGF1 (3,116), mientras que el WG50 presentó el mayor valor con 3,238. Basado en la fórmula de CTC, el más cercano al valor 2,0 es el más tolerante, por lo que el WGF1 es el grupo más tolerante. Los WGF1 fueron los más pesados (375,891 kg) y de mayor Área (9,455 m²), atribuido a su vigor híbrido, superando en 35,7% y 29,9% a los WG75, respectivamente; así como en WA con un 15,3%.

El GR WG75 es más compacto, de baja estatura y menor peso vivo, lo que concuerda con lo señalado por Bavera y Beguet (2003), que indican cuanto más voluminoso es el animal, menor es el área de su superficie corporal con respecto al peso.



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 1. Medias (\pm EE) de las variables consideradas en el estudio por grupo racial (GR).

Variables	WG25 (n=19)	WG50 (n=18)	WG75 (n=31)	WGF1 (n=88)
Qc, kcal/s	0,0356 \pm 0,0033	0,0442 \pm 0,0051	0,0366 \pm 0,0035	0,0436 \pm 0,0020
Qr, kcal/m ² .s	106,0737 \pm 8,577	126,797 \pm 13,119	106,182 \pm 8,768	126,621 \pm 5,153
Qk, kcal/m ² .s	0,0116 \pm 0,0013	0,0127 \pm 0,0016	0,0090 \pm 0,0010	0,0125 \pm 0,0007
Ts, °C	36,4742 \pm 0,2544	36,0856 \pm 0,4158	36,5445 \pm 0,2844	36,1798 \pm 0,1509
TL, °C	37,3053 \pm 0,2919	37,6333 \pm 0,3461	37,9161 \pm 0,3075	37,4329 \pm 0,1936
TA, °C	31,8947 \pm 0,3564	31,3611 \pm 0,3455	32,0710 \pm 0,3472	31,5273 \pm 0,1452
TR, °C	39,8526 \pm 0,1771	39,7944 \pm 0,1198	39,4903 \pm 0,1520	39,5716 \pm 0,0723
Tb, °C	40,0974 \pm 0,0428	40,0333 \pm 0,0415	40,1185 \pm 0,0417	40,0533 \pm 0,0174
GP, m	0,0052 \pm 0,0002	0,0049 \pm 0,0002	0,0051 \pm 0,0001	0,0053 \pm 0,0001
ITH	82,39802 \pm 0,3123	82,3866 \pm 0,2986	82,7181 \pm 0,3009	82,6172 \pm 0,1657
WA, kg/m ²	36,0773 \pm 1,4298	36,2220 \pm 2,1482	33,6775 \pm 1,1073	38,8427 \pm 0,5752
CTC	3,2067 \pm 0,1179	3,2380 \pm 0,1082	3,1592 \pm 0,0872	3,1157 \pm 0,0591
PVkg	321,852 \pm 25,108	338,423 \pm 34,509	276,907 \pm 8,967	375,891 \pm 11,400
Área, m ²	8,6212 \pm 0,4207	8,7187 \pm 0,6193	7,9030 \pm 0,3239	9,4550 \pm 0,1725

El ITH no mostró correlaciones de Pearson significativas ($P>0,05$) con Qc, Qr y Qk, pero fueron de tendencia negativa (Cuadro 2). Sus grados de asociación son demasiado bajos con una tendencia a cero por la hipótesis a aceptar ($H_0: \rho=0$). Con Tb, las correlaciones fueron moderadas, pero altamente significativas ($P>0,001$) con Qr en WG25 y WGF1; además, la correlación de Tb con Qc en WGF1 también fue $P<0,001$. Además, el grado de asociación entre WA con Qc, Qr y Qk variaron de significativo ($P<0,05$) a la muy altamente significativa ($P<0,001$) en los cuatro GR. Todas las correlaciones de Pearson fueron positivas. Solamente no hubo una significancia estadística en la correlación de WA con Qk en los GR, WG50 y WG75; así como sus valores fueron muy bajos. Con respecto en CTC, la única correlación significativa ($P<0,01$) se dio con respecto a Qk con el GR, WG25. Todos los valores resultaron negativos, pero la aceptación de la hipótesis nula nos indica que sus valores estadísticamente son cero.



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 2. Correlaciones de Pearson de las variables independientes por grupo racial.

Grupo Racial	Variable de Respuesta	Variables independientes			
		ITH	Tb	WA	CTC
WG25	Qc	-0,093	0,044	0,484**	-0,127
	Qr	-0,038	0,859***	0,570***	-0,143
	Qk	-0,004	0,295	0,394*	-0,448**
WG50	Qc	-0,078	0,134	0,708***	-0,129
	Qr	-0,035	0,171	0,776***	-0,093
	Qk	-0,026	-0,087	0,222	-0,022
WG75	Qc	-0,216	0,046	0,491***	-0,174
	Qr	-0,156	0,068	0,562***	-0,136
	Qk	0,179	0,174	0,074	-0,139
WGF1	Qc	-0,112	0,328***	0,410***	-0,131
	Qr	-0,072	0,339***	0,472***	-0,114
	Qk	-0,171	0,057	0,224**	-0,078

***P<0,001; **P<0,01; *P<0,05

La tendencia de Qc en estos cuatro escenarios fue lineal y altamente significativa ($P<0,01$). Los WG50 liberaron más Qc con 0,00054 kcal/s por unidad de ITH superando a los WG25 en 25,6% (Figura 1). Además, se observa que, en promedio, los WG50 y WGF1 (0,000535 kcal/s por unidad de ITH) liberaron más calor a través de Qc que los WG75 y WG25 (promedio de 0,000435 kcal/s por unidad de ITH) en un 23,0%. De acuerdo con Guerra-Martínez et al. (2024), estos valores de Qc por unidad de ITH son ligeramente mayores a los encontrados en Brahman (0,000410 kcal/s por unidad de ITH) y Criollo (0,000405 kcal/s por unidad de ITH). Similar tendencia se observa en la liberación de Qc con respecto a Tb. La mayor liberación de Qc por unidad de Tb fue por parte de WG50 (0,00113 kcal/s por °C Tb) superando en 25,6% al GR, WG25 (0,00090 kcal/s por °C Tb).

El promedio de WG50 y WGF1 (0,001125 kcal/s por °C Tb) superó en 22,3% al promedio de WG25 y WG75 (0,00092 kcal/s por °C Tb). Por otro parte, WGF1 liberó 23,7% más Qc que WG25 (0,01342 vs 0,01075 kcal/s por unidad de CTC). Nuevamente, en promedio WGF1 y WG50 (0,01330 kcal/s) liberaron 21,9% más Qc por unidad de CTC que el promedio de WG25 y WG75 (0,01096 kcal/s). En el escenario con respecto a WA, el GR, WG50 (0,00125 kcal/s por unidad de WA) liberó 26,2% más Qc que el WG25 (0,00099 kcal/s por unidad de WA); sin embargo, la tendencia de los WGF1 (0,00113 kcal/s por



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

unidad de WA) no fue similar al WG50 y tendió a asemejarse a la tendencia del WG75 (0,00110 kcal/s por unidad de WA), la diferencia entre ambos apenas fue un 2,7%.

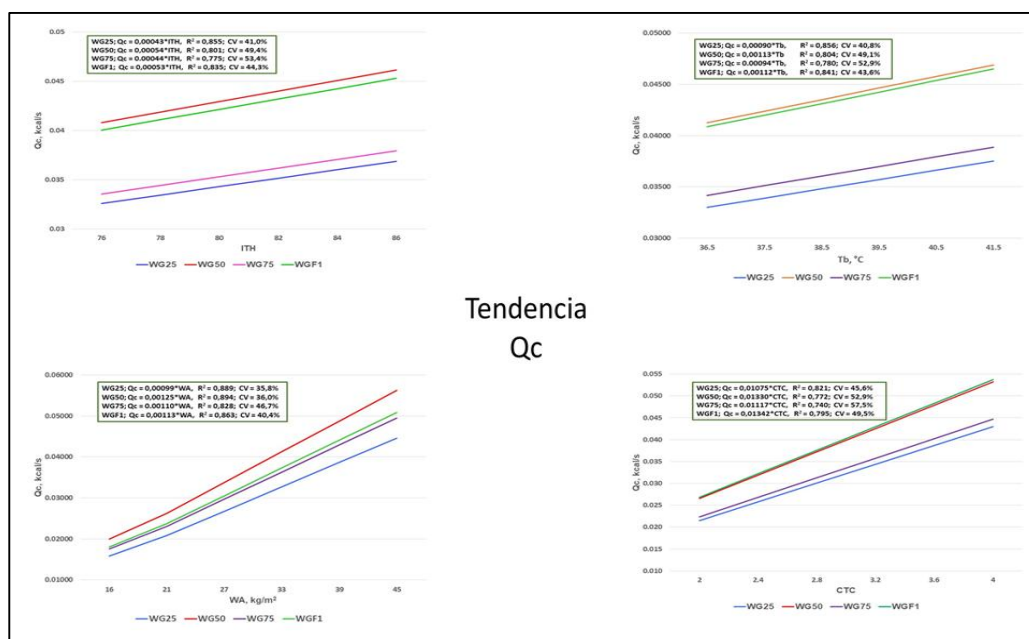


Figura 1. Tendencia de Qc con respecto a ITH, Tb, WA y CTC por grupo racial.

Las diferencias en la tendencia de Qr por unidad de ITH entre WG50 (0,153836 kcal/s por unidad de ITH) y WGF1 (0,153131 kcal/s por unidad de ITH) fue muy similar difiriendo apenas en 0,46% y entre WG25 (0,127778 kcal/s por unidad de ITH) y WG75 (0,128131 kcal/s por unidad de ITH) en apenas 0,28%; sin embargo, la diferencia entre el promedio de WG50 y WGF1 (0,1533484 kcal/s por unidad de ITH) versus WG25 y WG75 (0,127955 kcal/s por unidad de ITH) fue mucho más marcada con 19,9% (Figura 2). Con respecto a Tb, la diferencia en la tendencia de disipar calor por Qr fue muy estrecha entre WG50 (0,323093 kcal/s por °C Tb) y WGF1 (0,324453 kcal/s por °C Tb) fue de un 0,42%. Por otra parte, la diferencia, también pequeña, entre WG25 (0,269296 kcal/s por °C TB) y WG75 (0,271778 kcal/s por °C Tb) fue 0,92%. La diferencia entre el promedio de WG50 y WGF1 (0,323773 kcal/s por °C Tb) con respecto a WG75 y WG25 (0,270537 kcal/s por °C TB) alcanzó los 19,7%. Similar tendencia se observa en la disipación de calor por Qr con respecto a CTC (Cuadro 2). La diferencia entre WG50 (3,822003 kcal/m²·s por unidad de CTC) y WGF1 (3,910471 kcal/m²·s por unidad de CTC) fue 2,3%. Además, se observa que



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

la diferencia entre WG75 (3,255535 kcal/m²·s por unidad de CTC) y WG25 (3,204567 kcal/m²·s por unidad de CTC) fue menor con un 1,6%. La diferencia entre ambos grupos fue de 19,7% (promedio de WG50 y WGF1 fue de 3,866237 kcal/m²·s y promedio de WG75 y WGF1 fue de 3,230051 kcal/m²·s, ambos por unidad de CTC).

El patrón observado de WG50 y WGF1 de tener tendencias similares entre sí, al igual que entre WG25 con WG75 ya no se muestra con respecto al escenario de WA. La disipación de calor por unidad de WA entre WG50 (0,357052 kcal/m²·s por unidad de WA) y WG25 (0,295332 kcal/m²·s por unidad de WA) fue la mayor con 20,9%, si la comparamos con la diferencia en tendencia entre WGF1 (0,327805 kcal/m²·s por unidad de WA) y WG75 (0,319354 kcal/m²·s por unidad de WA) que fue de 2,6% (Figura 2).

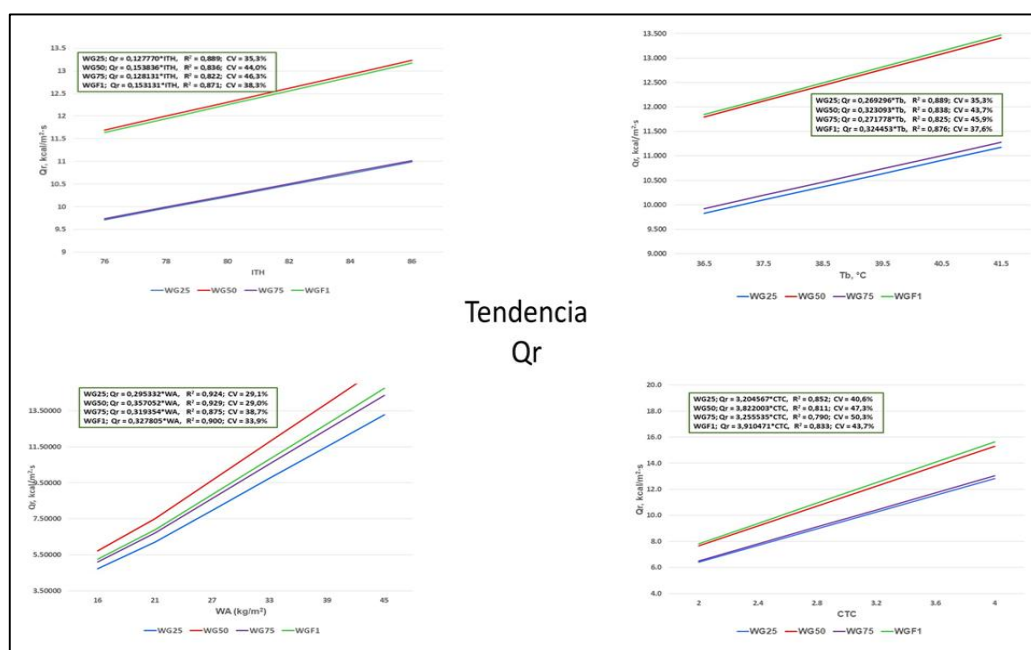


Figura 2. Tendencia de Qr con respecto a ITH, Tb, WA y CTC por grupo racial.

La disipación de calor por Qk entre WG50 (0,000155 kcal/m²·s·°C por unidad de ITH) y WGF1 (0,000151 kcal/m²·s·°C por unidad de ITH) fue de apenas 2,6% superior; sin embargo, el promedio de ambos GR (0,000153 kcal/m²·s·°C) comparado con el WG25 (0,000140 kcal/m²·s·°C), dispó 9,3% más Qk por unidad de ITH y un 40,4% más Qk por unidad de ITH con respecto al GR, WG75 (0,000109 kcal/m²·s·°C) (Figura 3). Los



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 de Guerra-Martínez et al. (2024) indicaron valores de Q_k para Brahman de $0,000194 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{s}$ por unidad de ITH) y en Criollo de $0,000183 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{s}$ por unidad de ITH. Similar al escenario de ITH se ha presentado con respecto a T_b .

La diferencia en Q_k entre WG50 ($0,000324 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}$ por $^\circ\text{C}$ T_b) y WGF1 ($0,000151 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}$ por $^\circ\text{C}$ T_b) apenas fue 1,6%. Por otra parte, el promedio de WG50 y WGF1 ($0,000153 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}$ por $^\circ\text{C}$) disipó más Q_k por unidad de $^\circ\text{C}$ T_b en 8,8% a los WG25 y en 39,4% a los WG75. Además, la diferencia en Q_k por unidad de CTC fue apenas 0,52% entre WG50 ($0,00387 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}$ por unidad de CTC) y WGF1 ($0,00385 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}$). El promedio de WG50 y WGF1 ($0,00386 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}$) superó en 12,5% al GR, WG25 ($0,00343 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}$ por unidad de TC) y al GR, WG75 ($0,00275 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}$ por unidad de CTC) en 40,4%. En la Figura 2 para el escenario de WA, el GR, WG50 liberó más 5,6% Q_k por unidad de WA que el promedio de WGF1 y WG25 ($0,000322 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}$ por unidad de WA). Además, el GR, WG50 ($0,000341 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}$ por unidad de WA) liberó 30,2% más Q_k que el GR, WG75 ($0,000262 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}$).

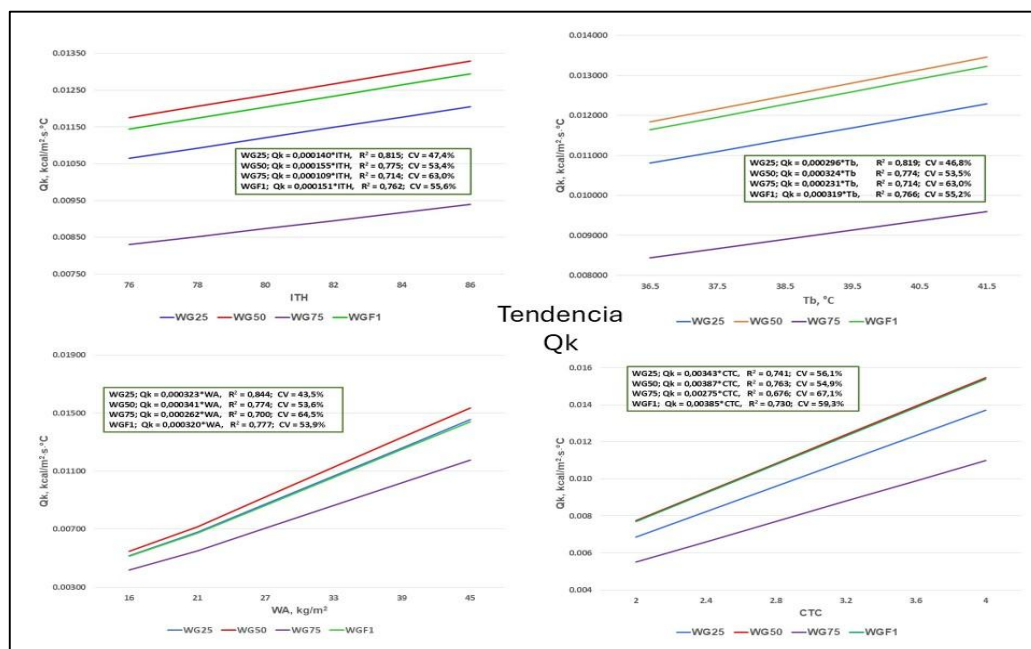


Figura 3. Tendencia de Q_k con respecto a ITH, T_b , WA y CTC por grupo racial.



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 Wankar et al. (2024); St-Pierre et al. (2003); Nardone et al. (2010) se espera que los bovinos de razas cárnicas responden diferente al estrés calórico comparado con razas lecheras por su más baja generación metabólica de calor, variabilidad genética y su habilidad a resistir comparablemente a más altos ITH. Además, Berbiegier (1989) había anunciado que la producción bovina de carne es menos afectada por el calor que la producción de leche, debido a que la producción de energía metabolizable para leche es más alta que para carne. Sin embargo, esta situación no implica que las razas cárnicas son inmunes al estrés calórico y que todas las respuestas al estrés calórico son activadas una vez el ITH excede el umbral de 78-80, el cual es encontrado bajo las condiciones del ecosistema de Gualaca Bajo.

Estudios han demostrado que el estrés calórico no solo reduce el consumo de alimentos, sino también tiene un efecto indirecto en el metabolismo energético, procesos digestivos y asimilación de nutrientes; así como en disminuir los procesos termorregulatorios (Wheelock et al., 2010; Mahjoubi et al., 2014; Wankar et al., 2021). Adams et al. (1998), agregan que los bovinos han evolucionado en un eco-clima muy particular que les permite ser más productivo y confortables. Pareciera que los GR, WG75 y WG25 son los menos adaptados a las condiciones del ecosistema del bosque-húmedo tropical al mostrar menor uso de los mecanismos de termorregulación principalmente porque este ecosistema presenta un clima extremos para ellos con más altas temperaturas ambientales, humedad y posiblemente ondas de calor que comprometen su habilidad termorregulatoria y son ellos menos capaces para disipar el exceso de calor metabólico, haciéndolos más vulnerables a efectos deletéreos del estrés calórico.

Por otra parte, Guerra-Martínez et al. (2024) reportaron que bovinos WG75 presentaron la menor TR en función del ITH y podría explicar la menor disipación de calor por los tres mecanismos termorregulatorios estudiados, pero los WG25 mostraron mayor TR en función del ITH. Guerra-Martínez et al. (2020) encontraron que GR como WG75 de los cruces WG (paterno) con WG50 y WGF1 (materno) tuvieron, en promedio, menor capacidad calórica corporal (182,8 kcal/°C), sobrecarga calórica corporal (269,8 kcal) y potencial calórico corporal (3,81 kcal/kg^{0.75}). Esto podría explicar porque los WG75 utilizaron menos los mecanismos de termorregulación. Por otra parte, los WG25 del cruce BRH (paterno) 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/)

WG50 (materno) mostraron menor CCC y más altos SCC y PCC y aun así no utilizaron los mecanismos de termorregulación como los WG50 y WGF1.

Sin embargo, tal comportamiento en los WG25 no le encontramos explicación ya que al contar con solamente un 25% de genes Wagyu (*Bos taurus*) debió mostrar mayor uso de estos mecanismos de termorregulación. Autores como Seijan et al. (2018) señalan que razas Cebuinas (*Bos indicus*) tienen más alta tolerancia al calor que razas europeas (*Bos taurus*), pero se ha estudiado que razas taurinas como las Criollas han sido naturalmente seleccionadas para tolerancia al calor bajo condiciones climáticas del trópico (De León, et al., 2019). Solamente se justificaría si el WG25 produce menos calor, por lo tanto, hay menor cantidad de calor a disipar por los mecanismos de termorregulación tomados en el estudio.

Bovinos WGF1 y WG50 mostraron mayor disipación de calor utilizando los tres mecanismos de termorregulación y bajo los cuatro escenarios que se propuso en el estudio. Estos GR son los que aparentan mayor tolerancia a los efectos climáticos del trópico húmedo donde se realizó el estudio. Por otra parte, Los bovinos WG25 y WG75 fueron los que menor disipación de calor realizaron a través de Qr y Qc en los escenarios de ITH, Tb y CTC. Disipar calor por Qk fue marcadamente menor en bovinos WG75 en los cuatro escenarios de ITH, TB, WA y CTC. En este caso, por la escasez de información en la literatura de américa latina tropical, se especula esta tendencia, en vista que los WG75 poseen un 75% de genes Wagyu que es un *Bos taurus* con mayor susceptibilidad a condiciones del trópico y la literatura ha mostrado que animales de raza europeo son más estresados bajo condiciones del trópico que las razas *Bos indicus*. Bovinos WG25 y WG50 tiene 75% de *Bos taurus*. Pero, los bovinos WG25 poseen 50% de razas *Bos taurus* más tolerantes al calor como las razas Charoláis, Simmental y Angus Rojo, y apenas 25% de Wagyu y los WG50 tiene 25% de estas razas *Bos taurus* y 50% de Wagyu. Se plantearía que las razas Charoláis, Simmental y Angus Rojo aportarían algo de tolerancia al calor que el Wagyu solamente.

El color del pelaje influye en la retención de calor afectando los mecanismos vasculares subepidérmicos que facilitan la vasodilatación, según Araúz (2017); así como la conducción calórica del núcleo térmico corporal hacia la piel y la termólisis pasiva y activa en los animales homeotérmicos. De acuerdo con Curtis (1983) entre más oscuro el color



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 la superficie del bovino menor será el grado de emisividad calórica y agrega que la cantidad de calor retenida y acumulada en el tiempo de exposición la superficie corporal de los bovinos cambia en función de la tonalidad del pelaje y la piel. En el caso de los cruces Wagyu-Brahman predomina un color negro oscuro por lo que el grado de estrés calórico actuaría con una intensidad final creciente. De allí los altos valor de Q_r de los cruces Wagyu-Brahman utilizados en el presente estudio, los cuales superaron a los reportados en el estudio de Guerra-Martínez et al. (2004) en cruces $\frac{1}{2}$ Charolais + $\frac{1}{2}$ Brahman (5,127 kcal/m²·s), $\frac{1}{2}$ Simmental + $\frac{1}{2}$ Brahman (6,545 kcal/m²·s) y $>\frac{1}{2}$ Holstein-Brahman (4,246 kcal/m²·s) durante la época lluviosa.

Otra consecuencia donde prevalece alta radiación calórica y temperatura ambiental es la alta carga calórica corporal alterando la temperatura corporal promedio y heterogénea por región anatómica y sistémica, estableciéndose la hipertermia por la hiperpnea⁵ y taquicardia en los bovinos (Araúz, 2015). Finalmente, Curtis (1983) y Yousef (1985) han señalado que el color de la superficie corporal o pelaje es un factor determinante sobre la cantidad de calor retenida, por lo cual el índice de emisividad calórica tegumentaria se reduce en la medida que el color del pelaje y piel se hace más oscuros.

De acuerdo con Picón-Jaimes et al. (2020) se ha calculado que por radiación se puede perder hasta un 60% del calor corporal, mientras que a través de la convección se puede perder hasta el 12% del calor corporal. Por otra parte, a través de la conducción se puede perder hasta el 3% del calor corporal; sin embargo, si el contacto directo es con agua fría, la pérdida de calor por esta reacción es al menos, 100 veces mayor que el aire frío.

⁵ Hiperpnea: Respiración más profunda y frecuente de lo normal.



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

CONCLUSIONES

- Hay una gran variabilidad en las tendencias de Qc, Qr y Qk con respecto a la composición genética del hato Wagyu-Brahman.
- El mecanismo de termorregulación para estos grupos raciales no es único.
- Las tendencias de los grupos raciales en disipar calor por Qc, Qr y Qk se mantienen linealmente en los escenarios estudiados con respecto a ITH, Tb, WA y CTC.
- La tendencia a liberar calor por Qc, Qr y Qk fueron similares entre WG50 y WGF1; así como entre WG25 y WG75.
- Sin embargo, WG75 disipó menor Qk con respecto a ITH, Tb, WA y CTC.

RECOMENDACIONES

Realizar estudios de los mecanismos de termorregulación tomando en cuenta el color del pelaje y la piel medidos cuantitativamente en ambas épocas del año, seca versus lluviosa.

REFERENCIAS

- Adams, R. A., Hurd, B. H., Lenhart, S., & Leary, N. (1998). Effects of global climate change on agriculture: an interpretative review. *Climate Research*, 11, 19-30.
https://www.researchgate.net/publication/272864301_Effects_of_global_climate_change_on_agriculture_an_interpretative_review
- Araúz S., E. E. (2015). *Estrategias micro climáticas y medidas de manejo para reducir el estrés calórico, favorecer el bienestar animal y mejorar la producción bovina de leche en Panamá*. En: La Ganadería en América Latina y el Caribe: Alternativas para la producción competitiva, sustentable e incluyente de alimentos de origen animal. R. Núñez-Domínguez, R. Ramírez Valverde, S. Fernández Rivera, O. Araujo Febres, M. García Winder, T. E. Díaz Muñoz. Biblioteca Básica de Agricultura. Printing Arts Mexico, S. de R.L. de C.V. P. 449-454.



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://researchgate.net/publication/292762537>

<https://books.alpa.uy/assets/files/449-28fd737bc42c9d513483d9f329d35926.pdf>

Araúz S., E. E. (2017). Influencia del color del pelaje sobre el comportamiento térmico corporal, cinética de la sobrecarga calórica y alteración cardiorrespiratoria circadiana en vacas lecheras cruzadas (6/8 *Bos taurus* x 2/8 *Bos indicus*) bajo estrés calórico en el trópico húmedo. *REDVET (Revista Electrónica de Veterinaria)*, 18(7). <https://www.redalyc.org/pdf/636/63652580007.pdf>

Bavera, G. A. & H. A. Beguet. (2003). *Termorregulación corporal y ambientación*. Curso Incompleto de Producción Bovina de Carne, FAV UNRC. Argentina. https://www.produccion-animal.com.ar/clima_y_ambientacion/04-termorregulacion_corporal_y_ambientacion.pdf

Berbiegier, P. (1989). *Effect of heat on intensive meat production in the tropics: cattle, sheep, and goats*. Ed. J. R. Mateus Paranhos da Costa Botucatu. FMVZ/UNESP, 1986. Jaboticabal, FUNEP. 1989. Brasil.

Brown-Brandel, T. (2018). Understanding heat stress in beef cattle. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 47, e20160414. <https://doi.org/10.1590/rbz4720160414>

Bunning, H. & Wall, E. (2022). The effects of weather on beef carcass and growth traits. *Animal*, 16(11), 100657. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2022.100657>

Castaño, F. A., Rugeles P., C. C., Betancur H., C. A., & Ramírez-López, C. J. (2014). Impacto del estrés calórico sobre la actividad reproductiva en bovinos y consideraciones para mitigar sus efectos sobre la reproducción. *Biosalud*, 13(2), 84-94. <https://revistasoj.s.ucaldas.edu.co/index.php/biosalud/article/view/4674>

Chauhan, S. S., Zhang, M., Osei-Amponsah, R., Clarke, I., Seijan, V., Warner, R., & Dunshea, F. R. (2023). Impact of heat stress on ruminant livestock production and



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

- meat quality, and strategies for amelioration. *Animal Frontiers*, 13(5), 60-68.
<https://doi.org/10.1093/af/vfad046>
- Curtis, S. E. (1983). *Environmental management in animal agriculture*. Iowa State University Press. Ames, IO. USA.
https://books.google.com.pa/books/about/Environmental_Management_in_Animal_Agric.html?id=5v0pAQAAMAAJ&redir_esc=y
- De León, C., Manrique, C., Martínez, R., & Rocha, J. R. (2019). Genomic association study for adaptability traits in four Colombia cattle breeds. *Genetics and Molecular Research*, 18(3), GMR18373.
<https://geneticsmr.com/wp-content/uploads/2024/03/18-3-gmr18373.pdf>
- Díaz, R. F., Galina, C. S., Aranda, E. M., Aceves, L. A., Gallegos Sánchez, J., & Pablos, J. L. (2020). Effect of temperature – humidity index on the onset of pos-partum ovarian activity and reproductive behavior in *Bos indicus* cows. *Animal Reproduction*, 17(1), e20190071. <https://doi.org/10.21451/1984-3143-AR2019-0074>.
- Draper, N. R. & Smith, H. (1980). *Applied regression analysis*. 2nd Ed. John Wiley & sons, Inc. New York, USA. 709p.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781118625590>
- Guerra-Martínez, P., Bernal-Rosas, J. L., Martínez-Delgado, C. I., Villarreal-Ruíz, A. A., De Gracia-Victoria, M. M., y Ibarra-Guerra, O. (2024). Tolerancia al calor de bovinos cruzados Wagyu-Brahman bajo condiciones del trópico húmedo. Panamá. *Ciencia Agropecuaria*, (38), 144-163.
<http://www.revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/631>
- Guerra-Martínez, P., y De Gracia-Gálvez, M.S. (2022). Calentamiento global y sus efectos en el comportamiento y bienestar Bovino en Panamá. Tríptico. IDIAP.
<http://www.idiap.gob.pa/?wpdmdl=8394>



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-Martínez, P., De Gracia-Gálvez, M. S., Bernal-Rosas, J. L., Martínez-Delgado, C. I., Villarreal-Ruiz, A. A., De Gracia-Victoria, M. M., y Ibarra-Guerra, O. (2020). Condición calórica corporal de cruces Wagyu-Brahman en un clima del bosque húmedo tropical. Panamá. *Ciencia Agropecuaria*, (30), 1-26.

<http://www.revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/124>

Guerra M., P., De Gracia, M. S., Quiel, R., De Gracia, M., y Del Cid, I. (2004). Tolerancia térmica de animales cebú y sus cruces en sistema de ceba en pastoreo, en el bosque húmedo trópico. Gualaca, Panamá. 1999-2004. *Ciencia Agropecuaria*, (17), 75-106.

<http://www.revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/327/266>

Gupta, S. K., Shinde, K. P., Lone, S. A., Thakur, A., & Kumar, N. (2016). Potential impact of heat stress on production and reproduction of dairy animals: consequences and possible solutions: A review. *International Journal of Science, Environment and Technology*, 5(3), 903-911. <https://www.researchgate.net/publication/317845198>

Instituto de Meteorología e Hidrología de Panamá. (2024). Datos climáticos históricos. IMHPA. Panamá. <https://www.imhpa.gob.pa/es/>

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2018). *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems* [P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley, (eds.)]. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), World Meteorological Organization (WMO) and United Nations Environment Programme (UNEP). <https://www.ipcc.ch/srccl/>



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

- Koneswaran, G., & Nierenberg, D. (2008). Global farm animal production and global warming: impacting and mitigation climate change. *Environmental Health Perspectives*, 116(5), 578-582.
https://www.researchgate.net/publication/5381853_Global_Farm_Animal_Production_and_Global_Warming_Impacting_and_Mitigating_Climate_Change
- Lamy, E., van Harten, S., Sales-Baptista, E., Guerra, M. M. M., & de Almeida, A.M. (2012). Factors Influencing Livestock Productivity. In: Sejian, V., Naqvi, S., Ezeji, T., Lakritz, J., Lal, R. (eds) *Environmental Stress and Amelioration in Livestock Production*. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-29205-7_2
- Livestock Conservation, Inc. (LCI). (1970). *Patterns of transit losses*. Livestock Conservation, Inc. Omaha, NE. USA.
- Louw, G. N. (1993). *Physiological animal ecology*. Longman Scientific and Technical. London, UK.
https://books.google.com.pa/books/about/Physiological_animal_ecology.html?id=VEVFAQAAIAAJ&hl=en&redir_esc=y
- Mader, T., Davis, S., Gaughan, J., & Brown-Brandl, T. (26-28 August of 2004). *Wind speed and solar radiation adjustments for the temperature-humidity index*. (Meeting Paper 6B.3.) 16th Conference on Biometeorology and Aerobiology. Vancouver, British Columbia, Canada.
<https://ams.confex.com/ams/AFAPURBBIO/webprogram/Paper77847.html>
- Mahjoubi, E., Amanlou, H., Mirzaie-Alamouti, H. R., Aghaziarati, N., Hossein Yazdi, M., Noori, G. M., Yuan, K., & Baumgard, L. H. (2014). The effect of cyclical and mild heat stress on productivity and metabolism in Afshari lambs. *Journal of Animal Science*, 92, 1007-1014. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-7153>



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

- Mariana, E., Sumantri, C., Astuti, D. A., Anggraeni, A., & Gunawan, A. (2019). Thermoregulation, hematological profile and productivity of Holstein Friesian under heat stress at different land elevations. *Buletin Peternakan*, 43(1), 8-16. <https://doi.org/10.21059/buletinpeternak.v43i1.37648>
- McLean, J. A., Downie, J. A., Jones, C. D. R., Stombough, D. P., & Glasbey, C. A. (1983). Thermal adjustment of stress (*Bos taurus*) to abrupt changes in environments temperature. *Journal of Agricultural Science*, 48, 81-84. <https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-agricultural-science/article/abs/thermal-adjustments-of-steers-bos-taurus-to-abrupt-changes-in-environmental-temperature/D8C801243795ABFF6AF50DD85CE39A8B>
- McMichael, A. J., Powles, J. W., Butler, C. D., & Uauy, R. (2007). Food, livestock production, energy, climate change, and health. *Lancet (London, England)*, 370(9594), 1253-1263. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(07\)61256-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(07)61256-2)
- Nardone, A., Ronchi, B., Lacetera, N., Ranieri, M. S., & Bernabucci, U. (2010). Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. *Livestock Science*, 130, 57-69. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.02.011>
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). (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.
- Picón-Jaimes, Y. A., Orozco-Chinome, J. E., Molina-Franky, J., & Franky-Rojas, M. P. (2020). Control central de la temperatura corporal y sus alteraciones: fiebre, hipertermia e hipotermia. *MedUNAB*, 23(1), 118-130. <https://revistas.unab.edu.co/index.php/medunab/article/view/3714/3208>



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

- Seijan, V., Bhatta, R., Gaughan, J. B., Dunshea, F. R., & Lacetera, N. (2018). Review: Adaptation of animal to heat stress. *Animal*, 12, s431-s444. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30139399/>
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., & de Haan, C. (2006). *Livestock's Long Shadow*. Livestock, Environment and Development (LEAD). Food Agricultural Organization (FAO). <http://www.fao.org/docrep/010/a0701e/a0701e00.HTM>
- St-Pierre, N. R., Cobanoc, B., & Schnikey, G. (2003). Economic losses from heat stress by US livestock industry. *Journal of Dairy Science*, 86, Supplement, E52-E77. [https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(03\)74040-5/fulltext](https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(03)74040-5/fulltext)
- Thom, E. C. (1959). The discomfort index. *Weatherwise*, 12(2), 57-61. <https://doi.org/10.1080/00431672.1959.9926960>
- Tippens, P. E. (1980). *Física, conceptos y aplicaciones*. 3ª Edición. McGraw-Hill Company. New York. https://www.academia.edu/44376121/F%C3%8DSICA_Conceptos_y_aplicaciones_7a_Edici%C3%B3n_Revisada_Paul_E_Tippens
- Wang, J., Li, J., Wang, F., Xiao, J., Wang, Y., Yang, H., Li, S., & Cao, Z. (2020). Heat stress on claves and heifers: a review. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 11, 79-86. <https://doi.org/10.1186/s40104-020-00485-8>
- Wankar, A. K., Bhangale, G. N., Rindhe, S. N., Kumawat, B. L., & Shafi, T. A. (2024). Heat stress in beef cattle: climate change and the global scenario - A review. *Annals of Animal Science*, 24(4), 1093-1105. <https://doi.org/10.2478/aoas-2024-0026>



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

- Wankar, A. K., Singh, G., & Yadav, B. (2021). Effect of temperature x ITH on acclimatization in buffaloes subjected to simulated heat stress: physio-metabolic profile, methane emission and nutrient digestibility. *Biological Rhythm Research*, 52(10), 1589-1603. <https://doi.org/10.1080/09291016.2019.1673652>
- Wheelock, J.B., Rhoads, R. P., VanBaale, M. J., Sanders, S. R., & Baumgard, L. H. (2010). Effects of heat stress on energetic metabolism in lactating Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 93(2), 644–655. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20105536/>
- Willmer, P., Stone, G., & Johnston, I. (2000). *Environmental physiology of animals: Temperature and its effects*. Blackwell Science Ltd. Maryland, USA. https://eclass.uth.gr/modules/document/file.php/DIAE_U_144/environmental-physiology-of-animals.pdf
- Yousef, M. K. (Ed.) (1985). *Stress Physiology in Livestock. Vol. I, Basic principles*. CRC Press. Boca Ratón, FL. USA. <https://doi.org/10.1002/smi.2460020413>



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