

CONDICIÓN CALÓRICA CORPORAL DE CRUCES WAGYU-BRAHMAN EN UN CLIMA DEL BOSQUE HÚMEDO TROPICAL, PANAMÁ¹

Pedro Guerra-Martínez²; Manuel Salvador De Gracia-Gálvez³;

José Luis Bernal-Rosas⁴; Carlos Iván Martínez-Delgado⁵;

Arístides Augusto Villarreal-Ruiz³; María Milagros De Gracia-Victoria⁶;

Olegario Ibarra-Guerra⁷

RESUMEN

Se estudió la condición calórica corporal de cruces Wagyu-Brahman bajo el clima del bosque húmedo tropical, Gualaca. Los meses de nacimiento se agruparon en dos épocas (EP): seca (ESC) y lluviosa (ELL). Los grupos raciales (GR) del padre (GRP) fueron: Wagyu (WG) y Brahman (BRH); los GR de la madre (GRM) fueron: WG25, WG50, WGF1 y CRUCE; los GR de la progenie (GRANI) fueron: WG25, WG50, WG75 y WGF1. Las variables dependientes fueron: temperaturas corporales (TMPC): lomo (TL), cabeza (TC), costilla (TCS), vientre (TV), y frente (TF); grosor de la piel (GP); estado calórico (ECC): capacidad calórica corporal (CCC), sobrecarga calórica corporal (SCP) y presión calórica corporal (PCC) e indicadores de tolerancia calórica (ITC): Prueba Iberia Tolerancia al Calor (PITC), Prueba Tolerancia al Calor de Gaalas (PTCG) y Coeficiente Adaptabilidad de Benezra (CAB). Se utilizó un modelo mixto donde año (YR) y EP(YR) fueron efectos aleatorios, y GRP y GRM(GRP) fueron efectos fijos. Se aplicó análisis de regresión pasando por el origen entre ITH (Índice Temperatura-Humedad) con TMPC. El efecto promedio GRP y GRM(GRP) fueron ($P>0,05$) para TMPC, EEC e ITC. TL ($38,8\pm 0,6^{\circ}\text{C}$), TC ($37,4\pm 0,6^{\circ}\text{C}$), TF ($36,2\pm 0,5^{\circ}\text{C}$) y TV ($35,5\pm 0,5^{\circ}\text{C}$) fueron mayores cuando GRP fue WG y GRM fue WGF1. La relación entre ITH y TMPC por GRANI fueron lineales ($P<0,05$). Mayor CCC ($204,9 \text{ kcal}/^{\circ}\text{C}$) se encontró con GRP, BRH y GRM, WGF1, pero mayor SCC ($430,6 \text{ kcal}$) y PCC ($5,76 \text{ kcal}/\text{kg}^{0,75}$) con GRM, WG50. PITC ($79,5$) y PTCG ($71,4$) fueron mayores con GRP, WG y GRM, WGF1, pero menor CAB con GRP, BRH y GRM, WG50 ($3,11$). La TMPC y ECC e ITC variaron en función del GRP y GRM y las relaciones entre ITH y TMPC fueron lineales desde el origen. Se concluye que todos los GR estuvieron en estrés calórico.

Palabras claves: Estrés calórico, temperatura ambiental, humedad relativa, tolerancia al calor, cruces bovinos.

¹Recepción: 8 de marzo de 2019. Aceptación: 22 de junio de 2019. Aporte del Proyecto de Difusión y Adopción de Tecnologías Generadas por IDIAP en Fincas Familiares Ganaderas en Chiriquí, Veraguas y Los Santos.

²IDIAP. Estación Experimental de Gualaca "Carlos M. Ortega" (EEG-CMO). Centro de Investigación Agropecuaria Chiriquí (CIACH). M.Sc. Mejoramiento Genético Animal. e-mail: pedroguerram16@gmail.com

³Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad de Panamá. PhD. Nutrición Animal.

⁴IDIAP. EEG-CMO. Centro de Investigación Agropecuaria Chiriquí. Méd. Vet. Zoot.

⁵IDIAP. EEG-CMO. Centro de Investigación Agropecuaria Chiriquí. Ing. Agr. Zoot.

⁶IDIAP. EEG-CMO. Centro de Investigación Agropecuaria Chiriquí. Téc. Parasitología.

⁷IDIAP. EEG-CMO. Centro de Investigación Agropecuaria Chiriquí. Asistente Investigador.



CALORIC BODY CONDITION OF WAGYU-BRAHMAN CROSSES IN A TROPICAL RAIN FOREST CLIMATE, PANAMA

ABSTRACT

Caloric body condition of Wagyu-Brahman crosses was studied in a tropical rain forest climate, Gualaca. Birth months were grouped in two seasons (EP): dry (ESC) and rainy (ELL). Genetic groups (GR) of sired (GRP) were: Wagyu (WG) and Brahman (BRH); the GR of the dams (GRM) were: WG25, WG50, WGF₁ y CRUCE; GR of progenies (GRANI) were: WG25, WG50, WG75 and WGF1. Dependent variables were: body temperatures (TMPC): loin (TL), head (TC), ribs (TCS), abdomen (TV), and forehead (TF); skin thickness (GP); heat state (ECC), body heat capacity (CCC), body heat overloading (SCP) and body heat pressure (PCC), and heat tolerance indicators (ITC): Iberia heat tolerance test (PITC), Gaalaas heat tolerance test (PTCG) and Benezra adaptability coefficient (CAB). It was utilized a mixed model where year (YR) and EP(YR) were random effects and GRP and GRM(GRP) were fixed effects. It was applied an origin regression analysis between ITH (Temperature-Humidity Index) and TMPC. Average effect GRP and GRM(GRP) were ($P>0,05$) for TMPC, ECC and ITC. TL ($38,8\pm 0,6^{\circ}\text{C}$), TC ($37,4\pm 0,6^{\circ}\text{C}$), TF ($36,2\pm 0,5^{\circ}\text{C}$) and TV ($35,5\pm 0,5^{\circ}\text{C}$) were greater when GRP was WG and GRM was WGF1. Relationships between ITH and TMPC for GRANI were linear ($P<0,05$). High CCC ($204,9 \text{ kcal}/^{\circ}\text{C}$) was found with GRP, BRH and GRM, WGF1, but higher SCC ($403,6 \text{ kcal}$) and PCC ($5,76 \text{ kcal}/\text{kg}^{0,75}$) with GRM, WG50. PITC (79,5) and PTCG (71,4) were greater with GRP, WG and GRM, WGF1, but smaller CAB with GRP, BRH and GRM, WG50 (3,11). TMPC, ECC and ITC varied according to the GRP and GRM, and the relationships between ITH and TMPC were linear from the origin. It was concluded that all GR were heat stressed.

Key words: Heat stress, environmental temperature, relative humidity, heat tolerance, bovine crossbred.

INTRODUCCIÓN

La industria de la carne bovina en Panamá ha estado perdiendo importancia en su participación al Producto Interno Bruto y en la demanda y consumo nacional comparado con la industria avícola y porcina. En parte, se atribuye a que esta industria no ha sido capaz de suplir un tipo de carne basado en las exigencias de los consumidores en términos de alta calidad, buena uniformidad y bajos precios. Los altos precios al consumidor, las fluctuaciones en el precio pagado al ganadero y los altos costos de alimentación y salud del ganado deben forzar a hacerse cambios drásticos en los modelos de producción, incluyendo la genética, y mercadeo. Las acciones se deben enfocar a mejorar la ganadería y sus actores, y darle el rol que se merece en la economía panameña, desarrollando prioridades en el área de exportación como salida a nuestros excedentes de productos



©2020 Ciencia Agropecuaria es desarrollada en el Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá, bajo una licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional. Para más información escribir a cienciaagropecuaria@idiap.gob.pa

bovinos cárnicos no procesados, semi-procesados y procesados. Mejorar la calidad y uniformidad de las carnes bovinas panameñas a través del cruzamiento con razas bovinas especializadas y adaptadas; así como mejorar las técnicas de alimentación permitirá acceder a mercados nacionales e internacionales que mejorarían la eficiencia de los sistemas de producción bovina de carne y ser más competitivo ante las otras carnes (avícola y porcina) nacionales e internacionales.

El Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) actualmente desarrolla la actividad de Evaluación de Germoplasma Bovino (Guerra et al., 2013; Guerra et al., 2009a) en la que se han probado en cruzamiento razas *Bos taurus* con *Bos indicus* (Brahman) con buenos resultados en características de desarrollo, crecimiento y calidad de la canal y carne. Efectos genéticos raciales aditivos y las interacciones genéticas de dominancia son efectos genéticos responsables de estos comportamientos cuando las condiciones ambientales y mercado son muy favorables de acuerdo con Guerra et al., (2009b); Guerra et al., (2010); Pacheco et al., (2014). La raza Wagyu es una de las razas en evaluación en cruzamiento con *Bos indicus*. Con esta raza y sus cruces, también se han realizado estudios donde se determinaron sus curvas de crecimiento bajo condiciones de pastoreo y en el trópico húmedo del ecosistema de Gualaca Bajo (Guerra et al., 2016).

Los principales factores físicos ambientales que afectan al sistema ganadero incluyen la temperatura del aire, humedad relativa, radiación solar, presión atmosférica y velocidad del viento (Dash et al., 2016). Estos autores agregan que estos factores ambientales son agrupados para producir estrés calórico en el bovino, el cual es definido como cualquier combinación mayor que el rango de temperatura de la zona termoneutral de los bovinos y que la influencia negativa del estrés calórico puede ser cuantificada a través del Índice de Temperatura-Humedad (ITH). De acuerdo con Alzina-López et al., (2001), la ganadería en las zonas tropicales se ha visto limitada por una serie de factores, entre estos, están las condiciones climatológicas en donde se desarrolla el sistema de producción y como alternativa se plantea reducir los efectos del macroclima⁸ y microclima⁹ a través de sistemas de producción llamados silvo-pastoriles.

⁸ Macroclima son las condiciones climáticas de la región donde se establece la unidad de producción (Bianca, 1965).

⁹ Microclima son las condiciones físicas que rodean al animal dentro de una unidad de producción que incluyen la temperatura ambiental, la humedad y radiación calórica (Bianca, 1965).



La influencia del clima en la producción bovina ha sido reconocida desde hace unas décadas (Johnson, 1987). Los animales hacen frente a estos períodos desfavorables primordialmente a través de modificaciones fisiológicas y de comportamiento. Así, en la mayoría de los casos esta respuesta se manifiesta en cambios de los requerimientos de nutrientes, siendo el agua y la energía los más afectados cuando el ganado se encuentra fuera de la zona termo-neutral (Conrad, 1985; Arias et al., 2008).

Ante los efectos del cambio climático sobre el comportamiento del bovino de baja productividad por cambios fisiológicos termoregulatorios, se requiere tomar acciones para minimizar el estrés calórico producido por alteraciones en la zona termoneutral¹⁰ del animal. Existen varias alternativas disponibles y otras que están en proceso de evaluación para minimizar los efectos del cambio climático. Una alternativa es el uso de razas adaptadas o sistemas de cruzamiento con razas adaptadas y de calidad como herramientas del mejoramiento genético fáciles de implementar.

El Wagyu es una raza *Bos taurus* cuya carne es de muy alta calidad por su marmoleado que le agrega suavidad, sabor y jugosidad, lo que la hace mejor cotizada en el mercado internacional (Guerra, 2015). Esta raza se evalúa en la Estación Experimental de Gualaca “Carlos M. Ortega” del IDIAP (EEG-CMO), en cruzamiento con la raza Brahman (*Bos indicus*), caracterizada por su alta adaptabilidad a las condiciones del trópico, como una alternativa para mejorar la calidad del producto final y la eficiencia bio-económica y competitividad de nuestros sistemas de producción bovinos de carne; sin embargo, se tiene escasa información sobre la condición calórica corporal de cruces Wagyu-Brahman en diferentes grados de encaste bajo condiciones tropicales de pastoreo.

Por lo tanto, el objetivo del trabajo fue estudiar la condición calórica corporal de cruces Wagyu-Brahman bajo condiciones del trópico húmedo pre-montano de la Estación Experimental de Gualaca “Carlos M. Ortega” del IDIAP en Chiriquí, Panamá.

¹⁰ Zona termoneutral son los límites de temperatura ambiental dentro del cual, el calor normal generado para mantenimiento y de los procesos productivos están en situación no estresante, no hay problemas en la pérdida de calor y el animal manifiesta al máximo su potencial productivo genéticamente establecido (Johnson, 1987).



MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del estudio: El estudio se realizó en la Estación Experimental de Gualaca “Carlos M. Ortega” del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) localizado en Gualaca, provincia de Chiriquí, República de Panamá, ubicada a 8°39'20" latitud norte y 82°10'10" longitud oeste (WSG84 Zona 17 P 357418,89 m E 940281,66 m N a 90 msnm, Google-Earth, 2019). El clima pertenece al ecosistema Bosque Húmedo Tropical (Biota Panamá, 2019; Holdridge, 1979). La temperatura media anual es de 26°C, la humedad relativa varía de 65,2% a 71,3% en la época seca de 71,3% a 87,9% en la época lluviosa y precipitación anual de 3,500 a 4,000 mm (ETESA, 2018). El suelo es un inceptisol franco arcilloso arenoso con pH 4,5, contenido de materia orgánica de 3,7%, bajo en fósforo (1,6 mg/kg), medio en potasio (0,12 cmol/kg), bajo en calcio y magnesio (0,26 y 0,08 cmol/kg, respectivamente (Pinzón y Montenegro, 2008).

Climatología del área de estudio: Los datos climatológicos históricos promedio de 23 años de la Estación Experimental de Gualaca fueron tomado de la Estación Gualaca II de ETESA (2018) Cuadro 1.

Cuadro 1. Temperatura Ambiental (TA) Promedio, Humedad Relativa (HR), Velocidad del Viento A 2m (VV), Precipitación (PP) E Índice Temperatura-Humedad del Ecosistema Gualaca Bajo.

Mes del año	TA (°C)	HR (%)	VV (km/h)	PP (mm)	ITHaj ¹¹
Enero	26,6	71,3	4,32	34,1	69,33
Febrero	27,4	64,0	5,40	38,9	68,31
Marzo	28,0	65,2	5,04	73,0	70,11
Abril	27,9	71,9	3,60	158,2	74,40
Mayo	27,2	82,3	2,52	533,6	77,27
Junio	26,7	85,4	1,80	472,4	78,56
Julio	26,6	85,5	1,80	458,2	78,40
Agosto	26,6	85,6	1,80	590,6	78,42
Septiembre	26,4	86,2	1,80	608,3	78,16
Octubre	26,1	87,9	1,80	672,0	77,36
Noviembre	26,1	84,4	1,80	460,4	77,45
Diciembre	26,2	78,2	2,88	144,1	74,28

Fuente: ETESA (2018).

¹¹ NOAA (1976) $ITH=0,8*TA + ((HR/100)*(TA-14,3)) + 46,4$. ITHaj 74<ITHaj<79 es alerta; ITHaj 79<ITHaj<84 es peligro de estrés.

Los límites de la zona termoneutral para los animales *Bos taurus* van de 0° a 25°C y de 10° a 27°C para los animales *Bos indicus* o Cebuínos (Bianca, 1965; Bavera y Berget, 2003; Esquivel-Villalobos, 2012). Bianca (1965) considera aceptable 70% de humedad



©2020 Ciencia Agropecuaria es desarrollada en el Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá, bajo una licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional. Para más información escribir a cienciaagropecuaria@idiap.gob.pa

relativa, siempre y cuando la temperatura ambiental esté dentro de la zona termoneutral. Durante los meses de época seca (enero a marzo) se presentó una la temperatura ambiental por encima del límite superior de temperatura de la zona termoneutral que soportan los *Bos indicus*, pero para los *Bos taurus* todos los meses del año estuvieron por encima de la zona termoneutral, a pesar de que la humedad relativa estuvo por debajo del 70% y la velocidad del viento era mayor (Cuadro 1). Esto es indicativo que durante este período ambas especies de bovinos pudieron estar propensas a un estrés calórico.

Fuente de datos: Desde 2004 el IDIAP inicio una actividad de investigación para evaluar la raza Wagyu (*Bos taurus*) en cruzamiento con el Brahman (*Bos indicus*) de la Estación Experimental de Gualaca “Carlos M. Ortega” enfocado a mejorar la calidad de la canal y carne para suplir la demanda de mercados más exigentes. Los datos provienen de los animales nacidos en el período 2008 a 2014. Los meses de nacimiento se agruparon en dos épocas: época seca (ESC) y época lluviosa (ELL). Así los meses de enero, febrero y marzo se agruparon en ESC y los meses de abril, mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre se agruparon en ELL, tomando como límite el nivel de precipitación.

Grupos raciales (GR): Los sementales (GRP) fueron agrupados en Brahman (BRH) y Wagyu (WG). Los grupos raciales de las madres (GRM) fueron: CRUCE (50% *Bos taurus* raza terminal + 25% *Bos taurus* maternal + 25% Brahman), WG25 (25% Wagyu + 75% Brahman); WG50 (50% Wagyu + 25% *Bos taurus* + 25% Brahman); WGF₁ (50% Wagyu + 50% Brahman); WG (100% Wagyu) y BRH (Brahman). Por otra parte, los grupos genéticos del ternero (GRANI) fueron: WG25 (25% Wagyu + 75% Brahman); WG50 (50% Wagyu + 25% *Bos taurus* + 25% Brahman); WG75 (75% Wagyu + 25% Brahman) y WGF₁ (50%Wagyu + 50% Brahman). Este GR, GRANI fue utilizado en el análisis de regresión de las TMPC con el Índice Temperatura-Humedad (ITH).

Base de alimentación: Los animales desde el nacimiento hasta los siete meses de edad estuvieron con las madres. En este período, los terneros al convertirse en rumiantes pastorearon principalmente el pasto *Brachiaria humidicola* con acceso a libre consumo de sal mineralizada. La *Brachiaria humidicola* se manejó en un pastoreo rotacional de 3 a 4 días de pastoreo y 21 a 28 días de descanso. La pastura fue fertilizada a razón de 60, 30



y 20 kg/ha/año de N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente, de acuerdo a Pinzón y Montenegro (2008). En la época seca los animales en estudio fueron suplementados con ensilado de maíz y caña de azúcar picada (*Saccharum officinarum*) y sal proteinada, los cuales se ajustaron para suplir los requerimientos nutricionales de los animales.

Salud del hato: Los animales se desarrollaron bajo un régimen sanitario que consistió en el control y prevención de endoparásitos y ectoparásitos; además fueron vacunados, en su edad temprana, contra Pierna Negra, Septicemia Hemorrágica y Carbunco Sintomático. También fueron sometidos a tratamientos contra verrugas y ataques de vampiros. La prueba de Leucosis se realizaba anualmente y los animales positivos eran eliminados; además el hato estaba libre de Brucelosis.

Períodos de evaluación: Los animales fueron evaluados en siete fechas tomadas al azar (PER): 13 de junio de 2013; 6 de agosto de 2013; 19 de septiembre de 2013; 4 de febrero de 2014; 6 de mayo de 2014; 21 de julio de 2014 y 16 de diciembre de 2014.

Grosor de la piel (GP): Se utilizó un pie de rey para medir en milímetro la piel doblada a la altura del lomo y luego se dividió entre dos.

Variables dependientes: Para el presente estudio se tomaron en cuenta las siguientes variables dependientes.

a.- Variables del estado calórico corporal externo (ECC): Las variables para medir el estado calórico corporal de los animales (Figura 1) fueron:

a.1.- *Temperatura en el lomo (TL):* es la temperatura (°C) tomada en la capa a la altura de la 12^a costilla.

a.2.- *Temperatura en la cabeza (TC):* es la temperatura (°C) tomada en la capa de la cabeza (entre las dos orejas, al frente de la testuz).

a.3.- *Temperatura en las costillas (TCS):* es la temperatura (°C) tomada en la capa de la parte media de la 12^a costilla.



a.4.- *Temperatura en el vientre (TV)*: es la temperatura (°C) tomada en la capa cerca al ombligo.

a.5.- *Temperatura en la frente (TF)*: es la temperatura (°C) tomada en la capa del centro de la frente.

b.- **Indicadores del estado calórico corporal (ECC)**: con la metodología descrita por Araúz et al., (2010) se estimaron los siguientes indicadores del estado calórico corporal:

b.1.- *Capacidad calórica corporal (CCC)*: es definida por el peso vivo (kg) asumiendo un contenido de agua corporal (65%, calor específico de 1,0 kcal/kg °C) y de materia seca corporal (35%, calor específico de 0,4 kcal/kg °C). Este indicador se expresa en kcal/°C.

$CCC_{kcal/°C} = [(Agua, kg)(1,0, kcal/kg °C)] + [(Materia Seca, kg)(0,4, kcal/kg °C)]$; (Hafez y Dyer, 1972; Curtis, 1983).

b.2.- *Sobrecarga calórica corporal (SCC)*: considera la CCC y la diferencia entre la temperatura rectal alterada y la temperatura rectal eutérmica. Este indicador se expresa en kcal.

$SCC_{kcal} = (T_{Rectal alterada} - T_{Rectal eutérmica}) (CCC_{kcal/°C})$; (Araúz et al., 2010).

b.3.- *Presión calórica corporal (PCC)*: considera la SCC y el peso corporal metabólico (PC kg^{0,75}). Este indicador se expresa en kcal/Kg^{0,75}.

$PCC_{kcal/kg^{0,75}} = (SCC)(1/PC kg^{0,75})$; (Curtis, 1983; Araúz et al., 2010).

c.- **Índices de tolerancia al calor (ITC)**: Singh et al., (2013) recomiendan los siguientes índices de tolerancia al calor para el ganado bovino y búfalos. Estos índices se trabajaron en grados Fahrenheit y luego transformados en grados Celsius.

c.1.- *Índice de la Prueba Iberia de Tolerancia al Calor (PITC)*: el animal se expone al sol por un período no menor de tres horas y se registra la temperatura rectar (TR) y frecuencia respiratoria (FR). Se calcula en grados Fahrenheit (Rhoad, 1944):

$PITC = 100 - 10(TR-101)$



Donde:

101°F es la temperatura promedio del ganado bovino.

Si el valor calculado de la prueba es más cerca de 100 entonces el animal es más tolerante al calor que otros. Cuando dos animales tienen el mismo PITC, el que tiene más alta FR es menos tolerante al calor.

c.2.- *Índice de la Prueba de Tolerancia al Calor de Gaalaas (PTCG)*: es similar al PITC y se calcula mediante la siguiente fórmula en grados Fahrenheit (Gaalaas, 1947):

$$PTCG_{°F} = 100 - 14(TR - 101)$$

Si el valor calculado es muy cercano a 100, el animal es más tolerante al calor.

c.3.- *Coefficiente de Adaptabilidad de Benezra (CAB)*: está basado en la TR y FR después que el animal fue expuesto de 4 a 7 horas al sol (Benezra, 1954).

$$CAB = TR/38,33 + FR/23$$

Donde:

TR es la temperatura rectal en °C.

FR es la frecuencia respiratoria en inspiraciones por minuto.

38,33 es la TR normal del bovino en °C.

23 es la FR normal del bovino.

Un valor calculado de 2,0, muestra una máxima adaptabilidad y valores sobre 2,0 indica un estado de más baja adaptabilidad.

Índice de Temperatura-Humedad (ITH): Este índice se calculó con los datos de la temperatura ambiental (TAMB), medida con un termómetro de bulbo seco y humedad relativa (HR), medida con un higrómetro. Las TAMB y HR se midieron para cada animal al momento de tomar la información corporal relacionada al estudio medir a través de un higrómetro digital con un termómetro integrado. La fórmula de ITH fue tomada de Mader et al., (2005) y Dikman y Hansen (2009) sin ajustarla por la velocidad del viento y radiación solar por no contarse con la información de ETESA (2018).

$$ITH = (0,8 * T_{AMB}) + [(RH/100) * (T_{AMB} - 14,4)] + 46,4$$



Donde:

ITH = índice de temperatura-humedad relativa.

TAMB = temperatura ambiental tomada con termómetro a bulbo seco.

HR = porcentaje de la humedad relativa.



Figura 1. Zonas en el animal para medir Temperatura en la Cabeza (TC), Temperatura en la Frente (TF), Temperatura en el Lomo (TL), Temperatura en el Vientre (TV), Temperatura en las Costillas (TCS).

Análisis de varianza de los datos: La información colectada (TL, TC, TCS, TV, TF, GP, CCC, SCC, PCC, PITC, PTCG y CAB) se analizó mediante un modelo lineal mixto anidado. Este procedimiento está basado en determinaciones probabilísticas máximas o restringidas de modelos lineales estadísticos que contemplan términos fijos y aleatorios. También se consideró ajustar por los “grados de libertad efectivos” con la técnica de Satterthwaite (1946) al considerar que las muestras son independientes pero desigual varianza muestral. Al considerar la alta variabilidad entre algunas variables dependientes, se seleccionó un nivel de alfa menor al 5% ($\alpha \leq 0,05$).

El modelo mixto en el lenguaje de matrices fue el siguiente:

$$\hat{Y} = X\beta + ZU + \varepsilon$$

Donde:

\hat{Y} = vector de respuesta.



©2020 Ciencia Agropecuaria es desarrollada en el Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá, bajo una licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional. Para más información escribir a cienciaagropecuaria@idiap.gob.pa

X = diseño de matriz conocida para efectos fijos (GRP, efecto del grupo racial del padre y GRM(GRP), efecto del grupo racial de la madre anidado en el grupo racial del padre).

β = vector de parámetros de efectos fijos desconocidos.

Z = diseño de matriz conocida para efectos aleatorio (YR, efecto del año de nacimiento del animal y EP(YR), efecto de la época (época seca y época lluviosa) anidada en el año de nacimiento del animal).

U = vector de parámetros de efectos aleatorios desconocidos.

ε = vector de errores aleatorios (normal e independientemente distribuidos).

En este modelo estadístico se hizo mayor énfasis en los efectos fijos [GRP y GRM(GRP)]. El efecto del sexo del ternero fue incluido en el análisis, pero al no resultar significativo ($P > 0,05$) fue eliminado.

En este procedimiento para modelos mixtos, se utilizó la opción de Máxima Verosimilitud Restringida (REML) que invoca la estimación por máxima verosimilitud restringida (Elzo, 1994; Henderson, 1984). REML calcula correctamente los componentes de varianza de los efectos fijos y aleatorios con datos desbalanceados.

Análisis de regresión de los datos: Las variables dependientes relacionadas a las temperaturas corporales e indicadores de tolerancia al calor (TL, TC, TCS, TV, TF, CCC, SCC, PCC, PITC, PTCG y CAB) fueron analizadas mediante la técnica de regresión con el ITH utilizando un modelo lineal de regresión pasando por el origen (Draper y Smith, 1981). Este análisis se realizó por grupo racial (GRANI) del animal.

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

Donde:

\hat{Y}_{ij} = es la variable dependiente del j-ésimo animal, del i-ésimo grupo racial.

β_I = es el coeficiente parcial de regresión.

X_i = es la variable independiente ITH o GP (Índice Temperatura-Humedad Relativa o Grosor de la Piel) al momento de tomar la variable dependiente del i-ésimo grupo racial.

ε_{ijk} = es el error aleatorio (NID).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los cuadrados medios del ANOVA muestran que los efectos YR fueron significativos ($P < 0,05$) en TL, altamente significativo ($P < 0,01$) en TC, pero no significativo



($P > 0,05$) en TCS, TV, TF y GP. Sin embargo, EP(YR) fue solamente significativo ($P < 0,05$) en TC. Los coeficientes de variación para las temperaturas fluctuaron de 4,9 a 7,2%, pero en GP alcanzó los 25,2% (Cuadro 2).

Cuadro 2. Cuadrados medios de los efectos aleatorios y fijos para las variables relacionadas a TL, TC, TCS, TV, TF y GP.

FV	CM										
	gln	gld	TL	gld	TC	gld	TCS	TV	TF	gld	GP
YR	6		4,334*		4,010**		0,961 ^{ns}	4,589 ^{ns}	4,144 ^{ns}		6,375 ^{ns}
EP(YR)	4		1,731 ^{ns}		2,969*		1,581 ^{ns}	2,836 ^{ns}	6,678 ^{ns}		2,292 ^{ns}
GRP	1	139	8,480 ^{ns}	129	2,950 ^{ns}	144	1,042 ^{ns}	0,5342 ^{ns}	4,089 ^{ns}	138	0,748 ^{ns}
GRM	4	112	7,807 ^{ns}	74,8	6,2210 ^{ns}	144	1,559 ^{ns}	3,7739 ^{ns}	6,423 ^{ns}	129	1,448 ^{ns}
(GRP)			3,311		3,865		3,128				1,614
ERROR											
CV, %			4,9		5,4		5,0	6,6	7,2		25,2

TL=temperatura en el lomo; TC=temperatura en la cabeza; TCS=temperatura en las costillas; TV=temperatura en el vientre; TF=temperatura en la frente; GP=grosor de la piel. YR=año; EP=época del año; GRP=grupo racial del padre; GRM=grupo racial de la madre. CV = Coeficiente de Variación. gln=grados de libertad del numerador; gld=grados de libertad del denominador. ** $P < 0,01$; * $P < 0,05$; ns = no significativo.

El efecto de año resultó altamente significativo ($P < 0,01$) en TC y GP, significativo ($P < 0,05$) para TL, pero no significativo ($P > 0,05$) en las demás variables (TCS, TV y TF). Un efecto significativo ($P < 0,05$) se detectó en EP(YR) solamente para TC, no así para las otras variables. Araúz et al., (2010) señalan que, durante la época seca se producen en el bovino alteraciones fisiológicas como el aumento en la producción calórica corporal, frecuencia respiratoria, frecuencia cardíaca y en los mecanismos de liberación de calor pasivos tal como sustentan Guerra et al., 2004; Guerra et al., 2008; Guerra, 2012. Ninguno de los efectos fijos de GRP y GRM(GRP) resultaron significativos ($P > 0,05$) en las variables del Cuadro 2, aun con el ajuste de los grados de libertad de acuerdo con Satterthwaite (1946). En otras palabras, no se mostró variabilidad significativa en función del aporte genético de los padres (Brahman *versus* Wagyu), ni entre la variabilidad de hembras bovinas Brahman y sus cruces con Wagyu.

La TL (Cuadro 3) mostró una tendencia no significativa ($P > 0,05$) de un grado (1°C) mayor en el GRP; WG; $0,6^{\circ}\text{C}$ en TC, y $0,6^{\circ}\text{C}$ menor en TCS, aunque esta diferencia no resultó significativa ($P > 0,05$). Por otra parte, cuando el GRP fue BRH, los animales del GRM, WGF₁ presentaron igualmente tendencias no significativas ($P > 0,05$) de $0,6^{\circ}\text{C}$ y $0,2^{\circ}\text{C}$ mayor TL y TC, pero $0,2^{\circ}\text{C}$ menor TCS que los animales WG50.



Cuadro 3. Medias ajustadas por mínimos cuadrado para TL, TC Y TCS por grupo racial del padre y madre del animal.

Grupo Racial Padre	Grupo Racial de la Madre	MEDIAS AJUSTADAS (\pm EE) ¹		
		TL (°C)	TC (°C)	TCS (°C)
BRH		36,8 \pm 1,0 ^a	36,0 \pm 0,9 ^a	36,3 \pm 0,5 ^a
WG		37,8 \pm 0,6 ^a	36,6 \pm 0,5 ^a	35,9 \pm 0,3 ^a
BRH	WG50	36,5 \pm 0,9 ^a	35,9 \pm 1,0 ^a	36,4 \pm 0,9 ^a
BRH	WGF ₁	37,1 \pm 0,8 ^a	36,1 \pm 0,9 ^a	36,2 \pm 0,8 ^a
WG	BRH	37,2 \pm 0,4 ^b	35,9 \pm 0,4 ^b	36,2 \pm 0,4 ^a
WG	CRUCE	37,8 \pm 0,8 ^{ab}	36,3 \pm 0,6 ^{ab}	35,5 \pm 0,5 ^a
WG	WG50	37,3 \pm 0,8 ^b	36,6 \pm 0,8 ^{ab}	36,0 \pm 0,8 ^a
WG	WGF ₁	38,8 \pm 0,6 ^a	37,4 \pm 0,6 ^a	36,0 \pm 0,6 ^a

TL=temperatura en el lomo; TC=temperatura en la cabeza; TCS=temperatura en la costilla. BRH=Brahman, WG=Wagyu, CRUCE=50% *Bos taurus* raza terminal + 25% *Bos taurus* raza maternal + 25% Brahman. WG50=50% Wagyu +25% *Bos taurus* +25% Brahman, WGF₁=50% Wagyu +50% Brahman.

¹Media ajustada con la misma letra entre el grupo racial de padre y entre grupo racial de la madre dentro del grupo racial del padre no difieren entre sí al 5% de probabilidad estadística.

Las mayores TL, TC y TCS se registraron para los animales del GRM WGF₁ y padre WG (38,8 \pm 0,6 y 37,4 \pm 0,6, respectivamente), pero TL solo fue mayor (P<0,05) para la de los animales de padre WG con GRM, BRH y WG50, y estos a su vez no fueron diferentes del GRM, CRUCE. Para la TC se dio un fenómeno similar, cuando los animales del GRM fue WGF₁ y padres WG, mostraron temperaturas superiores (P<0,05) a los del GRM, BRH solamente (Cuadro 3). Animales de GRP, WG los rangos de TL y TC fueron de 37,2 \pm 0,4 a 38,8 \pm 0,6°C y de 35,9 \pm 0,4 a 37,4 \pm 0,6°C cuando el GRM fue WGF₁ en ambas variables. TCS fue mayor (36,2 \pm 0,4°C) en animales del GRP, WG y GRM, BRH, aunque no difirió estadísticamente (P>0,05) de los otros grupos raciales. Con GRP, WG, la TCS osciló de 36,2 \pm 0,4°C (en GRM, BRH) a 35,5 \pm 0,5°C (en GRM, CRUCE).

El efecto de GRP no mostró diferencias significativas sobre las variables TF, TV y GP (P>0,05), ni cuando el GRP fue BRH y el GRM, WG50 y WGF₁, según se muestra en el Cuadro 4. Cuando el GRP fue WG, la mayor TF se encontró en animales cuyas GRM fueron WGF₁ con 36,2°C y solamente difirió estadísticamente (P<0,05) del GRM, BRH (35,1°C).

No hubo efectos significativos (P>0,05) del GRM en la TV y GP cuando el GRP fue WG (Cuadro 4). El rango de TV fue de 34,7 \pm 0,2 en el GRM, BRH a 35,5 \pm 0,5°C en el GRM,



WGF₁, mientras que el rango de GP fue de 4,5±0,6 en el GRM, CRUCE a 5,2±0,7 mm en el GRM, WGF₁.

Cuadro 4. Medias ajustadas por mínimos cuadrado para TF, TV Y GP por grupo racial del padre y madre del animal.

Grupo Racial Padre	Grupo Racial de la Madre	MEDIAS AJUSTADAS (±EE) ¹		
		TF (°C)	TV (°C)	GP (mm)
BRH		35,0±0,7 ^a	35,2±0,7 ^a	5,1±0,7 ^a
WG		35,5±0,3 ^a	34,9±0,3 ^a	4,9±0,6 ^a
BRH	WG50	34,5±1,1 ^a	34,9±1,0 ^a	4,8±0,8 ^a
BRH	WGF ₁	35,6±0,9 ^a	35,6±0,9 ^a	5,4±0,7 ^a
WG	BRH	35,1±0,3 ^b	34,7±0,2 ^a	4,9±0,6 ^a
WG	CRUCE	35,2±0,6 ^{ab}	34,1±0,5 ^a	4,5±0,6 ^a
WG	WG50	35,6±0,9 ^{ab}	35,4±0,8 ^a	5,2±0,7 ^a
WG	WGF ₁	36,2±0,5 ^a	35,5±0,5 ^a	4,8±0,6 ^a

TF = temperatura en la frente; TV = temperatura en el vientre; GP= grosor de la piel. BRH= Brahman, WG= Wagyu, CRUCE=50% *Bos taurus* raza terminal +25% *Bos taurus* raza maternal +25% Brahman, WG50= 50Wagyu +25% *Bos taurus* +25% Brahman, WGF₁=50% Wagyu + 50% Brahman,

¹Media ajustada con la misma letra entre el grupo racial de padre y entre grupo racial de la madre dentro del grupo racial del padre no difieren entre sí al 5% de probabilidad estadística.

La importancia del GP es señalada por McManus et al., (2010) citado por Esquivel-Villalobos (2012) quienes indican que la capacidad de termorregulación del bovino depende de la interacción entre factores fisiológicos y anatómicos. Entre estos se mencionan: propiedades de la piel y pelo, tasa de sudoración, capacidad respiratoria, aislamiento de tejidos, superficie expuesta por unidad de peso, relación entre perfiles endocrinos y producción de calor metabólico. Otros investigadores como Bavera y Berguet (2003) y Esquivel-Villalobos (2012) sostienen que la convección facilita la pérdida de calor (interno y externo) del animal hacia la atmósfera. Añaden que la sangre moviliza el calor generado por los órganos internos y lo lleva hacia la piel, lugar donde se eliminan. La pérdida de calor externo es facilitada por el movimiento del aire que rodea al animal.

Investigadores como de Souza et al., (2007) utilizaron la variable temperatura superficial como el promedio de las temperaturas tomadas en la frente, pescuezo, costado, lomo, cola, vientre y canilla en el ganado Sindhi con los siguientes resultados: 29,1 y 32,1°C durante la mañana en la época seca *versus* lluviosa (P<0,05) y 31,8 y 33,1°C durante la tarde, comparando las mismas épocas del año (P<0,05). Sin fines de comparaciones directas e independiente de la época del año, en este estudio, los promedios de TL, TC,



TCS TF y TV (temperatura superficial) mostraron un rango de $35,9 \pm 0,3^{\circ}\text{C}$ en animales de GRP, BRH a $36,1 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ en animales de GRP, WG. Cuando el GRP fue BRH y los GRM fueron WG50 y WGF₁, el rango varió de $35,6 \pm 0,4^{\circ}\text{C}$ a $36,1 \pm 0,3^{\circ}\text{C}$, respectivamente. Por otra parte, con el GRP, WG, el rango cambió de $35,8 \pm 0,4$ a $36,8 \pm 0,6^{\circ}\text{C}$ cuando el GRM fue CRUCE y WGF₁, respectivamente. Las cifras de este estudio están muy por encima a las reportadas por de Souza et al., (2007). De acuerdo con la FCV-UNNE (2011), la superficie corporal es uno de los factores que contribuyen a la disipación de calor interno del bovino a través de la radiación y convección. Agregan que el brazuelo¹² es el área del cuerpo del bovino que tiene mayor evaporación, seguido del área de la cruz, paleta, costillar y lomos y de menor evaporación la papada. Sostienen que la intensidad de la evaporación como mecanismo de termorregulación se correlaciona con la densidad y tamaño de las glándulas sudoríparas y que las razas adaptadas son las que poseen estas características.

El bovino tiene una densidad calórica por unidad de masa que varía entre el núcleo corporal y la región epidérmica conocido como homeotermia regional (Araúz et al., 2010). Siendo el núcleo corporal la zona de mayor densidad calórica y el área cercana a la piel contiene la menor temperatura. De allí que los valores TL, TC, TCS, TF y TV poseen menor temperatura que la TR (rango de $39,2 \pm 0,2$ a $40,0 \pm 0,4^{\circ}\text{C}$) citado por Guerra-Martínez et al., (2019). Brown-Brandl (2018) sostiene que el estrés calórico resulta de un desbalance en la homeostasis de los animales y tiene ambos componentes fisiológicos y termodinámicos. Además, Blaxter (1989) describe el procesos de homeostasis en un animal como $HP - HL = \Delta T_{\text{corporal}} \times c_p \times m$, donde HP es la producción de calor, HL es la pérdida de calor, $\Delta T_{\text{corporal}}$ es el cambio de temperatura corporal ($^{\circ}\text{K}$), c_p es el calor específico de todo el animal (3,47 kjoule o 0,83 kcal/(kg $^{\circ}\text{K}$) y m es la masa del animal (kg).

En este estudio el rango de ITH no ajustado varió de 78 a 87 en la EEG-CMO-IDIAP a 100 msnm. Sin embargo, Araúz et al., (2010) encontraron un rango de ITH no ajustado de 80,0 en Bijao-Volcán (Chiriquí, Panamá) a 1064 msnm de 85,2 en Chiriquí (Chiriquí, Panamá) a 45 msnm.

¹² Brazuelo u osobuco es la parte superior del morcillo delantero (arriba del codo) o garrón. Es el conjunto de piezas de carne que cubren el exterior del húmero o parte de la espaldilla. <https://todocarne.es/brazuelo-parte-de-la-espaldilla> (consultado 15 jul. 2019).



La mayor tasa de cambio en TL por unidad de cambio en ITH se detectó en animales WG50 con $0,468 \pm 0,004^\circ\text{C}$ a medida que aumentaba el ITH, y el menor cambio se registró con animales WG25 con $0,449 \pm 0,004^\circ\text{C}$, aunque entre los GRANI no se detectaron efectos significativos ($P > 0,05$) de acuerdo con las pruebas de homogeneidad de pendientes (Figura 2).

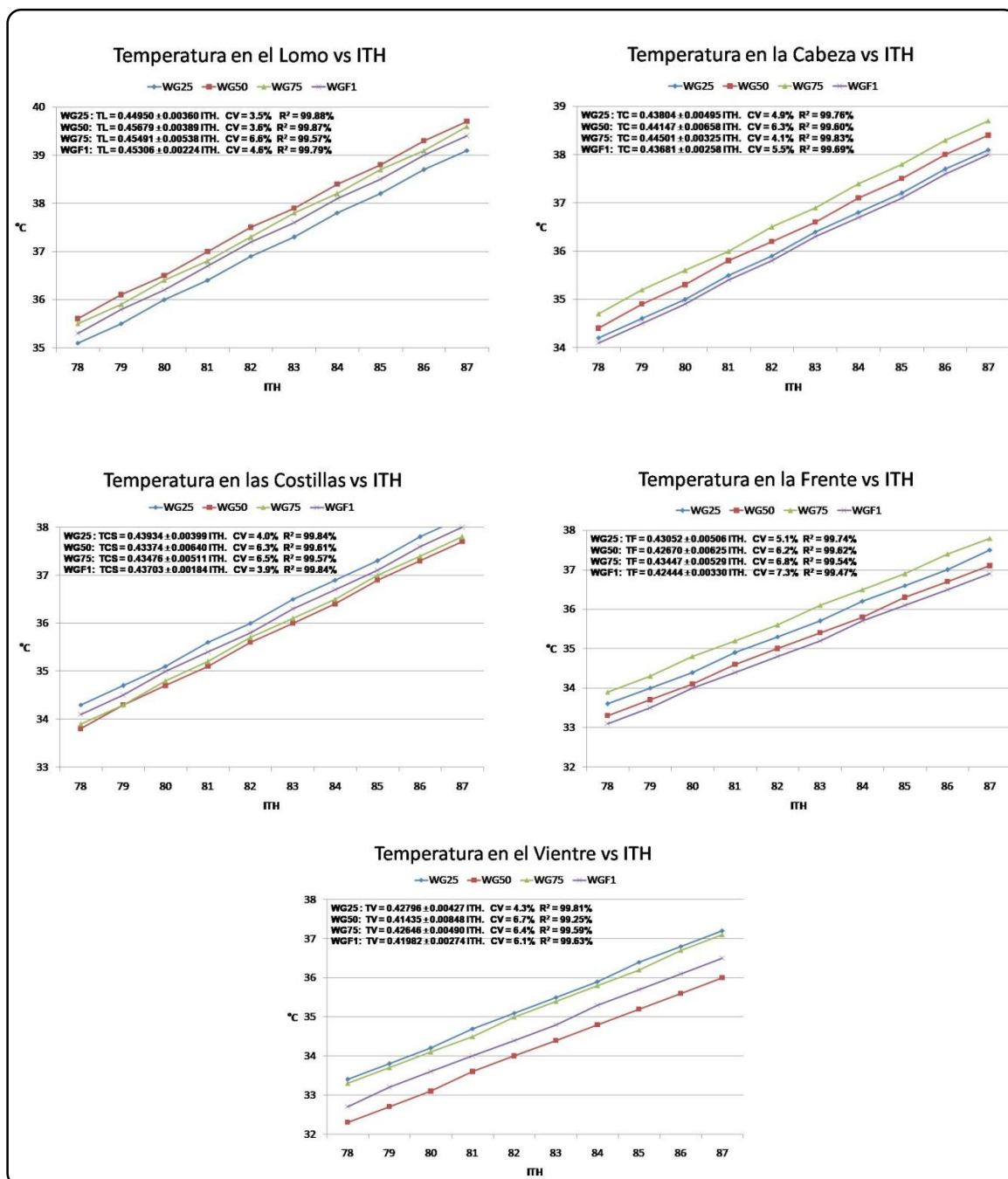


Figura 2. Relación entre las temperaturas del lomo (TL), cabeza (TC), costillas (TCS), frente (TF) y vientre (TV) con el Índice Temperatura-Humedad en los GRANI.



©2020 Ciencia Agropecuaria es desarrollada en el Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá, bajo una licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional. Para más información escribir a cienciaagropecuaria@idiap.gob.pa

El mayor cambio de TC por unidad de ITH (Figura 2) se registró en animales WG75 ($0,445\pm 0,003^{\circ}\text{C}$), mientras que el menor cambio se encontró en animales WGF₁ ($0,437\pm 0,003^{\circ}\text{C}$). Por otro lado, los animales WG25 mostraron mayor cambio en TCS por unidad de cambio en ITH ($0,439\pm 0,004^{\circ}\text{C}$) y menor cambio en animales WG50 ($0,434\pm 0,006^{\circ}\text{C}$). Los animales WG75 registraron el mayor cambio en TF por unidad de ITH ($0,435\pm 0,005^{\circ}\text{C}$) y un menor cambio en los animales WGF₁ ($0,424\pm 0,003^{\circ}\text{C}$). Nuevamente, los animales WG25 mostraron mayor cambio en TV por unidad de ITH con $0,428\pm 0,004^{\circ}\text{C}$ y los animales WG50 mostraron el menor cambio ($0,414\pm 0,008^{\circ}\text{C}$). Lo que también muestra la Figura 2 es que en todos los sitios donde se realizaron mediciones de temperatura y fueron relacionadas con el ITH, sus pendientes fueron similares y no significativas ($P>0,05$), lo que indica que todas las temperaturas corporales estudiadas respondieron de acuerdo con las variaciones en el ITH.

Mientras que no existe un GRANI que se mantuvo por encima o por debajo del resto, lo que si se observó es que algunos cambiaron posiciones de las curvas según el área estudiada, pero sus tasas de cambio fueron muy similares (Figura 2).

La temperatura corporal es diferente de acuerdo con el lugar donde se mida y la temperatura ambiental, la cual está correlacionada con el ITH (Blaxter, 1964). También, encontró temperaturas en las siguientes partes del cuerpo: 37,1; 36,5; 37,3; 37,6; 37,7; 38,0 y 38,5°C en cola, pie, pierna, muslo, cruz, pecho y oreja cuando la temperatura ambiental fue 35°C y de 31,5; 29,0; 32,8; 33,1; 34,8; 36,5 y 26,5°C con la temperatura ambiental fue de 20°C (Blaxter, 1964). Mientras que Araúz et al., (2010) sostienen que la alteración positiva de la heterotermia regional conduce al incremento de la temperatura tegumentaria por su relación con una tasa de aumento determinada por su ubicación, actividad metabólica, grado de vascularización, perfusión sanguínea local y distancia con respecto al núcleo térmico corporal.

El efecto de YR resultó altamente significativo ($P<0,01$) en CCC, SCC y PCC, pero no significativo ($P>0,05$) en los indicadores de adaptabilidad (PITC, PTCG y CAB) Cuadro 1. Un efecto altamente significativo ($P<0,01$) se detectó en EP(YR) para CCC, no así para las otras variables del Cuadro 5. Los efectos fijos de GRP y GRM(GRP) no resultaron ser significativos ($P>0,05$) en las variables CCC, SCC y PCC (Cuadro 5), aun



con el ajuste de los grados de libertad de acuerdo con Satterthwaite (1946). Los CV fueron moderados con valores de 18,5%, 29,5% y 26,7%, respectivamente (Cuadro 5).

Cuadro 5. Cuadrado medio de los efectos aleatorios y fijos para las variables relacionadas a CCC, SCC, PCC, PITC, PTCG y CAB.

FV	CUADRADOS MEDIOS										
	gl _n	gl _d	CCC	gl _d	SCC	gl _d	PCC	gl _d	PITC	PTC G	CAB
YR	6		78274,5		187015,		10,91		300,3 ⁿ	588,6	0,62
EP(YR)	4		**		0**		**		s	ns	ns
GRP	1	18	17682,8	142	85880,4	13	9,43 ⁿ	144	257,0 ⁿ	503,8	0,22
GRM(GRP)	4	1	**	137	ns	0	s	144	s	ns	ns
ERROR		18	1631,5 ^{ns}		14492,4	84,	1,09 ⁿ				0,01
		2	1678,5 ^{ns}		ns	4	s		20,3 ^{ns}	39,7 ⁿ	ns
			12089,0		37954,2		4,75 ⁿ		148,9 ⁿ	s	0,41
					ns		s		s	291,8	ns
					52388,0		7,16		205,4	ns	0,74
										402,3	
CV, %			49,8		61,4				18,5	29,5	26,7
							58,6				

CCC=capacidad calórica corporal; SCC=sobrecarga calórica corporal; PCC=potencial calórico corporal; PITC=Prueba Iberia de Tolerancia al Calor; PTCG=Prueba de Tolerancia al Calor de Gaalaas (1947); CAB=Coefficiente de Adaptabilidad de Benezra (1954). YR=año; EP=época del año; GRP=grupo racial del padre; GRM=grupo racial de la madre. CV = Coeficiente de Variación. gl_n=grados de libertad del numerador; gl_d=grados de libertad del denominador. ** P<0,01; *P<0,05; ns = no significativo.

El GRP WG mostró una tendencia a menores CCC (5,8%), SCC (12,0%) y PCC (11,7%) con respecto al GRP BRH, pero estas diferencias no resultaron ser significativas desde el punto de vista estadístico (P>0,05). Cuando el GRP fue BRH, los animales del GRM, WGF₁ registraron, sin ser significativos, un 3,7% mayor CCC, un 33,0% menor SCC y un 30,4% menor PCC con respecto al GRM, WG50 (Cuadro 6).

Tomando en cuenta el GRP WG, tampoco se registraron diferencias significativas en CCC y SCC indistintamente del GRM, no obstante se registraron tendencias de mayores niveles de CCC (203,4±36,4 kcal/°C) del GRM, BRH en 7,5, 12,3 y 10,2% a los animales de los grupos CRUCE, WG50 y WGF₁, respectivamente (Cuadro 6). En cuanto a la SCC, la mayor se estimó en GRM CRUCE con 366,7 kcal, superando a GRM como BRH, WG50 y WGF₁ en 2,1; 36,1 y 35,8%, respectivamente, lo que no fue significativo como se indicó anteriormente. Para el caso de PCC, los mayores valores se registraron en GRM CRUCE con 5,06 kcal/kg^{0,75}, seguido por BRH (4,57 kcal/Kg^{0,75}), WG50 (4,09 kcal/kg^{0,75}) y WGF₁ (3,53 kcal/kg^{0,75}).



Cuadro 6. Medias ajustadas por mínimos cuadrado para características de estado calórico por grupo racial del padre y madre del animal.

Grupo Racial Padre	Grupo Racial de la Madre	MEDIAS AJUSTADAS (\pm EE) ¹		
		CCC, kcal/°C	SCC, kcal	PCC, kcal/Kg ^{0,75}
BRH		201,2 \pm 46,2 ^a	359,4 \pm 88,6 ^a	4,88 \pm 0,81 ^a
WG		189,5 \pm 35,7 ^a	316,4 \pm 57,0 ^a	4,31 \pm 0,35 ^a
BRH	WG50	197,6 \pm 58,5 ^a	430,6 \pm 121,1 ^a	5,76 \pm 1,23 ^a
BRH	WGF1	204,9 \pm 52,6 ^a	288,3 \pm 108,2 ^a	4,01 \pm 1,05 ^a
WG	BRH	203,4 \pm 36,4 ^a	359,1 \pm 58,4 ^a	4,57 \pm 0,31 ^{ab}
WG	CRUCE	189,2 \pm 40,7 ^a	366,7 \pm 73,7 ^a	5,06 \pm 0,65 ^a
WG	WG50	181,1 \pm 49,9 ^a	269,4 \pm 99,8 ^a	4,09 \pm 0,97 ^{ab}
WG	WGF1	184,5 \pm 39,6 ^a	270,1 \pm 72,2 ^a	3,53 \pm 0,58 ^{ab}

CCC=capacidad calórica corporal; SCC=sobrecarga calórica corporal; PCC=potencial calórico corporal. BRH=Brahman, CRUCE=50% *Bos taurus* raza terminal + 25% *Bos taurus* maternal + 25% Brahman, WG=Wagyu, WG50=50% Wagyu +25% *Bos taurus* + 25% Brahman, WGF₁=50% Wagyu + 50% Brahman.

¹Media ajustada con la misma letra entre el grupo racial de padre y entre grupo racial de la madre dentro del grupo racial del padre difieren entre sí al 5% de probabilidad estadística.

Ni los GRP, ni GRM influyeron en los valores de PITC y PTCG, los cuales estuvieron por debajo del valor de 100 y no resultaron con diferencias significativas ($P>0,05$). Para el caso de PITC y PTCG, el GRP WG tuvo 2,9 y 4,1 más que el BRH, respectivamente. Con el índice CAB, el GRP WG fue 2,5% más alto que el BRH, indicando baja tolerancia al calor al considerar los otros indicadores. Sin embargo, con el GRP WG los valores de PITC y PTCG fueron más cercanos a 100, pero más alejado de 2,00 en el caso del CAB (Cuadro 7).

Cuando el GRP fue BRH, los valores más cercanos a 100 en PITC y PTCG fueron en el GRM, WGF1, pero el CAB fue mucho mayor a 2,00 (Cuadro 7). Esta misma tendencia se observó en el GRM, WGF1 cuyos valores de PITC y PTCG fueron más cercanos a 100, pero el GRM, CRUCE presentó valores mucho más alto en el CAB. La progenie de GRP, BRH y WG, independientemente del GRM resultaron de baja adaptabilidad al ecosistema de Gualaca Bajo en los tres índices utilizados como indicadores de tolerancia al calor.

Estos indicadores de estrés calórico y tolerancia al calor corroboran lo señalado por Curtis (1983) y Young et al., (1989) que el medio ambiente físico influye sobre la tasa de presión calórica ambiental y ésta al mismo tiempo sobre la intensidad del estrés calórico con la consecuencia sobre la alteración de la actividad metabólica en los endotérmicos. Agregan que, al aumentar la presión calórica ambiental, ésta influye sobre la reacción



metabólica, los ajustes cardiovasculares y la termólisis en estrecha relación con el estado fisiológico, la producción leche y/o carne, la sensibilidad térmica y la tolerancia genética al estrés calórico.

Cuadro 7. Medias ajustadas por mínimos cuadrado para características de tolerancia calórica por grupo racial del padre y madre del animal.

Grupo Racial Padre	Grupo Racial de la Madre	MEDIAS AJUSTADAS (\pm EE) ¹		
		PITC	PTCG	CAB
BRH		73,8 \pm 4,2 ^a	63,4 \pm 5,9 ^a	3,24 \pm 0,25 ^a
WG		76,7 \pm 1,7 ^a	67,5 \pm 2,4 ^a	3,32 \pm 0,10 ^a
BRH	WG50	70,7 \pm 6,4 ^a	59,0 \pm 9,1 ^a	3,11 \pm 0,38 ^a
BRH	WGF1	76,9 \pm 5,4 ^a	67,7 \pm 7,6 ^a	3,37 \pm 0,33 ^a
WG	BRH	76,7 \pm 1,5 ^a	67,3 \pm 2,1 ^a	3,17 \pm 0,09 ^a
WG	CRUCE	72,7 \pm 3,4 ^a	61,8 \pm 4,7 ^a	5,56 \pm 0,20 ^a
WG	WG50	78,1 \pm 5,1 ^a	69,3 \pm 7,1 ^a	3,28 \pm 0,30 ^a
WG	WGF1	79,5 \pm 3,0 ^a	71,4 \pm 4,2 ^a	3,28 \pm 0,18 ^a

PITCA=Prueba Iberia de Tolerancia al Calor; PTCG=Prueba de Tolerancia al Calor de Gaalaas (1947); CAB=Coeficiente de Adaptabilidad de Benezra (1954). BRH=Brahman, CRUCE=50% *Bos taurus* raza terminal + 25% *Bos taurus* maternal + 25% Brahman, WG=Wagyu, WG50=50% Wagyu +25% *Bos taurus* + 25% Brahman, WGF1=50% Wagyu + 50% Brahman.

¹Media ajustada con la misma letra entre el grupo racial de padre y entre grupo racial de la madre dentro del grupo racial del padre difieren entre sí al 5% de probabilidad estadística.

Los animales de todos los grupos raciales evaluados se encontraron, en promedio, en estrés calórico lo cual indica que el animal utiliza el proceso circulatorio como el principal mecanismo de liberar calor del núcleo corporal hacia la superficie epidérmica, activando los procesos activos de pérdida calórica como la sudoración, evaporación, jadeo y la respiración forzada como indican Hansen y Arechiga (1999).

CONCLUSIONES

- Las variaciones entre los GRP y de los GRM(GRP) no resultaron ser estadísticamente significativas en las variables TMPC, ECC e ITC.
- Los mayores valores de TMPC se encontraron cuando el GRP fue WG y el GRM fue WGF1, pero con valores intermedios de TCS y GP.
- La tendencia entre ITH con las TMPC fue lineal pasando por el origen.



- Animales del GRP, WG y GRM, CRUCE mostraron mayor SCC y PCC, pero menor PITC y PTCG.
- En general, los resultados de los indicadores de tolerancia al calor mostraron no ser significativos entre los GRP y GRM(GRP), pero se demostró que existe una tendencia en todos los GR estudiados a mostrar estrés calórico, independientemente del YR y EP(YR).

BIBLIOGRAFÍA

- Alzina-López, A., J.C. Farfán-Escalante, E.R. Valencia-Heredia, y J. Yokoyama-Kano. 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.
- Araúz, E.E., A. Fuentes, y N. Méndez. 2010. Alteración diurna de la carga calórica corporal e interrelación de las temperaturas rectal y láctea en vacas cruzadas (6/8 *Bos taurus* x 2/8 *Bos indicus*) Pardo Suizo y Holstein bajo estrés calórico diurno durante la época seca en el clima tropical húmedo. *REDVET. Revista Electrónica Veterinaria* 11:1-36. <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n111110/html> (consultado 12 oct. 2018).
- Arias, R.A., T.L. Mader, y P.C. Escobar. 2008. Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado bovino de carne y leche. *Archivos de Medicina Veterinaria* 40:7-22.
- Bavera, G., y H. Berguet. 2003. Termorregulación corporal y ambientación. Clima y Ambiente, elementos y factores. <http://www.produccion-animal.com.ar> (consultado 23 ago. 2011).
- Benezra, M.V. 1954. A new index for measuring the adaptability of cattle to tropical conditions. *J. Anim. Sci.* 13:1015-1019.
- Bianca, W. 1965. Review of the progress of dairy science. Cattle in hot environment. *J. Dairy Sci.* 32:291-308.



- Biota Panamá. 2019. Los bosques de Panamá por zonas de vida. Información ecológica de los bosques de Panamá. <https://biota.wordpress.com/2008/02/28/los-bosques-de-panama-por-zona-de-vida/> (consultado 22 jul. 2019).
- Blaxter, K.L. 1989. Energy metabolism in animals and man. Cambridge University Press, Cambridge. UK.
- Blaxter, K.L. 1964. Metabolismo energético de los rumiantes. 1ª Edición. Acribia. Zaragoza, España.
- Brown-Brandl, T.M. 2018. Understanding heat stress in beef cattle. Revista Brasileira de Zootecnia. 47:1-9.
- Conrad, J.H. 1985. Feeding of farm animals in hot and cold environments. In: M.K. Yousef, editor, Stress physiology in livestock. Volume II Ungulates. CRC Press. Boca Raton, FL. p. 235-242.
- Curtis, S.E. 1983. Environmental management in animal agriculture. Iowa state University Press. Ames, Iowa. USA.
- Dash, S., A.K. Chakravarty, K. Sing, A. Upadhysy, M. Sing, and S. Yousuf. 2016. Effect of heat stress on reproductive performance of dairy cattle and buffalo: a review. Veterinary World. 9:235-244.
- Dikman, S., and P.J. Hansen. 2009. Is the temperature-humidity index the best indicator of heat stress in lactating dairy cows in a subtropical environment? J. Dairy Sci. 92:109-116.
- Draper, N.R., and H. Smith. 1981. Applied regression analysis. 2nd Edition. John Willey and Sons. New York.
- Elzo, M.A. 1994. Restricted maximum likelihood procedures for the estimation of additive and non-additive genetic variances and covariances in multibreed populations. J. Anim. Sci. 72:3055-3065.



Esquivel-Villalobos, C.M. 2012. La raza, el pelo y la piel en función del bienestar animal. Mundo Pecuario. VIII:73-85.

ETESA (Empresa de Transmisión Eléctrica, Sociedad Anónima). 2018. Hidrometeorología. Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A. www.hidromet.com.pa/clima_historicos.php (consultado 15 ago. 2018).

FCV-UNNE (Facultad de Ciencias Veterinarias-Universidad Nacional del Nordeste). 2011. Introducción a la producción animal. Unidad 2. Adaptación al ambiente. Tema 1. Adaptación de los animales al ambiente. Posibilidades productivas de los animales. Facultad de Ciencias Veterinarias. Universidad Nacional del Nordeste. Corrientes, Argentina. 26 p. https://www.academia.edu/37224662/introducci3n_a_la_Produccion_Animal_-_FCV_-UNNE_UNIDAD_TEM3TICA_1_ZOOTECNIA (consultado 12 oct. 2018).

Gaalaas, R.F. 1947. A study of heat tolerance in Jersey cows. J. Dairy Sci. 30:79-82.

Google-Earth. 2019. Google-Earth para Windows. <https://google-earth.softonic.com> (consultado 16 jul. 2019).

Guerra, P., J.L. Bernal, S. Caballero, R.A. González, L.A. Carreño, O. Ibarra, y O. Guerra. 2009a. Aprovechamiento de la diversidad genética en los sistemas de cruzamiento terminal de dos y tres razas en un sistema vaca-ternero de Panamá. Boletín Técnico. IDIAP. CIA Occidental, Panamá.

Guerra, P., J.L. Bernal, R.H. De León, L.A. Carreño, y J. Barrios. 2008. Determinación de la tolerancia térmica de novillos Brahman y sus cruces bajo pastoreo en el bosque húmedo tropical. In: IDIAP. III Congreso Científico de Investigación-Innovación. Río Hato, Panamá. p.20. (Resumen).

Guerra, P., J.L. Bernal, R.H. De León, R.A. González, y J. Barrios, J. 2012. Tolerancia al calor de novillas y novillos en pastoreo a las condiciones ambientales del trópico húmedo del sistema de cría y ceba. Boletín Técnico. IDAP. CIA Occidental, Panamá.



- Guerra, P., J.L. Bernal, R.A. González, y S. Caballero. 2009b. Métodos simples de cruzamiento inter-racial para pequeñas y medianas fincas del sistema vaca-ternero y doble propósito bovino de Panamá. Boletín Técnico. IDIAP. CIA Occidental. Panamá.
- Guerra, P., M.S. De Gracia, R.A. Quiel, M.M. De Gracia, e I. Del Cid. 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.
- Guerra, P., R.A. Quiel, C.I. Martínez, y M.M. De Gracia. 2016. Modelos no-lineales aplicados a datos de crecimiento de bovinos cruzados con Wagyu. Ciencia Agropecuaria. 25:1-21.
- Guerra, P., R.A. Quiel, y A.A. Vargas. 2010. Cruzamiento *Bos taurus* x *Bos indicus* para la producción de carne. Boletín Técnico. IDIAP. CIA Occidental.
- Guerra, P. 2015. Oportunidades de la raza Wagyu en Panamá. Tema presentado en: Conferencias Pecuarias del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). Feria de San José de David, Chiriquí, Panamá.
- Guerra, P., J.L. Bernal, S. Caballero, R.A. González, R.H. De León, L.A. Carreño, O. Ibarra, O. Guerra, y R. Ríos. 2013. Evaluación de germoplasma bovino *Bos taurus* en cruzamiento con *Bos indicus* en un sistema vaca-ternero en el ecosistema de Gualaca Bajo, Panamá. Boletín Técnico. IDIAP. CIA Occidental.
- Guerra, P., J.L. Bernal, C.I. Martínez, A.A. Villarreal, M.M. De Gracia, y O. Ibarra. 2019. Comportamiento del desarrollo corporal y constantes fisiológicas de cruces Wagyu-Brahman bajo el trópico húmedo-premontano. Panamá. Ciencia Agropecuaria. (En edición).
- Hafez, E.S.E., e I.A. Dyer. 1972. Desarrollo y nutrición animal. Editorial Acribia. Zaragoza, España.



- Hansen, P.J., and C.F. Arechiga. 1999. Strategies for managing reproduction in the heat-stressed dairy cow. *J. Anim. Sci.* 77(Supplement 2):36-50.
- Henderson, C.R. 1984. Applications of linear models in animal breeding. University of Guelph. Canada.
- Holdridge, L.R. 1979. Life zone ecology. Jimenez Saa, J (Trad). Ecología basada en zonas de vida. Editorial IICA. Serie: Libros y Materiales Educativos N°34. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas (IICA). San José, Costa Rica.
- Johnson, H.D. 1987. Bioclimate effects on growth, reproduction and milk production of livestock. In: H.D. Johnson. Editor. Bioclimatology and adaptation of livestock. Elsevier, Amsterdam, Ned. p. 1-31.
- Mader, T., S. Davis, J. Gaughan, and T. Brown-Brandl. 2005. Wind speed and solar radiation adjustments for the temperature-humidity index. In: 16th Conference on Biometereology and Aerobiology. Meeting Abstract 6B.3. Vancouver, British Columbia, Canada.
- NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). 1976. Livestock hot weather stress. United States Department of Commerce. National Weather Service Central Region. USA. Regional Operation Manual Letters. C-31-76. NOAA, Kansas City, MO.
- Pacheco, P.S., J. Restle, F.N. Vaz, I.L. Brondani, D.C. Alves, M.F. Silvera, and A. Nigeliski. 2014. Additive and non-additive genetic effects, genetic group and breeding system on carcass metric characteristics of steers originated from Charolais x Nellore rotational crossbreeding. *Semina: Ciências Agrárias* 35:3319-3330.
- Pinzón, P., y R. Montenegro. 2008. Potencial de producción de carne en pasturas de *Brachiaria* solas y asociadas con la leguminosa *Arachis pintoi*. 1994-1996. *Ciencia Agropecuaria* 11:129-157.
- Rhoad, A.O. 1944. The Iberia heat tolerance test for cattle. *Trop. Agric.* 21:162-164.



Satterthwaite, F.E. 1946. An approximate distribution of estimates of variance components. *Biom. Bull.* 2:110-114.

Singh, S.V., S.S. Beeman, A.K. Singh, and S. Kumar, S. 2013. Heat tolerance indices for cattle and buffalo. In: *Climate Resilient Livestock and Production System*. Chapter 26. p.270-278. Haryana, India. <https://www.researchgate.net/publication/262495543> (consultado 14 ago. 2018).

De Souza, B.B., R.H. Nunes da Silva, M. Louseiro Marinho, G. Silva de Asis, E.M. Nunez da Silva, A. Pereira de Souza. 2007. Parâmetros fisiológicos e índice de tolerancia ao calor de bovinos da razça Sindi no semi-árido Paraibano. *Ciência Agrotecnica, Lavras* 31:883-888.

Young, B.A., B. Walker, A.E. Dixon, and V.A. Walker. 1989. Physiological adaptation to the environment. *J. Anim. Sci.* 67:2426-2432.

