



## Estudio del desarrollo corporal de bovinos cruzados Wagyu-Brahman en el trópico húmedo, Panamá Study of body development of Wagyu-Brahman crossbred cattle in the humid tropics, Panama

Pedro Guerra Martínez<sup>1</sup> José L. Bernal Rosas<sup>1</sup> Carlos I. Martínez Delgado<sup>2</sup> Arístides A. Villarreal Ruíz<sup>1</sup>  
<https://orcid.org/0000-0001-6731-3624>

María M. De Gracia Victoria<sup>1</sup>

Olegario Ibarra-Guerra<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Estación Experimental de Gualaca "Carlos M. Ortega". Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá

<sup>2</sup>Sub Centro de Innovación Agropecuaria de Hato Chamí. Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá

Autor correspondiente: pedro.guerra@idiap.gob.pa

Enviado el 2 de enero de 2023. Aceptado el 22 de marzo de 2023.

### Resumen

El objetivo principal fue estudiar el desarrollo corporal de bovinos cruzados Wagyu-Brahman bajo condiciones del trópico húmedo. Los datos provienen de la EEG-CMO-IDIAP (2008-2014). Las variables dependientes fueron: peso al nacimiento (PN), peso vivo (PVKG), cambio de peso vivo (CPV), tasa relativa de crecimiento (TRC), largo corporal (LC), altura a la cadera (AC) y perímetro torácico (PT). Los grupos raciales del padre (GRP) fueron: BRH y WG. Los grupos raciales de la madre (GRM) fueron: BRH, CRUCE, WG50 y WGF1. Los grupos raciales de la progenie (GRANI) fueron; WG25, WG50, WG75 y WGF1. Los datos se analizaron mediante un modelo lineal mixto donde año (YR) y época dentro del año [EP(YR)] fueron efectos aleatorios. El GRP y GRM(GRP) fueron efectos fijos. Además, PVKG, LC, AC y PT de cada GRANI fueron regresados con un modelo no lineal de Brody con la edad. Progenies de BRH tuvieron mayor PN (7,6 %), CPV (20,4 %) y TRC (10,8 %). El GRP como WG, y GRM como WGF1, BRH y CRUCE tuvieron mayor PN (31,5 kg), CPV (0,535 kg/d) y TRC (0,42 %), respectivamente. El modelo de Brody ajustó bien ( $P < 0,01$ ) a los datos de cada GRANI. Se concluye que las variables del desarrollo corporal de los animales fueron afectadas por GRP y GRM(GRP) y que los efectos aleatorios de YR y EP(YR) permitieron reducir sesgos. El modelo no lineal de Brody ajustó bien a los datos de las variables de desarrollo corporal.

**Palabras claves:** crecimiento, desarrollo corporal, Wagyu, bovinos cruzados, modelo mixto, modelo no lineal.

### Abstract

The main objective was to study the body development of crossbred Wagyu-Brahman bovines under humid tropical conditions. Data came from EEG-CMO-IDIAP (2008-2024). Dependent variables were birth weight (PN), live weight (PVKG), live weight change (CPV), relative growth rate (TRC), body length (LC), hip height (AC), and thorax perimeter (PT). Sire breed group (GRP) were BRH and WG. Dam breed group (GRM) were BRH, CRUCE, WG50, and WGF1. Progeny breed group (GRANI) were WG25, WG50, WG75, and WGF1. Data were analyzed by a mixed linear model where year (YR) and season within year

[EP(YR)] were randoms and GRP and GRM(GRP) were fixed. Besides, PVKG, LC, AC, and PT for each GRANI were regressed with a Brody non-linear model on age. Brahman progenies had higher PN (7,6 %), CPV

(20,4 %) and TRC (10,8 %). The GRP like WG, and GRM like WGF1, BRH, and CRUCE had higher PN (31,5 kg), CPV (0,535 kg/d), and TRC (0,42 %), respectively. Brody non-linear model adjusted well ( $P < 0,01$ ) to data of each GRANI. It was concluded that body development variables of the animals were affected by GRP and GRM(GRP) and random effects of YR and EP(YR) allowed to reduce bias. The Brody non-linear model adjusted well to the body development data.

**Keywords:** body development, crossbred bovines, growth, mixed model, non-linear model, Wagyu

## Introducción

La ganadería bovina es una de las actividades agropecuarias más importante de Panamá, pero su participación porcentual al Producto Interno Bruto (PIB) se ha visto limitada por una serie de factores. La relación del Producto Interno Bruto Agropecuario PIBA/PIB, de acuerdo con INEC (2023a), en 2007 era 4.0 %, pero para 2019 fue 2,1 %. Sin embargo, el PIBA en balboas para 2007 fue de B/. 688,8 millones y para 2019 fue B/. 908,0 millones. Ha habido una baja porcentual en la participación del sector agropecuario (incluyendo la ganadería bovina), pero en términos de balboas ha aumentado. Por otra parte, la participación del sector ganadero en suplir proteína animal a la población de Panamá, también se ha visto afectada. Datos de INEC (2023b) señalan que, en el 2007, el consumo de carne avícola *per capita* fue 46.3 kg y de carne bovina de 16.2 kg (186 % más alto que la carne bovina), pero en 2018 esta relación cambió drásticamente, siendo el consumo de carne avícola de 52.4 kg, mientras que de carne bovina fue 12.8 kg (309 % más alto que la carne bovina).

Los datos citados anteriormente indican que el consumidor panameño le da mayor relevancia a la carne de aves por su valor monetario, suavidad o ternera y su presencia en casi todas las comunidades de Panamá. De continuar esta tendencia una gran cantidad de bovinos aptos para el sacrificio quedarán en los potreros creando una situación de sobrecarga, poniendo en riesgo la persistencia de las pasturas y la estabilidad económica de las familias que viven de estos sistemas de producción bovinos. Por lo tanto, la salida más viable del exceso de animales y sus productos es la exportación. Sin embargo, el INEC (2023a) también indica que las importaciones (Valor CIF, en miles de B/.) de animales vivos y productos del reino animal, en donde también se involucra el bovino y sus productos han aumentado de B/. 270,140 en 2017 a B/. 276,845 en 2021, quitándole espacio a nuestros productos bovinos nacionales.

Por otra parte, las exportaciones han estado peor. En Valor CIF (en miles de B/.), las exportaciones de productos animales, incluyendo productos del bovino, cambio de B/. 179,877 en 2017 a B/. 122,781 en 2021. Características organolépticas como la suavidad, color de la carne, color de la grasa, grado de calidad y grado de rendimiento nos limita tener acceso a mercados internacionales y nacionales exigentes, pero con mejores precios para el ganadero y procesador.

Una estrategia para mejorar la eficiencia bio-económica del Sistema Vaca-Ternero y Ceba Bovina es el cruzamiento interracial con razas y cruces adaptadas al trópico húmedo como el Brahman (*Bos indicus*) y razas especializadas para producir carne de alta calidad capaz de competir en mercados locales e internacionales. Un biotipo animal que ha despertado mucho interés a nivel mundial es el Wagyu. La carne más cara y saludable del mundo es la Kobe (nombre dado en los Estados Unidos) y es producida por la raza Wagyu (Wa=ganado; Gyu=japonés). Se caracteriza por su alta fertilidad, facilidad al parto, madurez temprana, temperamento dócil, gran habilidad de marmoleado, su carne contiene dos veces más ácidos grasos monoinsaturado (MUFA), es más suave, color de la carne y grasa más llamativos al consumidor y su textura es más fina (Gotoh et al. 2014).

En la Estación Experimental de Gualaca “Carlos M. Ortega del Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) se estudia desde 2004 en la Fase IV de la actividad de Evaluación de Germoplasma Bovino, la sub-línea Tajima o Tajiri de la línea Kuroge Wagyu, por su tipo de marmoleado, en cruzamiento terminal de dos y tres razas (Guerra Martínez, 2015).

Actualmente, hay poca información y estudios sobre el comportamiento del desarrollo corporal de bovinos cruzados con Wagyu y Brahman en pastoreo bajo condiciones del trópico húmedo que nos permita adquirir un nivel de recomendación de estos cruces a los ganaderos.

## **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 localizado en Gualaca, provincia de Chiriquí, República de Panamá, ubicada a 8°39’20” latitud norte y 82°10’10” longitud oeste. El clima pertenece al ecosistema Bosque Húmedo Tropical (Holdridge, 1979). La precipitación media anual es de 4.200 mm,

temperatura media anual de 26,9 °C, humedad relativa media anual de 72,5 % y velocidad del viento media anual de 2,64 km/h (ETESA, 2018).

**Fuente de datos:** Los datos provienen de los animales nacidos (progenies) 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 el resto en ELL.

**Grupos raciales:** El grupo racial de los sementales (GRP) fueron Brahman (BRH) y Wagyu (WG). Los grupos raciales de las madres (GRM) fueron: BRH, CRUCE (50 % *Bos taurus* raza terminal + 25 % *Bos taurus* maternal + 25 % Brahman); WG50 (50 % Wagyu + 25 % *Bos taurus* + 25 % Brahman) y WGF1 (50 % Wagyu + 50 % Brahman). Para los análisis de regresión de crecimiento y desarrollo, los grupos genéticos las progenies (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).

**Base de alimentación:** los animales desde el nacimiento hasta los siete meses de edad (destete) estuvieron con sus madres. Estos animales pastorearon el pasto *Brachiaria humidicola* CIAT 679 (*Urochloa humidicola*) fertilizada (60, 30 y 20 kg/ha/año de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O, respectivamente) con acceso a sal mineralizada. En la época seca, las vacas y terneros fueron suplementados a través de estrategias como: raciones (granos, soya y subproductos de molinería del arroz), ensilado de maíz y caña de azúcar picada (*Saccharum officinarum*).

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

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

a.- **Peso al nacimiento (PN):** es el peso vivo del animal inmediatamente después del nacimiento.

b.- **Peso vivo corporal (PVKG):** es el peso vivo obtenido en cada momento de toma de información.

c.- **Cambio de peso vivo por día de edad (CPV):** es el cambio de peso vivo por día entre la fecha de la toma de información de campo y la fecha de nacimiento (período de evaluación).

$$CPV = \frac{(PVi - PN)}{(fi - fN)}$$

Donde:

PN = peso vivo al nacimiento,  $PVGK_i$  = peso vivo del animal en el i-ésimo período de evaluación,  $f_i$  = fecha de la i-ésima toma de datos (evaluación),  $f_N$  = fecha de nacimiento.

**d.- Tasa relativa de crecimiento:** es una medida del CPV relativa al peso promedio en el intervalo de tiempo de la evaluación. Fórmula modificada de Cundiff y Gregory (1977).

$$TRC = \frac{\frac{CPV}{PVi - PVN}}{2} \times 100$$

**e.- Largo corporal (LC):** es la distancia entre la articulación escapula-humeral con la articulación íleon-femoral, medida en centímetros (figura 1).

**f.- Altura a la cadera (AC):** es la distancia entre el punto a nivel de los huesos ileones y el suelo (figura 1).

**g.- Perímetro torácico (PT):** es la distancia total alrededor del corazón del animal, ligeramente después de miembros anteriores (figura 1).



**Figura 1. Zonas en el animal (WGF1) donde se midió Largo Corporal (LC), Altura a la Cadera (AC) y Perímetro Torácico (PT).**

**Análisis de varianza de los datos:** La información colectada (PN, CPV y TRC) se analizó mediante un modelo lineal mixto anidado. También se consideró ajustar por los “grados de libertad efectivos” con la técnica de Satterthwaite (1946) al considerar que las muestras son independientes pero desiguales varianzas muestrales. Al considerar la alta variabilidad entre algunas variables dependientes, se seleccionó un nivel de alfa menor al 5 % ( $\alpha=0,05$ ).

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

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

Donde:

$\hat{Y}$  = vector de respuesta,  $X$  = diseño de matriz conocida para efectos fijos: GRP (efecto del grupo racial del padre) y GRM(GRM) (efecto del grupo racial de la madre anidado en el grupo racial del padre),  $\beta$  = vector de parámetros de efectos fijos desconocidos,  $Z$  = diseño de matriz conocida para efectos aleatorios: 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 y  $\varepsilon$  = 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 excluido del análisis por resultar no significativo ( $P>0,05$ ).

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

**Análisis con modelos no lineales:** Las variables de crecimiento como peso vivo al momento de cada pesaje (PVKG) y desarrollo como ALT, PT y LC fueron regresadas con la edad por cada grupo racial de la progenie (GRANI) mediante el siguiente modelo no lineal de Brody (Domínguez Viveros et al. 2013; Guerra Martínez et al. 2016).

$$\hat{Y}_{ij} = \beta_0(1 - \beta_1 * e^{-c*t}) + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

$\hat{Y}_{ijk}$  = es la i-ésima estimación de variable de respuesta de interés del j-ésimo grupo racial,  $\beta_0$  = es el peso adulto o asintótico en kg,  $\beta_1$  = es la pendiente de la curva relativa a la tasa de crecimiento o desarrollo,

$e = 2,71828$ ,  $t$  = edad del animal en días,  $c$  = tasa de crecimiento relativa al peso adulto en  $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$  y  $\varepsilon_{ij}$  = es el error aleatorio con distribución normal e independiente.

Los parámetros se estimaron utilizando el modelo de regresión no lineal por el método de Marquardt (1963). El máximo número de convergencia fue establecido en 15. El proceso iterativo fue considerado tener convergencia cuando:

$$(\text{SCE}_{j-1} - \text{SCE}_j) / (\text{SEC}_j + 10^{-6}) > c$$

Donde:

SCE = suma de cuadrado del error después de haber fijado la función a los datos;

$j$  = rondas de iteración,  $c = 10^{-8}$ .

## Resultados

La tabla 2 presenta los resultados del análisis de varianza con un modelo mixto para las características relacionadas al peso al nacimiento (PN), cambios de peso vivo (CPV) y tasa relativa de crecimiento (TRC).

**Tabla 2. Cuadrados medios de los efectos aleatorios para las variables relacionadas al crecimiento y desarrollo corporal**

FUENTE DE VARIACIÓN	CUADRADOS MEDIOS			
	GI	PN	CPV	TRC
YR	6	139,323 ***	0,880 ***	0,565 ***
EP(YR)	4	150,077 ***	0,679 ***	0,004 ns
CV, %		9,2	20,8	39,9
R <sup>2</sup>		61,4	88,5	85,8

PN = Peso al nacer; CPV = cambio de peso vivo diario; TRC = tasa relativa de crecimiento.

YR=año; EP=época del año; CV = Coeficiente de Variación; R<sup>2</sup> = Coeficiente de determinación.

\*\*\* P<0,001; \*\* P<0.01; \*P<0,05; ns = no significativo.

De acuerdo con la tabla 2, el efecto aleatorio YR fue altamente significativo (P<0,001) en las tres variables, mientras EP(YR) lo fue para PN y CPV (P<0,001), pero no así para TRC (P>0,05).

La tabla 3 muestra que los efectos fijos de GRP fueron altamente significativos ( $P < 0,01$ ) para PN y CPV, pero no para la TRC ( $P > 0,05$ ). Por otra parte, el efecto GRM(GRP) resultó altamente significativo ( $P < 0,01$ ) para PN y significativo ( $P < 0,05$ ) para TRC, pero resultó no significativo ( $P > 0,05$ ) para CPV.

**Tabla 3. Prueba tipo III para efectos fijos (modelo mixto) de las variables relacionadas al crecimiento y desarrollo corporal.**

VARIABLES	EFFECTOS	gl Num	gl Den	Valor-F
PN	GRP	1	135	6,51**
	GRM(GRP)	4	137	2,96**
CPV	GRP	1	134	16,98**
	GRM(GRP)	4	134	1,17 <sup>ns</sup>
TRC	GRP	1	138	1,31 <sup>ns</sup>
	GRM(GRP)	4	138	2,05*

PN=peso al nacer; CPV=cambio de peso vivo; TRC=tasa relativa de crecimiento.

gl Num= grados de libertad del numerador; gl Den=grados de libertad del denominador

GRP=grupo racial del padre; GRM=grupo racial de la madre.

\* $P < 0,05$ ; \*\* $P < 0,01$ ; ns=no significativo

Terneros de padres BRH fueron 7,6 % más pesados al nacimiento ( $P < 0,05$ ) que terneros de padres WG (tabla 4). Además, terneros cuyas madres fueron WG50 pesaron 3,4 % más que cuando las madres fueron WGF1, ambos con padres BRH ( $P > 0,05$ ). Por otro lado, terneros de madres BRH y WGF1 fueron en promedio más pesados que los terneros de madres CRUCE y WG50 ( $P < 0,05$ ). Con padres WG, los terneros de madres BRH y WGF1 fueron en promedio 6.8% más pesados que terneros de madres CRUCE y WG50.



**Tabla 4. Medias ajustadas por mínimos cuadrado (medias  $\pm$  error estándar de la media) para características de desarrollo corporal por grupo racial del padre y madre del animal.**

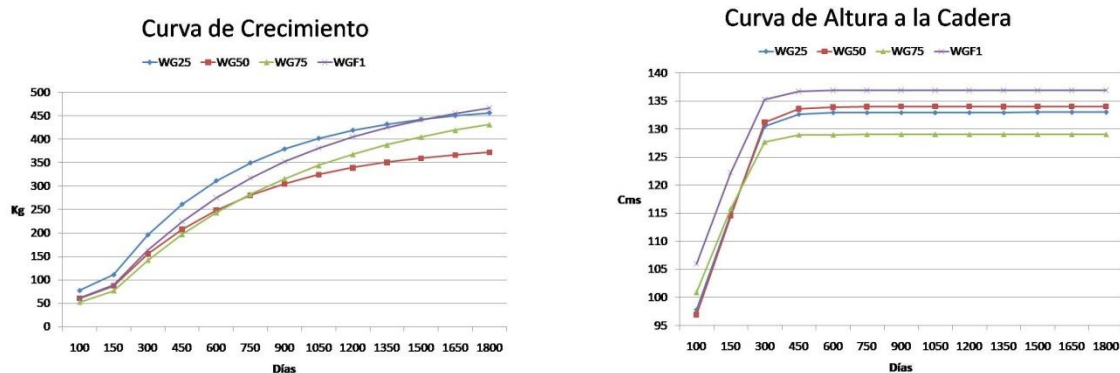
Grupo Padre	Racial	Grupo Racial de la Madre	Características Corporales <sup>1</sup>		
			PN, kg	CPV, kg/d	TRC, %
BRH			32,7 $\pm$ 2,0 <sup>a</sup>	0,615 $\pm$ 0,207 <sup>a</sup>	0,41 $\pm$ 0,14 <sup>a</sup>
WG			30,4 $\pm$ 1,8 <sup>b</sup>	0,511 $\pm$ 0,206 <sup>b</sup>	0,37 $\pm$ 0,14 <sup>a</sup>
BRH		WG50	33,3 $\pm$ 2,2 <sup>a</sup>	0,592 $\pm$ 0,209 <sup>a</sup>	0,40 $\pm$ 0,15 <sup>a</sup>
BRH		WGF1	32,2 $\pm$ 2,1 <sup>a</sup>	0,639 $\pm$ 0,208 <sup>a</sup>	0,41 $\pm$ 0,15 <sup>a</sup>
WG		BRH	31,4 $\pm$ 1,8 <sup>a</sup>	0,535 $\pm$ 0,206 <sup>a</sup>	0,36 $\pm$ 0,14 <sup>b</sup>
WG		CRUCE	29,1 $\pm$ 1,9 <sup>b</sup>	0,495 $\pm$ 0,206 <sup>a</sup>	0,42 $\pm$ 0,15 <sup>a</sup>
WG		WG50	29,7 $\pm$ 2,1 <sup>ab</sup>	0,501 $\pm$ 0,208 <sup>a</sup>	0,37 $\pm$ 0,15 <sup>ab</sup>
WG		WGF1	31,5 $\pm$ 1,9 <sup>a</sup>	0,514 $\pm$ 0,207 <sup>a</sup>	0,33 $\pm$ 0,15 <sup>b</sup>

PN = peso nacimiento; CPV = cambio de peso vivo; TRC = tasa relativa de crecimiento.

<sup>1</sup>Media 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.

El mayor CPV se reportó ( $P < 0,05$ ) en terneros de padres BRH, superando en 20.4 % a los terneros de padres WG (tabla 4). En terneros de padres BRH, el CPV fue diferente entre madres WG50 y WGF1 en un 7.9 % ( $P < 0,05$ ). Por otra parte, cuando el padre fue WG, las diferencias en CPV no fueron diferentes ( $P > 0,05$ ) entre los terneros de los cuatro GRM con rango de 0,535 a 0,495 en terneros de madres BRH y CRUCE, respectivamente.

Investigaciones sobre curvas de crecimiento y desarrollo con el ganado Wagyu y sus cruces son muy escasas. Las ecuaciones no lineales para la curva de crecimiento de los cuatro grupos raciales y su  $R^2$  fueron: WG25:  $PV = 476,0 \pm 43,2(1 - e^{-0,00177 \pm 0,0004 * t})$ ,  $R^2 = 98,5$  %; WG50:  $PV = 390,9 \pm 23,0(1 - e^{-0,00169 \pm 0,00124 * t})$ ,  $R^2 = 93,3$ %; WG75:  $PV = 497,6 \pm 55,9(1 - e^{-0,00122 \pm 0,000233 * t})$ ,  $R^2 = 97,3$  % y WGF1:  $PV = 521,9 \pm 25,8(1 - e^{-0,00125 \pm 0,000145 * t})$ ,  $R^2 = 98,0$  %.

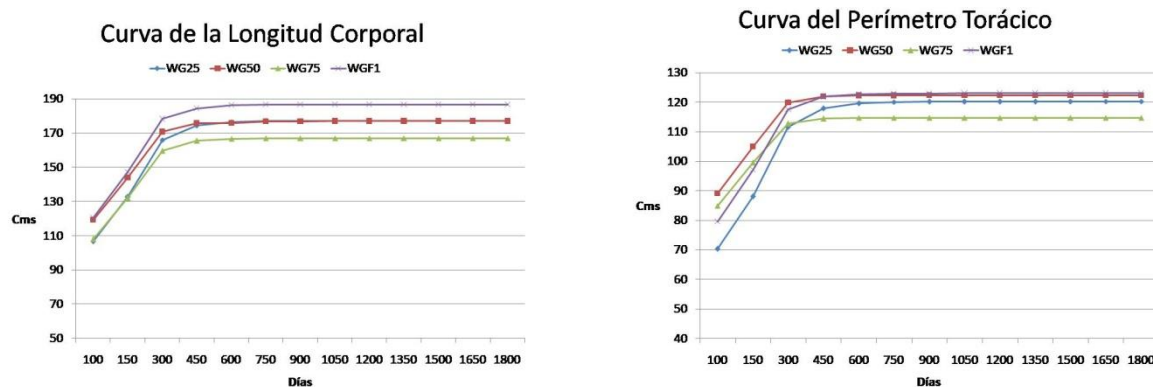


**Figura 2. Curva de crecimiento corporal y de la altura a la cadera en función de la edad y grupo racial del animal.**

Las ecuaciones del modelo no lineal para curva de la altura a la cadera fueron: WG25:  $ALT = 133,0 \pm 2,3(1 - e^{-0,0133 \pm 0,0023 * t})$ ,  $R^2 = 99,5 \%$ , WG50:  $ALT = 134,0 \pm 2,8(1 - e^{-0,0129 \pm 0,0048 * t})$ ,  $R^2 = 99,4 \%$ , WG75:  $ALT = 129,1 \pm 1,9(1 - e^{-0,0152 \pm 0,0020 * t})$ ,  $R^2 = 99,4 \%$  y WGF1:  $ALT = 136,9 \pm 1,1(1 - e^{-0,0149 \pm 0,0023 * t})$ ,  $R^2 = 99,5 \%$

La mayor ATL la alcanzó el grupo racial WGF1 con 136,9 cm y con un 6,0 % menor el grupo racial WG75. Sin embargo, la mayor pendiente relativa a la tasa de desarrollo se estimó en los animales WG75 con  $0,0152 \text{ cm} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$ , pero la menor pendiente fue 18,3 % menor en el WG50 (figura 2).

Las ecuaciones del modelo no lineal para la curva del largo corporal son las siguientes: WG25:  $LC = 177,2 \pm 3,6(1 - e^{-0,0092 \pm 0,0014 * t})$ ,  $R^2 = 99,4 \%$ ; WG50:  $LC = 177,0 \pm 4,5(1 - e^{-0,0112 \pm 0,0017 * t})$ ,  $R^2 = 99,1 \%$ ; WG75:  $LC = 167,0 \pm 2,8(1 - e^{-0,0104 \pm 0,0013 * t})$ ,  $R^2 = 99,3 \%$  y WGF1:  $LC = 186,7 \pm 2,5(1 - e^{-0,0101 \pm 0,0003 * t})$ ,  $R^2 = 99,1 \%$ .



**Figura 3. Curva de longitud corporal y perímetro torácico en función de la edad y grupo racial del animal.**

El mayor LC (asintótico) se encontró en animales WGF1 con  $186,7 \pm 2,5$  cm y con el más corto en el WG75 (11,8 % más corto que el WGF1). Pero la mayor pendiente de la curva relativa a la tasa de desarrollo del LC fue para WG50 con  $0,0112 \text{ cm} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$  y la menor para WG25 (-21,7 %, figura 3).

Las ecuaciones del modelo no lineal para la curva del PT son las siguientes:

WG25:  $PT = 120,2 \pm 4,6(1 - e^{-0,0088 \pm 0,0024 * t})$ ,  $R^2 = 98,0$  %; WG50:  $PT = 122,3 \pm 4,0(1 - e^{-0,0130 \pm 0,0083 * t})$ ,  $R^2 = 98,5$  %; WG75:  $PT = 114,7 \pm 3,0(1 - e^{-0,0135 \pm 0,0030 * t})$ ,  $R^2 = 98,3$  % y WGF1:  $PT = 123,0 \pm 1,9(1 - e^{-0,0141 \pm 0,0005 * t})$ ,  $R^2 = 98,6$  %.

Los animales WG50 resultaron de mayor PT (asintótico) con 122,3 cm y el de menor PT fue el WG75 con 114,7 cm (figura 3). La mayor pendiente de la curva del PT relativa a la tasa de desarrollo del PT se encontró con animales WG75 con  $0,0135 \text{ cm} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$ , pero la menor en los animales WGF1 (-229,3 %).

## Discusión

Con PN de  $31,6 \text{ kg} \pm 6,2$  kg de terneros de padres Wagyu, fueron reportados por Cafe et al. (2009), el cual es muy cercano al reportado en este estudio. Además, indicó una CPV pre-destete de  $0,713 \pm 0,177$  kg/d, lo cual permitió un peso al destete de  $183,0 \pm 41,0$  kg.

En Australia, Hearnshaw et al. (2001) reportaron PN de terneros cruzados de padres Wagyu de 30,5 kg en machos y 28,3 kg en hembras. De acuerdo con Casas et al. (2012) cuando la raza Wagyu fue utilizada como raza paterna cruzada con hembras Angus, Hereford y MARC III el peso promedio al nacimiento fue  $36,3 \pm 0,8$  kg, la ganancia diaria de peso (GDP) pre-destete fue de 0,870 kg/d y el peso al destete ajustado a 205 días fue de 214 kg. La GDP de este estudio fue mucho mayor a la reportada en el presente estudio. Además, Cundiff et al. (2001) del programa de Evaluación de Germoplasma del USDA en Clay Center, Nebraska reportaron PN de terneros de padres WG de 36,5 kg y peso vivo ajustado a los 200 días de 208,5 kg. Por otra parte, Leão Fialho et al. (2015), en Brasil, encontraron en terneros de padres WG con PN de 40,0 kg con una CPV de 0.650 kg/d para obtener un peso al destete ajustado a 205 días de 173,2 kg.

Cuando el GRP fue WG, terneros de madres CRUCE presentaron la mayor TRC ( $0,42 \pm 0,15$  %), pero no fue diferente ( $P > 0,05$ ) de terneros de madres WG50 ( $0,37 \pm 0,15$  %) y estos terneros no difirieron ( $P > 0,05$ ) de aquellos de madres BRH y WGF1. En Gualaca, Panamá, Guerra Martínez et al. (2013) también reportaron que el PN de terneros WGF1 fue de  $28,2 \pm 1,0$  kg con una CPV pre-destete de  $0,728 \pm 0,022$  kg/d y peso al destete ajustado a 205 días de  $177,4 \pm 7,4$  kg con una TRC de  $0,758 \pm 0,026$  %.

En Brasil, Leão Fialho et al. (2015) encontraron TRC más alta a las encontradas en este estudio. Con terneros hijos de padres WG, la TRC fue de 0,610% y al tomar en cuenta el grupo racial del ternero, las TRC para animales  $\frac{1}{2}$  WG +  $\frac{1}{2}$  Nelore,  $\frac{1}{2}$  WG +  $\frac{1}{2}$  Brangus y  $\frac{1}{2}$  WG +  $\frac{1}{4}$  Brangus +  $\frac{1}{4}$  Nelore fueron 0,603 %, 0,616 % y 0,614 %, respectivamente. Además, Casas et al. (2012) reportó TRC para terneros hijos de padres WG de 0,695 %.

La figura 2 muestra que, a los 1800 días de edad, la curva de crecimiento tiene a estabilizarse en los cuatro grupos raciales. El mayor peso asintótico se observó en los animales WGF1 con 521,9 kg, aunque la mayor pendiente de la curva relativa a la tasa de crecimiento se obtuvo con animales WG25 con  $0,00177$  kg·kg<sup>-1</sup>·día<sup>-1</sup> (figura 3). De acuerdo con Guerra Martínez et al. (2016) con el modelo de Brody y WGF1 reportaron peso adulto o asintótico de  $354,5 \pm 13,0$  kg y para 3R (50%WG+25 % *Bos taurus*+25 % Brahman) de  $363,1 \pm 11,2$  kg. En este mismo estudio la pendiente de la curva relativa a la tasa de crecimiento fue de  $0,00299$  kg·kg<sup>-1</sup>·día<sup>-1</sup> para animales WGF1 y de  $0,00287$  kg·kg<sup>-1</sup>·día<sup>-1</sup> para animales 3R. En Australia, Afolayan et al. (2007) reportó con terneros WGF1 de padres WG, los pesos vivos al destete,

a los 400 días y a los 600 días de edad, en promedio de  $256,2 \pm 2,3$ ;  $320,0 \pm 2,9$  y  $420,6 \pm 6,2$  kg, respectivamente.

## Conclusiones

- El modelo mixto utilizado funcionó eficientemente en detectar diferencias significativas de los efectos aleatorios y fijos.
- Se demostró una gran variabilidad en las significancias entre las respuestas encontradas por los efectos fijos de GRP y GRM(GRP) dependiendo de las variables en estudio.
- Terneros de padres BRH mostraron mayor PN, CPV y TRC independientemente del GRM por sus efectos genéticos.
- La curva de PV fue superior en animales WG25, mientras que los animales WGF1 desarrollaron más las curvas de ALT, LC y PT.

## Referencias

- Afolayan, R. A., Pitchford, W. S., Deland, M. P. B. y McKiernan, W. A. (2007). Breed variation and genetic parameters for growth and body development in diverse beef cattle genotype. *Animal*, 1:13-20. <https://doi.org/10.1017/S1751731107257933>
- Cafe, L. M., Hennessy, D. W., Hearnshaw, H., Morris, S. G. y Greenwood, P. L. (2009). Consequences of prenatal and preweaning growth, intake and efficiency of Piedmontese- and Wagyu-sired cattle. *Animal Production Science* 49:461-467. <https://doi.org/10.1071/EA08089>
- Casas, E., Thallman, R. M. y Cundiff, L. V. (2012). Birth and weaning traits in crossbred cattle from Herford, Wagyu, Norwegian Red, Swedish Red and White, Wagyu and Friesian sires. *Journal of Animal Science*, 90:2916-2920. <https://doi.org/10.2527/jas.2011-4649>
- Cundiff, L. V. y Gregory, K. E. (1977). Beef cattle breeding. Bulletin no. 286. *Agricultural Information Bulletin U.S. Department of Agriculture*. USA. <http://www.agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US19780291922>
- Cundiff, L. V., Wheeler, T. L., Shackelford, S. D., Koohmarie, M., Thallman, R. M., Gregory, K. E. y Van Vleck, L. D. (2001). Germplasm evaluation program-Progress Report No. 20. Roman L Hruska U.S. Meat Animal Research Center. *Agricultural Research Service*. United States Department of Agriculture. Clay Center, NE. USA. <https://digitalcommons.unl-edu/hruskareports/193>
- Domínguez Viveros, J., Rodríguez Almeida, F., Núñez Domínguez, R., Ramírez Valverde, R., Ortega Gutiérrez, J. y Ruíz Flores, A. (2013). Ajuste de modelos no-lineales y estimaciones de

- parámetros de crecimiento en bovino Tropicarne. *Agrociencia* 47(1):25-34.  
<http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v47n1/v47n1a3.pdf>
- ETESA. (2018). Hidrometeorología. Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A.  
[http://www.hidromet.com.pa/clima\\_historicos.php](http://www.hidromet.com.pa/clima_historicos.php)
- Gotoh, T., Takahashi, H., Nishimura, T., Kuchida, K. y Mannen, H. (2014). Meat produced by Japanese Black cattle and Wagyu. *Animal Frontiers*, 4(4): 46-54. <https://doi.org/10.2527/af.2014-0033>
- Guerra Martínez, P. (13 de marzo de 2015). Oportunidades de la raza Wagyu en Panamá. (Sesión de Conferencias Pecuarias). Día del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). Feria Internacional de San José de David, Chiriquí, Panamá.
- Guerra Martínez, P., González Murray, R. A., Ávila, M., Villarreal, A., Quiel Batista, R. A., Ibarra, O. y De Gracia Victoria, M. M. (22 al 26 de abril de 2013). Resultados preliminares del comportamiento de terneros Wagyu y sus cruces bajo pastoreo en el trópico húmedo de Chiriquí, Panamá (Resumen de presentación de la Conferencia). 58<sup>ava</sup> Reunión del Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos y Animales. La Ceiba, Atlántida. Honduras. <http://www.dicta.hn/files/2013,-PCCMCA,-Memoria-tecnica-pdf>
- Guerra Martínez, P., Quiel Batista, R. A., Martínez Delgado, C. I. y De Gracia Victoria, M. M. (2016). Modelos no-lineales aplicados a datos de crecimiento de bovinos cruzados con Wagyu. *Ciencia Agropecuaria*, 25:1-21. <http://www.idiap.gob.pa/2017/07/10/ciencia-agropecuaria-n-25/>
- Hearnshaw, H., Hennessy, D. W., Greenwood, P. L., Harper, G. S. y Morris, S. (2001). Gestation length, birth traits and preweaning growth of Wagyu-, Piedmontese- and Angus-sired calves. *Proceeding of the Association for the Advancement of Animal Breeding and Genetics*, 14:337-340. <http://www.aaabg.org/livestocklibrary/2001/ab01079-pdf>
- Holdridge, L. R. (1979). Ecología basada en zonas de vida. 3<sup>a</sup> Edición. H. Jiménez Saa (Ed). *Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas (IICA)*. San José, Costa Rica.  
<http://repositorio.iica.int/handle/11324/7936>
- Instituto Nacional de Estadística y Censo-INEC. (2023a). Situación pecuaria. Dirección de Estadística y Censo. Instituto Nacional de Estadística y Censo. Contraloría General de la República. Panamá.  
<http://www.inec.gob.pa/publicaciones/>
- Instituto Nacional de Estadística y Censo-INEC. (2023b). Panamá en cifras. Dirección de Estadística y Censo. Instituto Nacional de Estadística y Censo. Contraloría General de la República. Panamá.  
<http://www.inec.gob.pa/publicaciones/>
- Leão Fialho, F. R., Gonçalves de Rezende, M. P., de Souza, J. C., Moreira da Silva, R., Monteiro de Oliveira, N. y Vargas da Silveira, P. (2015). Performance in preweaning pure and crossbred calves in the Mato Gross do Sul Pantanal region, Aquidauana, Mato Gross do Sul State, Brazil. *Acta Scientiarum. Animal Science. Moringá*, 37(4):437-442.  
<https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v37i4.28345>
- Marquardt, D. W. (1963). An algorithm for least squares estimation of nonlinear parameters. *Journal of the Society of Industry Applied Mathematics*, 11:431-434. <https://doi.org/10.1137/0111030>
- Satterthwaite, F. E. (1946). An approximate distribution of estimates of variance components. *Biometric Bulletin* 2:110-114. <https://doi.org/10.2307/3002019>