

## Parámetros de crecimiento y sus efectos en la edad al primer empadre de vacas Siboney

### Growth parameters and their effects on age at first mating of Siboney cows

Joel Domínguez-Viveros<sup>1\*</sup>, Simón González-Prieto<sup>2</sup>, Alejandro Palacios-Espinosa<sup>3</sup>, Marco Antonio Suárez-Tronco<sup>4</sup>, Felipe Alonso Rodríguez-Almeida<sup>1</sup>, José Luis Espinoza-Villavicencio<sup>3</sup>, Manuel Rodríguez-Castro<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Zootecnia y Ecología; Universidad Autónoma de Chihuahua. Periférico Francisco R. Almada Km 1. CP. 31453. Chihuahua, Chihuahua, México.

<sup>2</sup>Centro de Investigaciones para el Mejoramiento Animal de la Ganadería Tropical. Cotorro Ave 101 e/ 100 y 62 No. 6214 Loma de Tierra. La Habana, Cuba.

<sup>3</sup>Departamento de Zootecnia; Universidad Autónoma de Baja California Sur. Carretera al Sur KM 5.5, Apartado Postal 19-B, CP. 23080. La Paz Baja California Sur, México.

<sup>4</sup>Universidad Agraria de la Habana "Fructuoso Rodríguez Pérez". Carretera Tapaste y Autopista Nacional Km 23  $\frac{1}{2}$ , CP. 32700, Apartado Postal 18-19. San José de Las Lajas, Mayabeque, Cuba.

\*Autor de correspondencia: jodominguez@uach.mx - joeldguezviveros@yahoo.com.mx

**Nota científica recibida:** 20 de marzo de 2018 **aceptada:** 29 de enero de 2019

**RESUMEN.** El objetivo fue caracterizar el crecimiento de vacas Siboney con modelos no lineales (MNL) y los efectos de los parámetros de crecimiento sobre la edad al primer empadre (EPE). Se analizaron 10 064 datos de peso vivo de 2 021 vaquillas. Los MNL evaluados fueron logístico, Gompertz, Brody y Bertalanffy. La selección del mejor modelo fue con el coeficiente de determinación, criterios Akaike y Bayesiano. Con regresión lineal de orden cuadrático, la EPE se analizó con respecto al peso a 24 meses (P24M), tasa de crecimiento (TAC), peso al punto de inflexión (PPI) y madurez a los 24 meses (GM24). El MNL de mejor ajuste fue Bertalanffy; con peso asintótico de 514.3 kg, punto de inflexión a los 5.93 meses con 152.4 kg. Del análisis de regresión:  $EPE = (0.026102)(P24M) - (0.0000636)(P24M^2)$ ,  $EPE = (23.86)(TAC) - (59.17)(TAC^2)$ ,  $EPE = (0.0796)(GM24) - (0.000675)(GM24^2)$ ,  $EPE = (0.0299)(PPI) - (0.00009506)(PPI^2)$ , todos diferente de cero ( $p < 0.01$ ).

**Palabras clave:** Bovinos leche, ganadería tropical, modelos no lineales, pubertad, razas sintéticas, tasa de crecimiento.

**ABSTRACT.** The objectives were to characterize the growth of Siboney cows with nonlinear models (MNL) and the effects of growth parameters on age at first mating (AFM). It was analyzed 10 064 live weight data from 2 021 heifers. The MNL evaluated were Logistic, Gompertz, Brody and Bertalanffy. The selection of best model was with the coefficient of determination, Akaike and Bayesian criteria. With a linear regression of quadratic order, the AFM was analyzed with respect to the weight at 24 months (W24M), growth rate (GRA), weight at the point of inflection (WPI) and maturity at 24 months (M24M). The MNL of best fit was Bertalanffy; with asymptotic weight of 514.3 kg, inflection point was at 5.93 months with 152.4 kg. From the regression analysis:  $AFM = (0.026102)(W24M) - (0.0000636)(W24M^2)$ ,  $AFM = (23.86)(GRA) - (59.17)(GRA^2)$ ,  $AFM = (0.0796)(M24M) - (0.000675)(M24M^2)$ ,  $AFM = (0.0299)(WPI) - (0.00009506)(WPI^2)$ , all different from zero ( $p < 0.01$ ).

**Key words:** Bovine milk, growth rate, non-linear models, puberty, synthetic breeds, tropical cattle ranching.

## INTRODUCCIÓN

Los bovinos Siboney con la composición racial de 62.5% de Holstein y 37.5% de Cebú se desarrollaron para las condiciones de pastoreo en las regiones tropicales (López y Ribas 1993, Fernández y Tronco 2011). En la fase productiva, la lactancia se

desarrolla a 240 días, se ajusta al modelo de Wood con una curva que incrementa continuamente, con producción máxima de 7.71 kg a los 40 días en lactancia y 1 653 kg promedio de producción total acumulada (Palacios-Espinosa *et al.* 2016). La edad al primer parto, y la edad y peso al primer empadre ocurre en promedio a los 35 y 24 meses con peso

de 306 kg, respectivamente (Portales *et al.* 2007, Portales *et al.* 2012). Con relación a las variables de crecimiento, el control de producción contempla el peso vivo en el intervalo del peso al nacer hasta los 950 días de edad (Alonso *et al.* 2014). Los datos de peso vivo a diferentes edades generan una distribución de puntos a través del tiempo, los cuales permiten describir y analizar el crecimiento animal con base en modelos no lineales (MNL); asimismo, los MNL describen la curva de crecimiento a partir de parámetros con interpretación biológica, como la tasa de crecimiento, el peso adulto o asintótico, grado de madurez, edad y peso al punto de inflexión, entre otros (Domínguez-Viveros *et al.* 2013, Domínguez-Viveros *et al.* 2014).

Las condiciones y los parámetros que definen la curva de crecimiento de las vaquillas tienen repercusiones en la vida productiva y reproductiva de la vaca adulta (Galvão *et al.* 2009, Roche *et al.* 2015). Se ha planteado que las vaquillas deben llegar a la primera cubrición con un peso mínimo de 50 a 55% del peso vivo adulto (Funston y Deutscher 2004, Roberts *et al.* 2009). El crecimiento de las vaquillas se divide en dos etapas: la prepuberal que se caracteriza por un crecimiento lineal e isométrico, tras la pubertad el crecimiento pasa a ser alométrico, modificándose principalmente la composición corporal y la relación entre los distintos tejidos; y la pubertad o inicio de la etapa reproductiva influyen (Owens *et al.* 1995, Randel y Welsh 2013). Se sabe que diferencias en las fases del crecimiento pueden presentar consecuencias a lo largo de la vida de la vaquilla, tanto a nivel productivo como reproductivo (Ford y Park 2001, Grings *et al.* 2007). Con base en lo anterior, el objetivo del presente estudio fue analizar el crecimiento de vacas Siboney con base en MNL; caracterizar la curva de crecimiento a partir de los parámetros de crecimiento derivados de los MNL; y, evaluar los efectos de los parámetros de crecimiento sobre la edad al inicio de la etapa reproductiva.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ajuste y selección de modelos no lineales

El estudio incluyó 10 064 datos de peso vivo, tomados en el intervalo de peso al nacer hasta 950 días de edad, de 2 021 vaquillas Siboney nacidas de 2005 a 2015; el número de pesadas por vaquilla osciló de dos a seis, con 4.9 pesadas promedio. Todas las vaquillas se desarrollaron en una empresa pecuaria, ubicada en el municipio Consolación del Sur de la provincia Pinar del Río, República de Cuba. El clima predominante es cálido tropical con dos estaciones, lluviosa de mayo a octubre, y seca de noviembre a abril. La temperatura media anual es de 24 °C, humedad relativa promedio del 80% con precipitaciones superiores a 3 000 mm anuales. El sistema de alimentación se basó en pastoreo; principalmente, *Cynodon nlemfuensis*, *Digitaria decumbens* y *Panicum maximum*; durante períodos poco lluviosos se suministró suplementación con *Saccharum officinarum* y *Penisetum purpureum* (Ribas *et al.* 2004, Evora *et al.* 2008).

Se evaluaron cuatro MNL: Logístico (LOG), Gompertz (GOM), Brody (BRO) y von Bertalanffy (BER); los cuales se describen en el Tabla 1, conformados por tres coeficientes de regresión que describen la curva de crecimiento (Agudelo *et al.* 2008, Domínguez-Viveros *et al.* 2013). Los análisis se realizaron con el método de Gauss-Newton y el procedimiento NLIN del programa para análisis estadístico SAS (SAS 2005). La selección del modelo con mejor ajuste se realizó en función del error de predicción promedio (EPP), la varianza del error de predicción (VEP), el estadístico de Durbin-Watson (DW), el coeficiente de determinación ( $R^2$ ), y los criterios de información de Akaike (AIC) y bayesiano (BIC) (Motulsky y Christopoulos 2003, Domínguez-Viveros *et al.* 2014, Tiago *et al.* 2017). Para EPP, VEP, AIC y BIC, el modelo con el menor valor se consideró como el de mejor ajuste; a diferencia del  $R^2$ , el modelo con el valor más alto representa mejor ajuste. El DW analiza las auto correlaciones en los errores, con tres planteamientos: si  $2 < DW \leq 4$  existe auto correlación negativa; si  $0 < DW \leq 2$  revela ausencia de auto correlación; y, si  $DW < 0$  indica que existe

**Tabla 1.** Modelos no lineales evaluados y procedimientos de cálculo de los parámetros de crecimiento.

Modelo	Ecuación	EPI	PPI	GM
Brody	$y = \beta_1 * (1 - \beta_2 * e^{(-\beta_3 * t)})$	--	--	$(1 - \beta_2 * (\exp(-\beta_3 * t)))$
Logístico	$y = \beta_1 / (1 + \beta_2 * e^{(-\beta_3 * t)})$	$t = \ln \beta_2 / \beta_3$	$y = \beta_1 / 2$	$1 / (1 + \exp(-\beta_3 * t))$
Bertalanffy	$y = \beta_1 * (1 - \beta_2 * e^{(-\beta_3 * t)})^3$	$t = \ln \beta_2 / \beta_3$	$y = \beta_1 * 8 / 27$	$(1 - \beta_2 * (\exp(-\beta_3 * t)))^3$
Gompertz	$y = \beta_1 * (e^{(-\beta_2 * e^{(-\beta_3 * t)})})$	$t = \ln \beta_2 / \beta_3$	$y = \beta_1 * \exp^{-1}$	$\exp(-\beta_2 * (\exp(-\beta_3 * t)))$

$P_y$  = peso vivo a la edad  $t$ ;  $t$  = edad de la vaquilla en días;  $\beta_1$  = peso adulto o asintótico en kg;  $\beta_2$  = constante de integración;  $\beta_3$  = pendiente de la curva, relativa a la tasa de crecimiento en kg/kg/t. EPI = edad al punto de inflexión en meses; PPI = peso al punto de inflexión en kg; GM = grado de madurez en porcentaje, a determinada edad.

auto correlación positiva.

### Parámetros de crecimiento (PC) y sus efectos en la edad al primer empadre (EPE)

Con el modelo de mejor ajuste se realizó un análisis de regresión no lineal en las vaquillas con datos de seis pesadas; en 390 vaquillas se logró el criterio de convergencia obteniendo los tres coeficientes de regresión que conforman el MNL, todos estadísticamente diferentes de cero ( $p < 0.01$ ). Posteriormente, para cada vaquilla se estimaron los PC (Tabla 1): a) peso adulto (PAD), a partir del valor asintótico del MNL; b) tasa de crecimiento (TAC), expresando la ganancia de peso como proporción del peso vivo; c) edad y peso (EPI y PPI) al punto de inflexión; d) grado de madurez en porcentaje a los 24 meses de edad (GM24); y, e) peso vivo a los 24 meses de edad (P24M), estimado con base en el MNL. Para analizar los efectos de los PC sobre la edad al primer empadre (EPE; años), se realizaron cuatro análisis de regresión lineal de orden cuadrático con base en los siguientes modelos:  $EPE = \beta_1 P24M + \beta_2 P24M^2 + \varepsilon$ ;  $EPE = \beta_1 TAC + \beta_2 TAC^2 + \varepsilon$ ;  $EPE = \beta_1 PPI + \beta_2 PPI^2 + \varepsilon$ ; y  $EPE = \beta_1 GM24 + \beta_2 GM24^2 + \varepsilon$ , donde  $\beta_1$  y  $\beta_2$  = coeficientes de regresión para el efecto lineal y cuadrático, respectivamente;  $\varepsilon$  = residuales. El análisis se realizó con el procedimiento REG de SAS (SAS 2005); para los cuatro modelos de regresión, con base en la primera derivada se obtuvo el punto de inflexión para determinar el punto de cambio en la pendiente de EPE sobre los PC.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

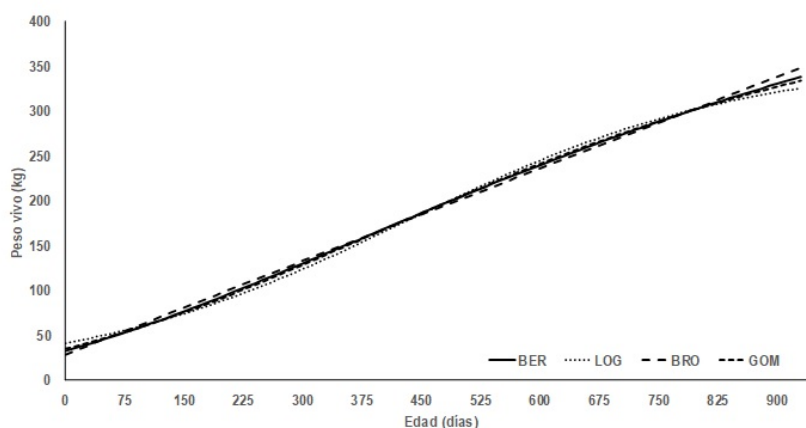
Con base en la VEP, AIC y BIC el modelo de

mejor ajuste para describir el crecimiento fue BER, seguido de GOM, BRO y LOG (Tabla 2). El  $R^2$ , mostró que todos los modelos explican más del 95% de la variabilidad en los datos. A partir del signo en el EPP los MNL tienden a sobre estimar las predicciones, y el DW exhibió que los residuales no presentan autocorrelaciones. El modelo BER presentó una curva sigmoidea (Figura 1) con PAD de 514.3 kg, el punto de inflexión representó el 29.6% del PAD, ubicado a los 5.93 meses de edad con 152.4 kg; la correlación negativa y alta entre TAC y PAD (Tabla 2) señala que las vaquillas con peso adulto alto no proceden de altas tasas de crecimiento. El modelo BER se ha reportado como de mejor ajuste para describir el crecimiento de vaquillas Holstein (Berry *et al.* 2005, Galvão *et al.* 2009); no obstante, Perotto *et al.* (1992) y Perotto *et al.* (1997) reportan como de mejor ajuste el modelo de Richards en el crecimiento de vaquillas Gyr, Guzerat y sus cruza con Holstein. Las vaquillas en desarrollo representan la nueva generación del avance genético, por lo que es importante su incorporación a la vida reproductiva y productiva de manera idónea. La definición del peso corporal óptimo de las vaquillas en crecimiento depende del sistema de producción y del peso vivo de la vaca adulta a los cuatro años; para un crecimiento óptimo, a los 6, 15 y 24 meses de edad la vaquilla debería alcanzar el 30, 60 y 90% del peso vivo adulto, respectivamente (Ballent *et al.* 2003, Roche *et al.* 2015). En vaquillas Siboney, con base en el modelo de BER (Figura 1), el peso vivo a los 6, 15 y 24 meses de edad representó el 16.7, 36.1 y 54.5% del PAD; el PAD de estos resultados coincide con la clasificación del biotipo liviano de la raza Holstein, y con la clasificación de mayor peso y tamaño de la raza Jersey

**Tabla 2.** Resultados para los coeficientes de regresión, parámetros de crecimiento y estadísticos en la selección de los modelos no lineales evaluados.

Modelo	Logístico	Brody	von Bertalanffy	Gompertz
$\beta_1$	356.3 $\pm$ 2.11	10003.7 $\pm$ 6317.6	514.3 $\pm$ 7.35	435.0 $\pm$ 4.38
$\beta_2$	7.788 $\pm$ 0.06	0.997 $\pm$ 0.2	0.602 $\pm$ 0.01	2.529 $\pm$ 0.01
$\beta_3$	0.0047 $\pm$ 0.0001	0.000035 $\pm$ 0.0001	0.0016 $\pm$ 0.0001	0.0024 $\pm$ 0.0001
$r_{\beta_1-\beta_3}$	-0.84	-0.99	-0.98	-0.95
EPI	7.4	—	5.93	6.9
PPI	178.15	—	152.4	160.0
AIC	64947.4	64818.9	64652.4	64679.4
BIC	64969.1	64840.5	64674.1	64701.0
VEP	634.5	626.7	616.2	617.8
EPP	5.60	2.91	4.41	5.48
R <sup>2</sup>	0.97	0.96	0.98	0.97
DW	2.00	1.99	2.00	1.99

Coeficientes de regresión:  $\beta_1$  = peso asintótico en kg;  $\beta_2$  = constante de integración;  $\beta_3$  = pendiente de la curva, o tasa de crecimiento en kg/kg/t;  $r_{\beta_1-\beta_3}$  = correlación entre  $\beta_1$  y  $\beta_3$ . Edad (EPI; meses) y peso (PPI; kg) al punto de inflexión. EPP = error de predicción promedio; VEP = varianza del error de predicción; DW = estadístico de Durbin-Watson; R<sup>2</sup> = coeficiente de determinación; AIC = criterio de información de Akaike; BIC = criterio de información Bayesiano.



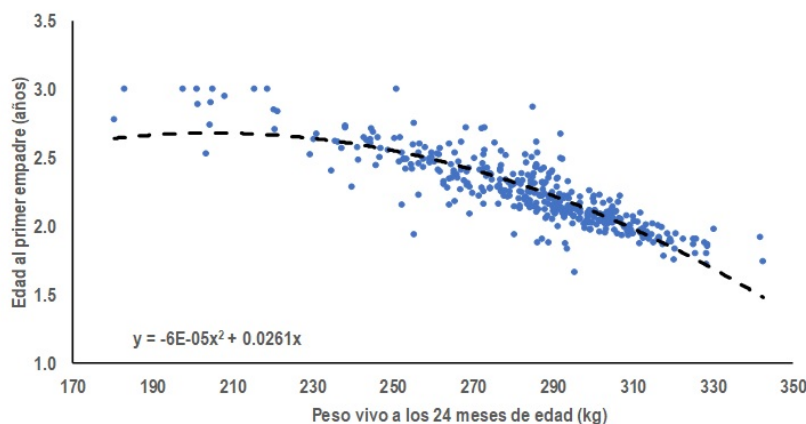
**Figura 1.** Curvas de crecimiento de vaquillas Siboney con base en los modelos no lineales de von Bertalanffy (BER), logístico (LOG), Brody (BRO) y Gompertz (GOM).

(Ballent *et al.* 2003, Berry *et al.* 2005).

La EPE promedio fue de  $2.2 \pm 0.26$  años, con promedio de  $333.6 \pm 9.52$  kg. Los resultados del análisis de regresión fueron:  $EPE = (0.026102)(P24M) - (0.0000636)(P24M^2)$ ;  $EPE = (23.86)(TAC) - (59.17)(TAC^2)$ ;  $EPE = (0.0796)(GM24) - (0.000675)(GM24^2)$ ; y,  $EPE = (0.0299)(PPI) - (0.00009506)(PPI^2)$ ; en todos los casos los coeficientes de regresión fueron estadísticamente diferente de cero ( $p < 0.01$ ) y el coeficiente de determinación fue igual o superior a 0.95. Las cuatro ecuaciones de regresión tuvieron comportamiento similar, al inicio la EPE incrementó junto con la variable de crecimiento evaluada hasta el punto de inflexión

o cambio del signo en la pendiente, con valores de 205.2 kg en P24M, 0.2016% en TAC, 58.9% en GM24 y 157.3 kg en PPI; a partir del punto de inflexión por cada unidad de incremento en los PC se observaron efectos para reducir EPE; en la Figura 2 se presenta el comportamiento de la EPE a través del P24M.

La edad puede ser un modulador significativo del inicio de la pubertad, siempre y cuando los animales estén en un plano nutricional adecuado en las primeras fases del desarrollo. El inicio de la fase reproductiva es un proceso presidido por una señal nutricional, el cerebro requiere reconocer cierto grado de desarrollo corporal y madurez para iniciar las funciones del mecanismo fisiológico que controlan



**Figura 2.** Relación de la edad al primer empadre y el peso vivo a los 24 meses de edad, producto del análisis de regresión lineal de orden cuadrático.

la reproducción, lo cual sustenta el criterio de que el tamaño corporal es más importante que la tasa de crecimiento, dado que el crecimiento y conformación del aparato reproductor constituyen un proceso gradual que requiere de cierto grado de madurez del animal (Placen *et al.* 1998, Foster y Nagatani *et al.* 1999). Otros autores han propuesto que la pubertad ocurre en el punto de inflexión de la curva de crecimiento, en ese punto se realiza un cambio en la tasa de crecimiento y en la tasa de deposición de tejido magro a tejido graso, asociando el retraso de la pubertad a una menor deposición de grasa (Randel y Welsh 2013); el tejido adiposo desempeña un papel importante en los mecanismos que regulan los factores de crecimiento y las hormonas reproductivas (Zieba *et al.* 2005, Hausman *et al.* 2012). Las vaquillas pueden alcanzar la pubertad a un peso similar,

pero no ocurre con una composición corporal o estado metabólico y endocrino similar (Hall *et al.* 1995).

Con el manejo y alimentación de la vaquilla en crecimiento se debe planear un peso y desarrollo corporal adecuado para el primer parto, con la intención de evitar repercusiones en el rendimiento por lactancia y la longevidad o vida productiva de la vaca. El modelo de von Bertalanffy fue el de mejor ajuste para describir el crecimiento de las vaquillas Siboney, presentó una curva sigmoidea con punto de inflexión a los 5.93 meses de edad con 152.4 kg. Los parámetros de crecimiento mostraron efecto sobre la edad al primer empadre y al inicio una pendiente positiva, a partir de este punto de cambio se observaron efectos para reducir la edad de inicio de la etapa reproductiva.

## LITERATURA CITADA

- Agudelo GDA, Cerón MM, Restrepo BL (2008) Modelación de las funciones de crecimiento aplicadas a la producción animal. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 21: 39-58.
- Alonso AC, Chongo B, Zamora A, Torres V, Noda AC, Acosta F (2014) Curvas de crecimiento de hembras en desarrollo Siboney de Cuba, hasta 18 meses de edad. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 48: 227-233.
- Ballent M, Landi HG, Bilbao G, Dick A (2003) Pubertad, peso vivo y desarrollo corporal en diferentes biotipos bovinos productores de leche: una actualización bibliográfica. *Información Técnica Económica Agraria* 2: 130-138.
- Berry DP, Horan B, Dillon P (2005) Comparison of growth curves of three strains of female dairy cattle. *Animal Science* 80: 151-160.



- Domínguez-Viveros J, Rodríguez-Almeida FA, Núñez-Domínguez R, Ramírez-Valverde R, Ortega-Gutiérrez JA, Ruiz-Flores A (2013) Ajuste de modelos no lineales y estimación de parámetros de crecimiento en bovinos Tropicarne. *Agrociencia* 47: 25-34.
- Domínguez-Viveros J, Ortega-Gutiérrez JA, Rodríguez-Almeida FA, Callejas-Juárez N, Aguilar-Palma NG, Santillán-Moreno E (2014) Ajuste de modelos no lineales para caracterizar el crecimiento de bovinos Hereford y Salers. *Revista Científica FCV-LUZ* 24: 436-442.
- Evora JC, Portales A, González-Peña D, Guerra D (2008) Relación entre las épocas de incorporación y parto y la eficiencia productiva de hembras Siboney de Cuba primíparas. *Ciencia y Tecnología Ganadera* 2: 97-101.
- Fernández FJ, Tronco MA (2011) Influencia de factores no genéticos en la producción de leche del Siboney de Cuba. *Revista Salud Animal* 33: 76-82.
- Ford JA, Park CS (2001) Nutritionally directed compensatory growth enhances heifer development and lactation potential. *Journal of Dairy Science* 84: 1669-1678.
- Foster DL, Nagatani S (1999) Physiological perspectives on leptin as a regulator of reproduction: role in timing puberty. *Biology of Reproduction* 60: 205-215.
- Funston RN, Deutscher GH (2004) Comparison of target breeding weight and breeding date for replacement beef heifers and effects on subsequent reproduction and calf performance. *Journal of Animal Science* 82: 3094-3099.
- Galvão CJ, Franklin BP, Tonhati H, Ramalho de FM (2009) Análise das relações da curva de crescimento e eficiência productiva de vacas raça holandesa. *Revista Brasileira de Zootecnia* 38: 2346-2353.
- Grings EE, Geary TW, Short RE, MacNeil MD (2007) Beef heifer development within three calving systems. *Journal of Animal Science* 85: 2048-2058.
- Hall JB, Staigmiller RB, Bellows RA, Short RE, Moseley WM, Bellows SE (1995) Body composition and metabolic profiles associated with puberty in beef heifers. *Journal of Animal Science* 73: 3409-3420.
- Hausman G, Barb C, Lents C (2012) Leptin and reproductive function. *Biochimie* 94: 2075-2081.
- López D, Ribas M (1993) New dairy cattle breeds. Results in Cuba. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 27: 1-10.
- Motulsky H, Christopoulos A (2003) Fitting models to biological data using linear and nonlinear regression. A practical guide to curve fitting. Graph Pad Software Inc. USA. 351p.
- Owens FN, Gill DR, Secrist DS, Coleman SW (1995) Review of some aspects of growth and development of feedlot cattle. *Journal of Animal Science* 73: 3152-3172.
- Palacios-Espinosa A, Domínguez-Viveros J, Padrón-Quintero Y, Rodríguez-Castro M, Rodríguez-Almeida FA, Espinoza-Villavicencio JL, et al. (2016) Caracterización de la curva de lactancia de bovinos siboney con modelos no lineales mixtos. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 7: 233-243.
- Perotto D, Cue RI, Lee AJ (1992) Comparison of nonlinear functions for describing the growth curve of three genotypes of dairy cattle. *Canadian Journal of Animal Science* 72: 773-782.
- Perotto D, de Paula CMJ, da Rocha JL, Martins PJ (1997) Descrição das curvas de crescimento de fêmeas bovinas Guzerá, Gir, Holandês x Guzerá e Holandês x Gir. *Revista Brasileira de Zootecnia* 26: 283-288.
- Placen NT, Heinrichs AJ, Erb HN (1998) The effects of disease, management, and nutrition on average daily gain of dairy heifers from birth to four months. *Journal of Dairy Science* 81: 1004-1009.

- Portales A, González-Peña D, Guerra D, Ortiz J (2007) Parámetros genéticos para rasgos reproductivos de primer parto en el genotipo Siboney de Cuba. *Ciencia y Tecnología Ganadera* 1: 143-148.
- Portales A, González-Peña D, Guerra D, Évora JC, Acosta M (2012) Parámetros genéticos de las características de leche, incorporación y parto en ganado Siboney de Cuba. *Ciencia y Tecnología Ganadera* 6: 27-33.
- Randel RD, Welsh TH (2013) Interactions of feed efficiency with beef heifer reproductive development. *Journal of Animal Science* 91: 1323-1328.
- Ribas M, Gutiérrez M, Mora M, Evora JC, González S (2004) Comportamiento productivo y reproductivo del Siboney de Cuba en dos localidades. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 38: 121-126.
- Roberts AJ, Geary TW, Grings EE, Waterman RC, MacNeil MD (2009) Reproductive performance of heifers offered ad libitum or restricted access to feed for a one hundred forty-day period after weaning. *Journal of Animal Science* 87: 3043-3052.
- Roche JR, Dennis NA, MacDonald KA, Phyn CV, Amer PR, White RR, *et al.* (2015) Growth targets and rearing strategies for replacement heifers in pasture-based systems: a review. *Animal Production Science* 55: 902-915.
- SAS (2005). User's Guide: Statistics. Version 9.0. Statistical Analysis System. SAS Institute Inc. Cary NC, USA. 5121p.
- Tiago TJ, Cazonatto GA, da Silva RW (2017) Comparing non-linear mathematical models to describe growth of different animals. *Acta Scientiarum Animal Sciences* 39: 73-81.
- Zieba DA, Amstalden M, Williams GL (2005) Regulatory roles of leptin in reproduction and metabolism: A comparative review. *Domestic Animal Endocrinology* 29: 166-185.