

Modelación del crecimiento de bovinos en pastoreo con gramíneas y leguminosas

Modeling the growth of cattle grazing grasses and legumes

Aslam Díaz Castillo^{1*}, Verena Torres Cárdenas², Santos Magdalena Herrera Gallo³, Lucía Fernández Chuairey¹ y Lucía Sarduy García²

¹Universidad Agraria de La Habana (UNAH). San José de Las Lajas, Mayabeque, Cuba. *Correo electrónico: aslamdiazcastillo@hotmail.com

²Instituto de Ciencia Animal (ICA). San José de Las Lajas Mayabeque, Cuba.

³Universidad Técnica de Quevedo. Quevedo, Los Ríos, Ecuador.

RESUMEN

Se evaluaron modelos con el objetivo de caracterizar el crecimiento de machos bovinos desde el destete (163 kg de peso y 382 días de edad) hasta el sacrificio (430 kg de peso y 693 días de edad), en 3 ciclos sucesivos de pastoreo: (1) 18 *5/8Holstein* x *3/8Cebú*, suplementados con 50 g de sal mineral/animal/día (carga de 3 animales/ha); (2.a) 6 *Cebú*, suplementados con 50 g de sal mineral/animal/día y (2.b) 6 *Cebú*, suplementados con 1,50 kg de activador ruminal/animal/día (carga de 2 animales/ha); y (3) 12 *Charolais de Cuba*, suplementados con 50 g de sal mineral/animal/día y 2,50 kg de alimento comercial/animal/día, 90 días antes del sacrificio (carga de 2 animales/ha). El sistema de producción de carne se dividió en: preceba (del destete hasta los 265 kg de peso y 494 días de edad) en asociación de gramíneas y leguminosas herbáceas, seguido de la ceba (hasta el sacrificio) en silvopastoreo con *Leucaena*. Los modelos de mejor ajuste fueron: Lineal, Logístico y Gompertz ($R^2 = 99\%$ y significación de los modelos y parámetros con $P < 0,001$). Las pendientes de las regresiones lineales fueron de 0,56 a 0,82, con mayor valor para el *Cebú* (2.b) y *Charolais de Cuba* (3). La mayor ganancia de peso instantánea ocurrió alrededor de los 500 días de edad (primera derivada del modelo Logístico). Los modelos permitieron describir el crecimiento de los machos bovinos de estos 3 genotipos del destete al sacrificio, en pastoreo con gramíneas y leguminosas.

Palabras clave: modelos, carne, leucaena, *Holstein*, *Cebú* y *Charolais*.

ABSTRACT

Models were evaluated to aim characterize the growth of bovine males from weaning (163 kg of weight and 382 days of age) to sacrifice (430 kg of weight and 693 days of age), in 3 successive cycles of shepherding: (1) 18 *5/8Holstein* x *3/8Zebu*, with 50 g of salt mineral/ animal/day (3 animals/ha); (2.a) 6 *Zebu*, with 50 g of salt mineral/animal/day and (2.b) 6 *Zebu*, with 1.50 kg of activator ruminal/animal/day (2 animals/ha); and (3) 12 *Charolais of Cuba*, with 50 g of salt mineral/animal/day and 2.50 kg of commercial balanced/animal/day, 90 days before the sacrifice (2 animals/ha). The system of meat production was divided in: prefattening (weaning up to 265 kg of weight and 494 days of age) in association of gramineous and herbaceous leguminous, followed by feeding with *Leucaena* until sacrifice. Best adjustment models were: Lineal, Logistical and Gompertz ($R^2 = 99\%$ and significance of the models and parameters with $P < 0.001$). The slopes of the lineal regressions went from 0.56 to 0.82, with more value for the *Zebu* (2.b) and *Charolais of Cuba* (3). The biggest instantaneous gain of weight happened around the 500 days of age (first derived of the Logistical model). The models allowed describing the growth of the bovine males from weaning to sacrifice, in shepherding with gramineous and leguminous.

Key word: models, meat, leucaena, *Holstein*, *Zebu* and *Charolais*.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento animal responde a una curva sigmoidea que representa el grado de madurez de los diferentes tejidos y responde a las condiciones ambientales y el genotipo del animal (Agudelo *et al.*, 2008 y Silva 2013). La ganancia media diaria de peso vivo (GMD de PV) y la deposición de proteínas se reducen con la edad y aumenta la acumulación de grasa que afecta la eficiencia energética de los sistemas de ceba (Joandet, 1990).

Los modelos estadísticos de Brody (1945), Bertalanffy (1957) y Richards (1959) se han utilizado para ajustar funciones matemáticas al crecimiento animal, estimar la relación de peso por edad, los requerimientos nutricionales y evaluar la eficiencia de las tecnologías productivas. Se ha podido describir el crecimiento de diferentes razas bovinas productoras de carne y doble propósito a través de modelos como los de Joandet y Cartwright (1969) para *Brahman* × *Hereford*; Goonewardene *et al.* (1981) y Nadarajah *et al.* (1984) para *Hereford*, *Charolais*, *Angus*, *Galloway*, *Charolais* × *Angus* y *Holstein* × *Angus*; De Behr *et al.* (2001) para *Belgian Blue*; Menchaca (1990; 1991a, b; 1992 y 1996) para *Cebú*, Domínguez *et al.* (2012) para *Tropicarne*, Iraola (2013) para *Holstein* × *Cebú*, Vergara *et al.* (2013) para cruzamientos de *Brahman*, *Holstein*, *Angus* y *Simmental* con *Cebú* y *Limousine* con *Cebú* Alonso (2014) para *Siboney de Cuba* y Nogales *et al.* (2014) para el bovino *Marismeño*.

El ajuste de los modelos se afecta por la velocidad de crecimiento de cada raza (bovinos de maduración temprana o tardía) y el sistema de crianza (Cañequé y Sañudo, 2005 e Igarzábal *et al.*, 2005).

Los sistemas de pastoreo de gramíneas y leguminosas tropicales (herbáceas y arbustivas) permiten altas tasas de GMD de PV en bovinos para la producción de carne y cría (Díaz *et al.*, 2013 y Cino *et al.*, 2014).

Sin embargo, Resulta necesario disponer de modelos estadísticos para predecir el crecimiento de estos animales en los diferentes regímenes de crianza de las áreas productivas, cuando existen variaciones de los genotipos, suplementos y carga animal.

El objetivo de esta investigación fue evaluar modelos estadísticos que permitan describir el crecimiento de machos bovinos *5/8Holstein* × *3/8Cebú*, *Cebú* y *Charolais de Cuba*, en pastoreo con asociaciones de gramíneas y leguminosas herbáceas y arbustivas, con carga de 2 y 3 animales/ha y diferentes suplementos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los trabajos se condujeron en la finca Ayala, del ICA, a 92 m.s.n.m., 22°53' latitud norte y 82°02' longitud oeste. En un suelo ferralítico, ondulado, con 4.84% de materia orgánica, 0.26 de nitrógeno total, 40,59 ppm de fósforo, 4,60 de calcio, 0,46 de magnesio y pH de 6.34. La temperatura promedio anual de 27°C, la humedad relativa del 81,40% y el promedio anual de precipitaciones de 1.400 mm. Se utilizó el auto-pastoreo (libre acceso al agua y al suplemento), durante 24 horas. Los experimentos se condujeron sin riego, ni fertilización.

Se utilizaron los pesajes cada 28 días de 42 machos bovinos del destete (163 ±28 kg de peso y 382 ±89 días de edad) al sacrificio (430 ±26 kg de peso y 693 ±46 días de edad), en 3 ciclos sucesivos de pastoreo (Cuadro 1), para evaluar el ajuste de modelos estadísticos que permitan describir el crecimiento animal.

El primer ciclo (desde junio del 2002 hasta agosto del 2003) constó de 18 *5/8Holstein* × *3/8Cebú*, suplementados con 50 g de sal mineral/animal/día y carga de 3 animales/ha (Cuadro 1). Este primer ciclo se diseñó para evaluar sistemas que permitan aprovechar los machos provenientes de la ganadería lechera, en la producción de carne bovina.

El segundo ciclo (desde julio del 2003 hasta mayo del 2004) se conformó por 12 *Cebú* divididos en 2 grupos de alimentación o tratamientos, con igual número de animales y carga de 2 animales/ha (Cuadro 1). El primero se suplementó con 50 g de sal mineral/animal/día (2.a) y el segundo con 1,50 kg de activador de la fermentación del rumen/animal/día (con 8,15 MJ de energía metabolizable. kg de materia seca⁻¹ y 11,48% de proteína cruda), como se ve en el (2.b). Este experimento se realizó para analizar el efecto comparativo del uso de un suplemento activador de la fermentación del rumen, en animales

Cuadro 1. Comportamiento productivo de bovinos en pastoreo de gramíneas y leguminosas.

Primer ciclo de pastoreo con <i>5/8Holstein x 3/8Cebú</i>			
Indicadores			DE, ±
PV inicio, kg	140,39		8,04
PV final, kg	407,83		15,06
Duración, días	455		-
GMD, g	588		0,03
kg totales de PV/ha	816		-
Edad al sacrificio, meses	24,62		-
Segundo ciclo de pastoreo con <i>Cebú</i>			
Indicadores			EE, ±
Tratamientos	Sal mineral	Activador	
PV inicial, kg	190,17	186,33	3,68
PV final, kg	440,83	450,67	6,44
Duración, días	330		-
GMD, g	760	801	4,32
kg totales de PV/ha	882	902	-
Edad al sacrificio, meses	22,23	21,64	-
Tercer ciclo de pastoreo con <i>Charolais de Cuba</i>			
Indicadores			DE ±
PV inicio, kg	140,42		16,90
PV final, kg	444,75		24,81
Duración, días	363		-
GMD, g	838		0,05
kg de PV/ha	668		-
Edad al sacrificio, meses	22		-

en pastoreo de gramíneas asociadas con leguminosas; la reducción de la carga animal, el efecto de la reducción de la carga animal, respecto al primer ciclo de pastoreo y el uso de animales con mejor potencial para la producción de carne.

El tercer ciclo (de junio del 2004 a junio del 2005) lo integraron 12 animales *Charolais de Cuba*, suplementados con 50 g de sal mineral/animal/día y durante 90 días antes del sacrificio se les suministró 2,50 kg de alimento comercial/animal/día (12,91 MJ de energía metabolizable.

kg de materia seca y 20,53% de proteína cruda), con carga de 2 animales/ha (Cuadro 1). En la época poco lluviosa, durante 60 días de la ceba del tercer ciclo de pastoreo, se condujeron experimentos en 2,50 ha de *Pennisetum purpureum* Schumacher vc. *Cuba CT-115*, como banco de biomasa. Este trabajo se diseñó para evaluar el potencial productivo de los pastizales con leguminosas y el banco de biomasa de *P. purpureum* vc. *Cuba CT-115*, para el período poco lluvioso, con el genotipo de ganado de carne más especializado de Cuba y uso mínimo de suplemento durante la finalización.

En todos los casos la sal mineral se compuso de 46,50% de cloruro de sodio, 50% de fosfato dicálcico y 3,50% de minerales traza.

Los *Charolais de Cuba* se compraron en la empresa pecuaria genética “Camilo Cienfuegos Gorriarán”, de la provincia Pinar del Río y los *5/8Holstein x 3/8Cebú* y *Cebú* en la granja pecuaria genética del ICA, Mayabeque. Los animales se distribuyeron en un diseño completamente aleatorizado, por lotes homogéneos de peso y edad, en tres ciclos de pastoreo sucesivos, donde no hubo bajas durante la experimentación. Se desparasitaron y sometieron a cuarentena, antes de iniciar las investigaciones.

El sistema de producción de carne se dividió en: preceba (del destete hasta los 265-38 kg de peso y 494 ±72 días de edad) en asociación de gramíneas no cultivadas y leguminosas herbáceas (*Neonotonia wrightii* Lackey, *Pueraria phaseoloides* Benth, *Macroptilium atropurpureum* Urban y *Centrocema pubensis* Benth) seguido de la ceba (hasta el sacrificio) en silvopastoreo con 100% *Leucaena leucocephala* Lam. y predominio de *Cynodon nlemfuensis* Vanderyst como pasto base. Las áreas asociadas de gramíneas y leguminosas herbáceas y el silvopastoreo se dividieron en 8 cuartos de 0,75 ha, respectivamente y el banco de biomasa se dividió en 8 cuartos, de 0,25 ha cada uno.

Se calcularon los principales indicadores productivos por ciclo de pastoreo: ganancia media diaria (GMD) de peso vivo (PV), acumulada del período, duración, producción de PV/ha y edad al sacrificio.

Los datos se procesaron por el software estadístico INFOSTAT de Balzarini *et al.* (2001), STATGRAPHICS Plus V.5.1 (2002) y SPSS (2003), para evaluar indicadores de estadística descriptiva como la desviación estándar (DE) y el promedio, y la realización de análisis de varianza (ANOVA) simple en la comparación de los *Cebú* del segundo ciclo de pastoreo que consumieron sal mineral o suplemento activador de la fermentación del rumen y la determinación del error estándar (EE).

Se probaron los siguientes modelos matemáticos para estimar el crecimiento animal:

Regresión lineal: $Y = \alpha + \beta * edad$

Logística: $Y = \alpha / (1 + \beta^{-\gamma * edad})$

Gomperz: $Y = \alpha \beta^{\gamma * edad}$

Donde: Y es el peso de los animales y α , β y γ son parámetros de los modelos.

Se consideraron los siguientes criterios para la selección de los modelos de mejor ajuste: método de ajuste del modelo, significación del modelo (SM) y de los parámetros del modelo (SPM), coeficiente de determinación (R^2), error estándar de estimación de los parámetros del modelo (ESEPM), cuadrado medio del error de predicción (CMEP) y la auto correlación de los residuos, enunciados por Fernández (1996); Guerra *et al.* (2002; 2003) y Fernández (2004).

Se realizó la comparación de las pendientes (b) en la regresión lineal de cada ciclo de pastoreo, con la d-ésima de *T-Students* y la primera derivada del modelo no lineal Logístico. Se efectuó la evaluación gráfica del peso vivo por edad, los modelos y residuos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se alcanzaron 588 g/animal de GMD, con 3 *5/8Holstein x 3/8Cebú*/ha y suplementación mineral en pastoreo asociado de gramíneas y leguminosas. Además se lograron 760 g/animal de GMD, con 50 g de sal mineral/animal/día y 801 g/animal de GMD g, con 50 g de sal mineral/animal/día, sin diferencias con el uso de 1,50 kg de suplemento activador de la fermentación del rumen/animal/día, 902 g/animal al mejorar el genotipo y reducir la carga a 2 *Cebú*/ha. Con 2 *Charolais de Cuba*/ha, donde se obtuvieron 838 g/animal de GMD de PV, con minerales y alimento comercial, sólo por 90 días antes del sacrificio (Cuadro 1).

Los resultados de las regresiones indicaron que los modelos Lineal, Logístico y Gomperz poseen alta bondad de ajuste (R^2 del 0,99% en todos los casos), con $P < 0,001$ (Duncan 1955) para la SM y SPM por lo que se pueden utilizar para describir el crecimiento ponderal (relación PV por edad) del destete al sacrificio, en sistemas de producción de carne bovina en pastoreo de gramíneas y leguminosas (Cuadro 2).

El patrón de linealidad que describe el crecimiento de los bovinos, en estos sistemas de pastoreo

Cuadro 2. Modelos, con sus parámetros de selección, por ciclo de pastoreo.

Ciclo de pastoreo	Modelo	Método	ESEPM, \pm	CMEP
1. <i>5/8Holstein x 3/8Cebú</i>	Lineal	MCO	$\alpha=2,80$; $b=0,004$	30,72
	Logístico	MQ	$\alpha=13,44$; $\beta=0,2$; $\gamma=0,0001$	1,22
	Gomperz	MQ	$\alpha=42,77$, $\beta=5,7$, $\gamma=0,001$	12,90
2.a. <i>Cebú con minerales</i>	Lineal	MCO	$\alpha=5,33$; $b=0,01$	10,78
	Logístico	MQ	$\alpha=39,81$; $\beta=0,93$; $\gamma=0,004$	16,37
	Gomperz	MQ	$\alpha=80,98$; $\beta=0,18$; $\gamma=0,0004$	12,43
2.b. <i>Cebú con activador ruminal</i>	Lineal	MCO	$\alpha=4,64$; $b=0,01$	8,15
	Logístico	MQ	$\alpha=20,15$; $\beta=0,74$; $\gamma=0,0003$	6,13
	Gomperz	MQ	$\alpha=34,09$; $\beta=0,12$; $\gamma=0,0002$	3,41
3. <i>Charolais de Cuba</i>	Lineal	MCO	$\alpha=8,48$; $b=0,02$	35,85
	Logístico	MQ	$\alpha=44,37$; $\beta=3,36$; $\gamma=0,007$	68,53
	Gompertz	MQ	$\alpha=46,03$; $\beta=0,5$; $\gamma=0,0005$	4,18

Leyenda: Métodos de los mínimos cuadrados ordinarios (MCO) y de Marquardt (MQ).

(en algunas figuras se superponen las líneas del peso vivo y las funciones, porque el ajuste de las funciones es alto) puede en asociación de gramíneas y leguminosas tropicales (Figuras 1-4) indicó que los animales se pueden sacrificar a mayor PV, con una edad que no compromete la deposición de grasa de las canales y no afecta la eficiencia económico-productiva de la ceba. Se demostró la distribución de residuos por encima y por debajo del eje de las ordenadas, sin serios problemas de auto-correlación (DW superior a 1,40).

Con la comparación 1:1 de las pendientes de las regresiones lineales (Figura 5) se mostraron las diferencias ($P<0,001$) del crecimiento de los animales, entre los sistemas de manejo y alimentación en estudio.

El grado asíntota hacia el eje de las abscisas, fue mayor en la preceba de ganado *Charolais de Cuba*, con suplemento energético, lo que responde a una mayor GMD de PV y la mayor inclinación hacia el eje de las ordenadas, correspondió al ciclo de pastoreo con *5/8Holsteinx3/8Cebú*, indicativo de un retardo en el tiempo de ceba, por su menor velocidad de crecimiento (ganancia media diaria), producto de la raza y la carga en pastoreo, sin el uso de balanceados.

La mayor ganancia de peso instantánea, que se evaluó con la primera derivada del modelo logístico, ocurrió alrededor de los 500 días de edad en todos los ciclos de pastoreo (Figuras 6-8).

Con el estudio de la ganancia instantánea se demostró que alrededor de los 1,37 años de edad se produce la mayor ganancia y eficiencia en la utilización de los nutrientes por los animales en el sistema. Luego de esta edad se va reduciendo la ganancia hasta el final del período en evaluación.

Los resultados productivos (Cuadro 1) en la preceba de *Holstein x Cebú* fueron similares a los obtenidos por Monzote *et al.* (1982), de 567 g/animal/día de PV, en una asociación de leguminosas herbáceas múltiples y gramíneas, con carga entre 2-3 animales/ha y los trabajos de Valdés *et al.* (1984) en pastoreo de glycine y kudzú con gramíneas naturales y carga de 2 animales/ha, de 320 g/animal. Con leucaena se lograron resultados similares a los de Castillo *et al.* (1998), de GMD de 600 g/animal y Carrete *et al.* (1993) en la época poco lluviosa, en una asociación de pasto estrella africana (*Cynodon plectostachyus*) y leucaena, con 660 y 671 g/animal, en dos ciclos sucesivos de pastoreo, pero con 2 animales/ha. Las diferencias, entre

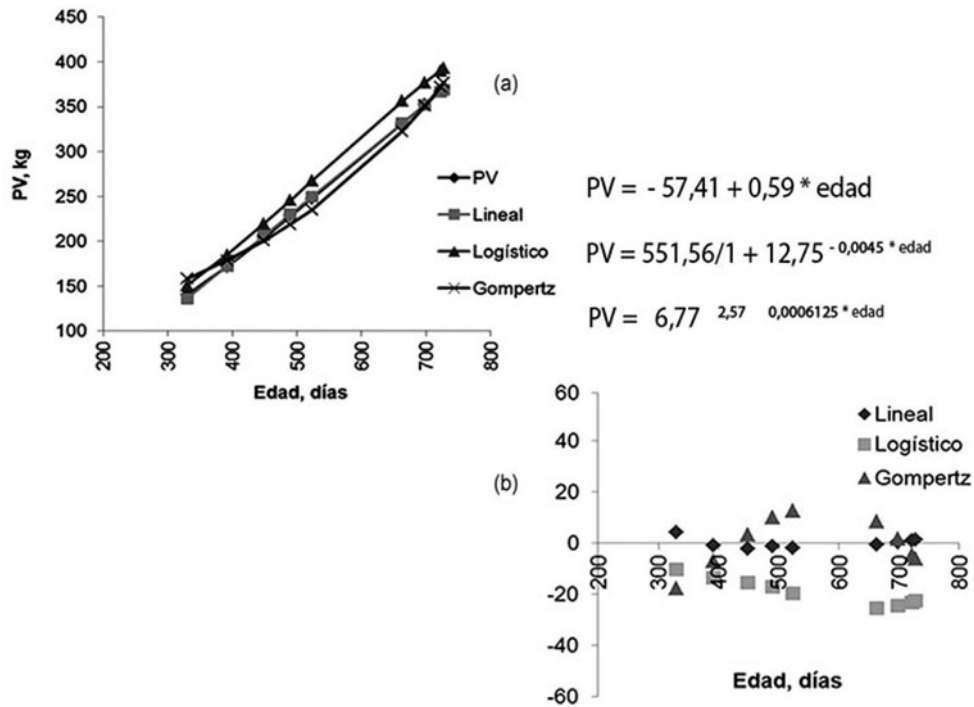


Figura 1. (a) Curvas de peso vivo por edad y de las funciones; y (b) distribución de los residuos en el primer ciclo de pastoreo, con 5/8 *Holstein* x 3/8 *Cebú*.

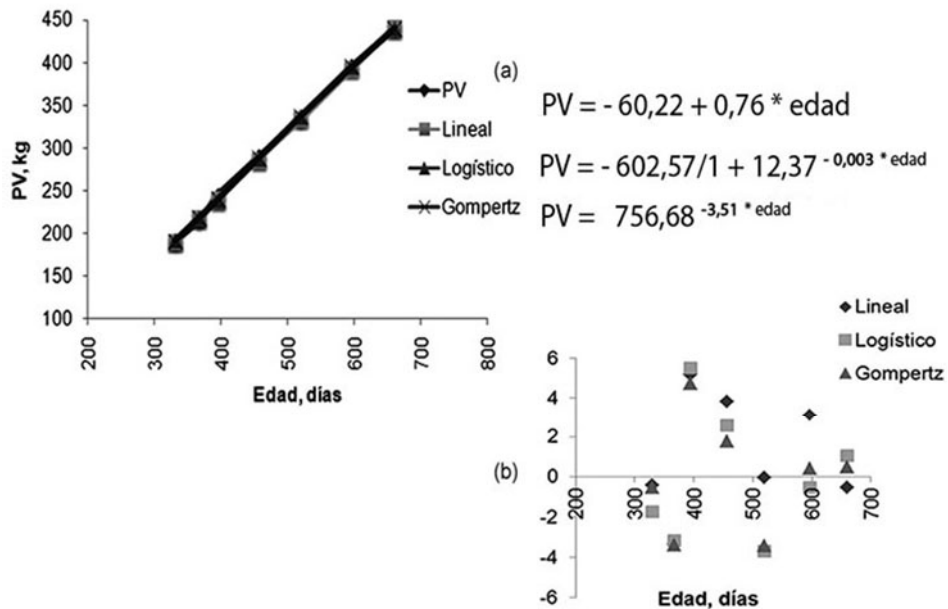


Figura 2. (a) Curvas de peso vivo por edad y de las funciones; y (b) distribución de residuos en el segundo ciclo de pastoreo, con *Cebú* suplementados con sal mineral.

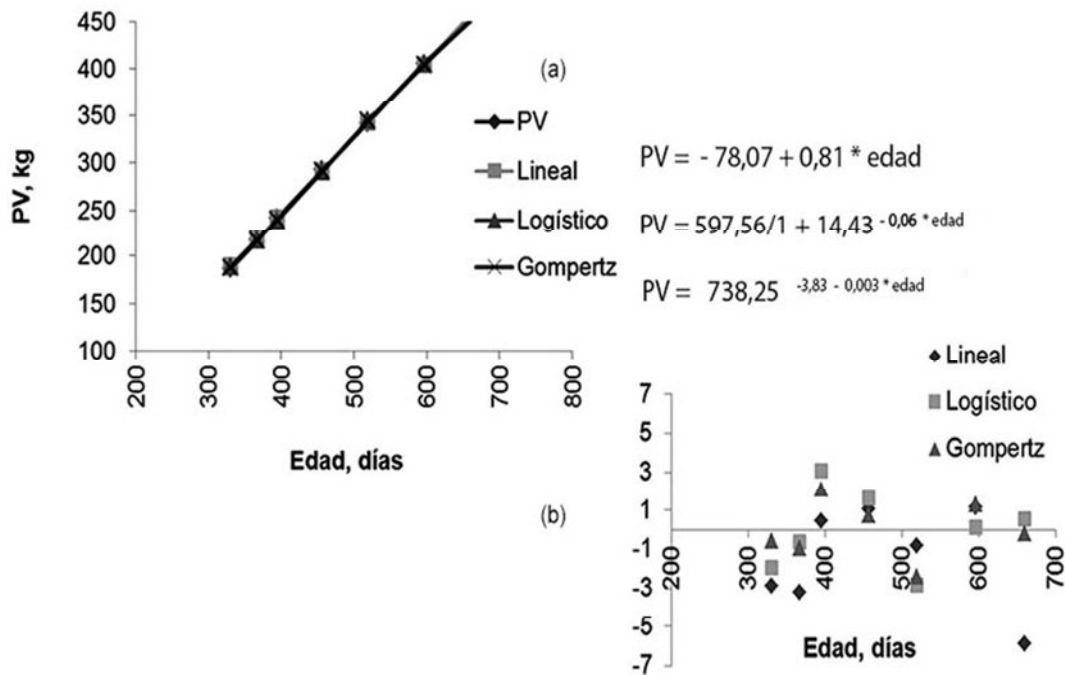


Figura 3. (a) Curvas de peso vivo por edad y de las funciones; y (b) distribución de residuos en el segundo ciclo de pastoreo, con *Cebú* suplementados con activador ruminal.

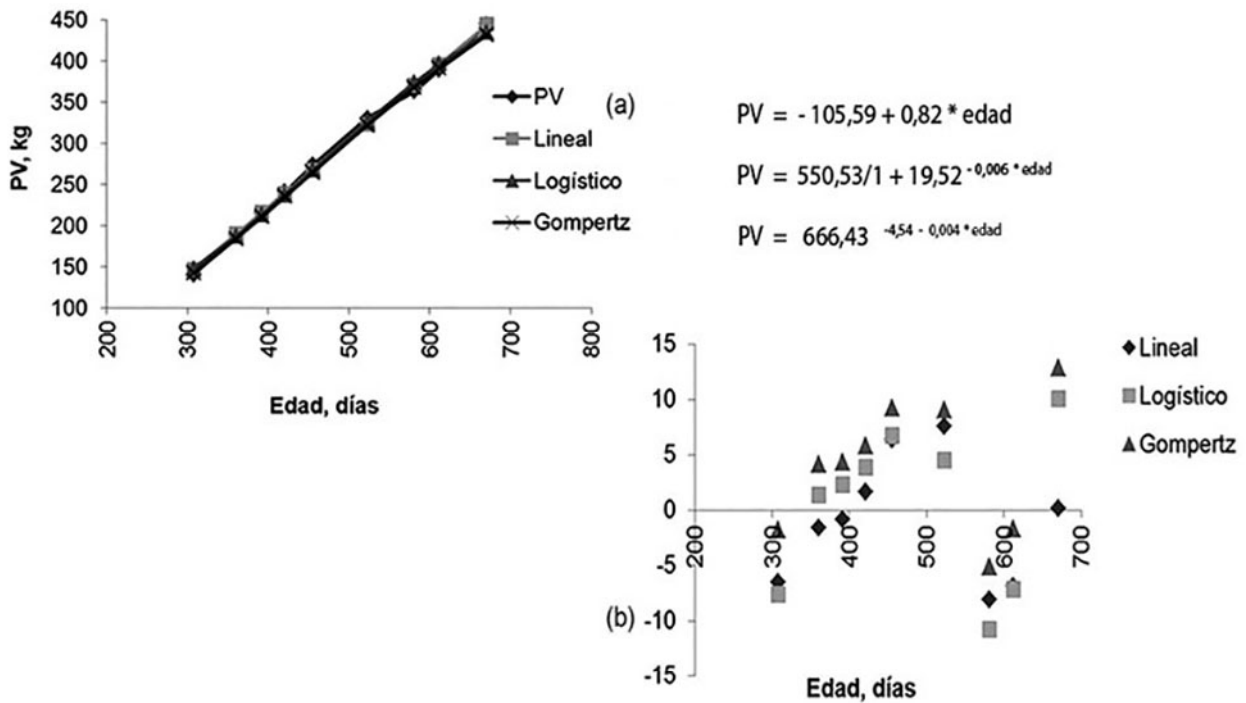


Figura 4. (a) Curvas de peso vivo por edad y de las funciones; y (b) distribución de residuos en el tercer ciclo de pastoreo, con *Charolais de Cuba*.

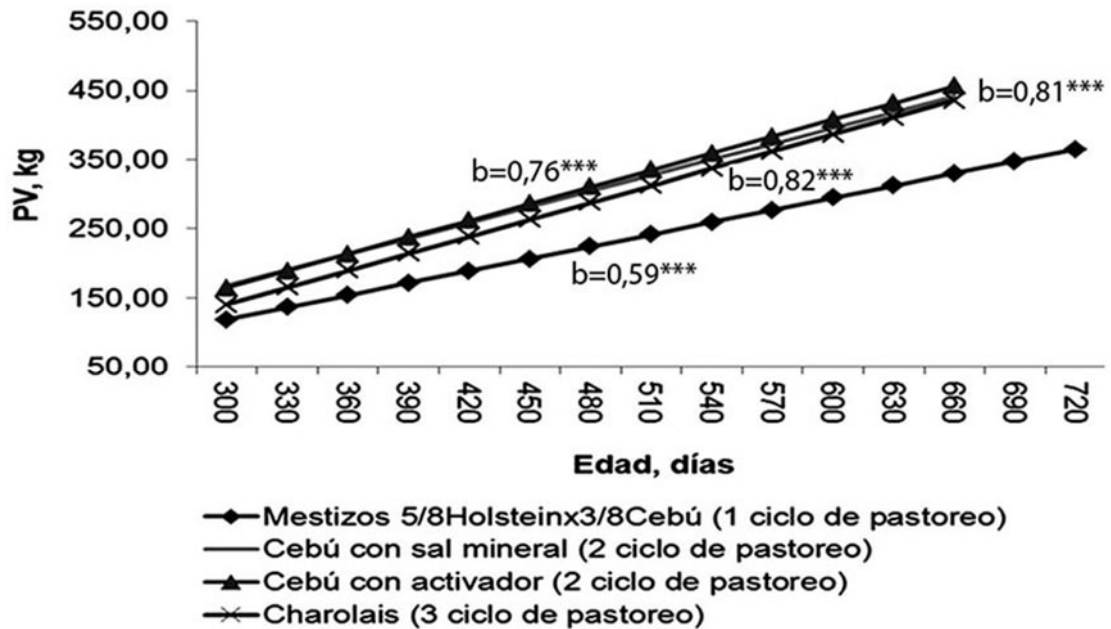
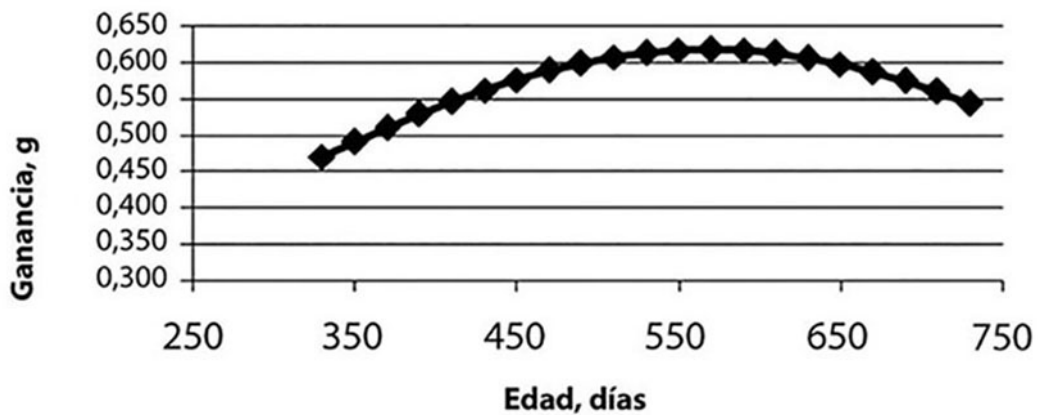
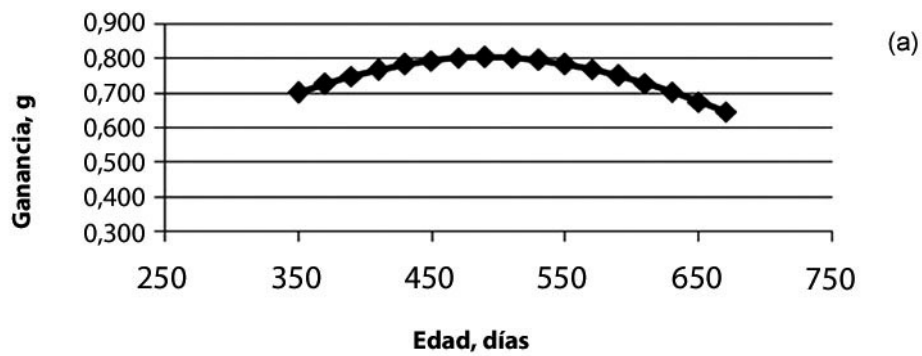


Figura 5. Diferencia ($P < 0,001$) entre las pendientes (b) de la regresión lineal por ciclo de pastoreo.

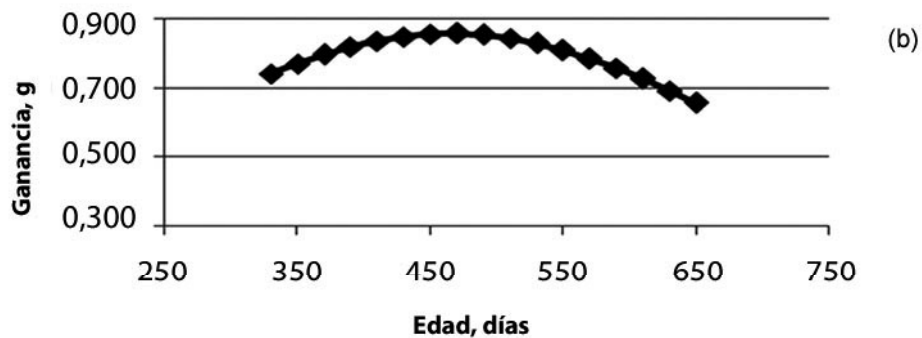


$$PV^i = 551,397 (1 + 12,7538 e^{-0,00448748 \text{ edad}})^{-2} (12,7538 (0,00448748 e^{-0,00448748 \text{ edad}}))$$

Figura 6. Ganancia instantánea de 5/8 Holstein x 3/8 Cebú.

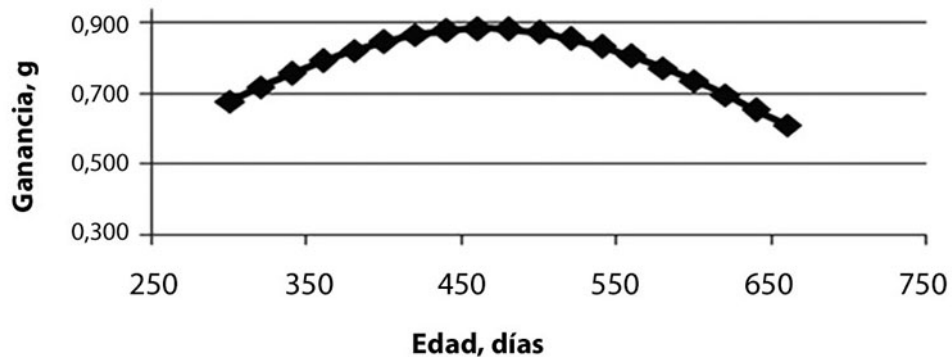


$$PV' = 602,236 (1 + 13,6174 e^{-0,00533315 \text{ edad}})^{-2} (13,6174 (0,00533315 e^{-0,00533315 \text{ edad}}))$$



$$PV' = 559,66 (1 + 14,4292 e^{-0,00574876 \text{ edad}})^{-2} (14,4292 (0,00574876 e^{-0,00574876 \text{ edad}}))$$

Figura 7. (a) Ganancia instantánea de *Cebú* con sal mineral y (b) con activador ruminal.



$$PV' = 550,53 (1 + 19,52 e^{-0,0064 \text{ edad}})^{-2} (19,52 (0,0064 e^{-0,0064 \text{ edad}}))$$

Figura 8. Ganancia instantánea de *Charolais de Cuba*.

la carga y el pasto base que utilizan los autores anteriores, pudieron conducir a diferencias con los resultados que se obtuvieron en nuestra investigación.

Con *Cebú* en pastoreo asociado no se encontraron diferencias entre utilizar o no un suplemento activador del rumen, lo que reafirmó el valor que poseen las leguminosas en la mejora de la asimilación de los nutrientes. Resultados similares en la GMD de PV obtuvieron Pérez *et al.* (2001) obtuvieron 687 y 836 g/animal, con 2,50 toretes *Indobrasil* y *Brahaman x Suizo*/ha, en pastoreo con leguminosas herbáceas, como banco de proteína, de 30 a 60 minutos al día y pasto estrella en el resto del área mientras, Hernández *et al.* (1986) obtuvieron 715 y 400 g/animal, en época lluviosa y poco lluviosa, respectivamente, con *Cebú*, en pastoreo de leguminosas herbáceas (*N. wightii*, *M. atropurpureum*, *Teramnus labialis* e *Indigosfera spp.*), leucaena y gramíneas naturales.

En la ceba de *Cebú* con leucaena, Lourenco *et al.* (2001) y Hernández *et al.* (2003) obtuvieron 459 y 650 g/animal, sin suplementación, respectivamente. Ambas GMD están por debajo de las nuestras porque esos autores utilizaron gramíneas naturales, al igual que Iglesias (2003) quien obtuvo 621 g/animal, entre las dos épocas del año.

En pastoreo con *Charolais de Cuba* la GMD de PV fue alta, con excepción de los 58 días en el Cuba CT-115 que tenía una alta acumulación de biomasa por su reposo de 90 días, pero los animales tenían acceso a leguminosas y sólo se suplementaron con sal mineral. El resultado es más relevante, al obtenerse con un gasto de 180 kg de suplemento/animal en todo el período. Aunque, los estadígrafos de dispersión fueron altos, Mackinon *et al.* (1991) demostraron que estos valores se elevan en pastoreo tropical, por la mayor interacción genotipo-ambiente. Rico *et al.* (1987) reportaron GMD inferiores, de 632 g/animal, en pruebas de comportamiento con *Charolais de Cuba* en pastoreo, pero sólo con gramíneas y suplementación. No obstante, Moreno *et al.* (2007), con ganado *Charolais*, en México obtuvo 1.197 g/animal, pero en estabulación.

El crecimiento de los bovinos tuvo tendencia a la linealidad (Figuras 1-4), en coincidencia

con los reportes de Cañeque y Sañudo (2005). Esto se pudo corroborar en los 3 ciclos de pastoreo evaluados, a partir del destete, donde los animales permanecieron aproximadamente un año en el sistema, para sacrificarse con una GMD de PV estable, sin pérdida de peso, en todo el período. Robert-Granié *et al.* (2002) demostraron el buen ajuste de una función acorde al modelo lineal general, en toretes *Maine x Anjou*, para describir el aumento del PV con la edad, desde 100 a 650 días de edad. Molina *et al.* (1992) también, encontró un buen ajuste, para una ecuación correspondiente a la regresión lineal, en machos vacunos de la raza *Retinto de Andalucía y Extremadura*.

El ajuste de estos modelos, en coincidencia con los resultados de esta investigación, se confirma la tendencia a la linealidad del crecimiento animal, cuando así lo permite la tecnología de crianza a que son sometidos. Portela *et al.* (2013) en bovinos de corte *Nerole* encontraron que las funciones de mejor ajuste fueron las de Gompertz y Logístico.

Del mismo modo, no se ajustaron modelos no lineales de funciones sigmoides y parabólicas (convexas o cóncavas) que tradicionalmente se emplean, para describir el crecimiento de toda la vida útil de los bovinos, como el de Brody (1945) que tiene el mejor ajuste en animales desde 6 meses de edad; los de Corzo y Geerken (1994) y Fernández (1996) que describen el crecimiento, desde el nacimiento hasta el sacrificio; ni los referidos por Menchaca (1990; 1991a, b; 1992; 1996) que describen el crecimiento animal por etapas. No se presentaron las sobrestimaciones de PV de los modelos Logístico y de Gompertz, observadas por Fitzhugh (1974) y Brown *et al.* (1976) en bovinos pre-púberes y en la madurez. Nogales *et al.* (2014) evaluó las funciones Brody, Von Bertalanffy, Logística y Gompertz, en ganado *Marismeño* y encontraron que la mejor descripción la realizó la ecuación de Brody, para las condiciones de crianza de estos bovinos en reservas naturales.

En condiciones tropicales de crianza de mediana a baja intensidad que ocasionaron tasas de madurez lenta, Domínguez *et al.* (2013) determinó que la función de Brody, permitió describir mejor el crecimiento del *Tropicarne*. Vergara *et al.* (2013) determinaron que la ecuación de Brody

permitió describir con precisión el crecimiento de bovinos *Brahman*, *Holstein*, *Angus* y *Simmental* cruzados con *Cebú* o *Limousine* con *Cebú* comercial, en distintas proporciones.

La mayor velocidad de crecimiento se obtuvo con machos *Cebú* y *Charolais de Cuba* (Figura 5) en correspondencia el uso de genotipos con mayor adaptación y más productores de carne que los mestizos de *Holstein*. Aunque, la mayor GMD de PV ocurrió sobre los 500 días de edad (Figuras 6-9) en la evaluación de la primera derivada del modelo logístico en todos los ciclos de pastoreo, los animales continúan ganando peso, a partir de esta edad, pero con un menor ritmo de crecimiento hasta aproximadamente los dos años de vida. Esto indica que se puede realizar una ceba eficiente en sistemas de pastoreo con gramíneas y leguminosas tropicales hasta esa edad, donde se pueden alcanzar mayores pesos al sacrificio, sin comprometer el resultado económico de los sistemas.

Estos resultados garantizan el ajuste dinámico de los aportes de nutrientes, según los requerimientos, por raza, categoría y carga animal, con lo que se reducen las pérdidas por concepto de costos tecnológicos de oportunidad y permiten la optimización productiva de la ceba bovina en pastoreo con gramíneas y leguminosas tropicales herbáceas y arbustivas.

CONCLUSIONES

Los mejores resultados productivos en GMD de PV se obtuvieron con *Charolais de Cuba* de 838 g/animal y de 760 y 801 g/animal con *Cebú*, con sal mineral o activador, respectivamente y los más bajos, de 588 g/animal, con $5/8$ *Holstein* x $3/8$ *Cebú*.

Los modelos de mejor ajuste fueron el Lineal, Logístico y Gompertz (R^2 del 99% y significación de los modelos y parámetros con $P < 0,001$, en todos los casos).

Las pendientes de las regresiones lineales fueron de 0,56 a 0,82, con mayor valor para el *Cebú* con activador ruminal y *Charolais de Cuba*.

Con el análisis de la primera derivada del modelo Logístico se demostró que la mayor ganancia de peso instantánea ocurrió alrededor de los 500 días de edad.

Los modelos que se utilizaron permitieron describir el crecimiento de los machos bovinos de estos genotipos, del destete al sacrificio, en pastoreo con gramíneas y leguminosas.

LITERATURA CITADA

- Agudelo, G. D. A., M. M. Cerón y B. L. F. Restrepo. 2008. Modelación de las funciones de crecimiento aplicadas a la producción animal. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 21: 39-58.
- Alonso, A. C. , B. Chongo, A. Zamora, V. Torres, A. C. Noda y F. Acosta. 2014. Curvas de crecimiento de hembras en desarrollo *Siboney de Cuba*, hasta 18 meses de edad. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 48 (3): 227-234.
- Balzarini, M. G, F. Casanoves, J. A. Di Rienzo, L. A. González y C. W. Robledo. 2001. INFOSTAT. Software estadístico. Manual de usuario. Versión 1. Córdoba, Argentina. Sp.
- Bertalanffy, L. V. 1957. Quantitative laws in metabolism and growth. *Q. Rev. Biol.* 32 (3): 217-231.
- Brody, S. 1945. *Bioenergetics and Growth*. Reinhold Publishing. New York, USA. 1.023 p.
- Brown, J. E, H. A. Fitzhugh and R. A. Carlivight. 1976. Comparison of nonlinear models for describing weight-age relationships in cattle. *J. Animal Scienc.* 34 (4): 522-40.
- Cañeque, V y C. Sañudo. 2005. Estandarización de las metodologías para evaluar la calidad del producto (animales vivos, canal, carne y grasa) en los rumiantes. Ed. Acribia. España. pp.12-22.
- Carrete, F. O., J. A. Eguarte y R. Sánchez. 1993. Comportamiento productivo de toretes en praderas asociadas de estrella-Leucaena en la época de seca. En: Resúmenes Taller Internacional "Papel de los pastos y forrajes en la ganadería de bajos insumos". 9-12 Marzo. EEPF "Indio Hatuey". Matanzas, Cuba. 20 p.

- Castillo, C. E., T. E. Ruiz y G. Febles. 1998. Utilización de la leucaena en el 100% del área. Conf. Esp. La Habana, Cuba. Sp.
- Cino, D. M., A. Díaz and Ana M. Vega. 2014. Replacement *Charolais* cows grazing a *Leucaena leucocephala-Cynodon nlemfuensis* association: economic and financial indicators. Cuban J. Agric. Sc., 48 (4): 323-27.
- Corzo, J. y C. Geerken C. 1994. Producción de carne. Los fundamentos de la fisiología del crecimiento. Conferencia especializada. ISCAH.
- De Behr, V. J. L., J. F. Hornick, A. Cabaraux, M. Álvarez and L. Istasse. 2001. Growth patterns of Belgian Blue replacement heifers and growing males in commercial farms. Liv. Prod. Sci. 71: 121-130.
- Díaz, A., E. Castillo, P. C. Martín and J. L. Hernández. 2013. Pre-fattening of crossbred dairy bulls under grazing with glycine (*Neonotonia wightii*) and tropical grasses with rumen activator supplement. Cuban J. Agric. Sc., 47 (1): 23-26.
- Domínguez, V. J., R. A. F. Alonso, D. R. Núñez, V. R. Ramírez, G. J. A. Ortega y F. A. Ruíz. 2013. Ajuste de modelos no lineales y estimación de parámetros de crecimiento en bovinos *Tropicarne*. Agrociencia, 47: 25-34.
- Duncan, D. B. 1955. Multiple ranges and multiple F-tests. Biometrics. 11.1.
- Fernández, L. 1996. Modelos que describen la dinámica de los procesos biológicos en las Ciencias Agropecuarias. Tesis de Maestría en Matemática Aplicada a las Ciencias Agropecuarias. 68 p.
- Fernández, L. 2004. Modelos Estadísticos-Matemáticos en el análisis de la curva de lactancia y factores que la afectan en el genotipo Siboney de Cuba. Tesis de Doctor en Ciencias Veterinarias. 113 p.
- Fitzhugh, H. A. 1974. Analysis of growth curves and strategies for altering their shape. J. Anim. Sci. 42: 1036-1051.
- Goonewardene, L. A., R. T. Berg and R. T. Hardin. 1981. A growth study of beef cattle. Can. J. Anim. Sci. 61: 1041-1048.
- Guerra, W., A. Cabrera y L. Fernández. 2002. Propuesta metodológica para la selección de modelos estadísticos. Aplicaciones a modelos de regresión. Monografía. UNAH. 35 p.
- Guerra, W., A. Cabrera y L. Fernández. 2003. Criterios para la selección de Modelos Estadísticos en la investigación científica. Rev. Cubana Cienc. Agric. 27 (1): 3-9.
- Hernández, C. A., A. Alfonso y P. Duquesne. 1986. Producción de carne basada en pastos naturales mejorados con leguminosas arbustivas herbáceas. I. Ceba inicial. Rev. Pastos y Forrajes, Cuba, 9: 79.
- Hernández, I., L. Simón y P. Duquesne. 2003. Evaluación de las arbóreas *A. lebeck*, *B. purpurea* y *L. leucocephala* en asociación con pasto bajo condiciones de pastoreo. Matanzas, Cuba. Disponible en línea: <http://lead-es.virtualcentre.org/es/ele/conferencia2/vbconfe8.htm>. [Sep. 09, 2013].
- Igarzábal, A., M. Oreguil, N. Mandaluriz, M. Amenábar y R. Ruíz. 2005. Estudios de las curvas de crecimiento en el ganado vacuno en los principales sistemas de producción de País Vasco. ITEA, 26 (Vol. Extra I): 222-24.
- Iglesias, J. M. 2003. Los Sistemas Silvopastoriles, una alternativa para la crianza de bovinos jóvenes en condiciones de bajos insumos. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Veterinarias. Instituto de Ciencia Animal. La Habana, Cuba. 135 p.
- Iraola, J. J. 2013. Diversidad funcional de un sistema silvopastoril para recuperar la capacidad de carga biológica. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Veterinarias. Instituto de Ciencia Animal. La Habana, Cuba. 131 p.
- Joandet, G. E. and T. C. Cartwright. 1969. Estimation of efficiency of beef production, J. Anim. Sci. 29: 862-868.

- Joandet, G. E. 1990. Tamaño corporal, su incidencia en la eficiencia de producción de carne. 5° Congreso Mundial Brahman, Bs.As. Conferencia. Cebú y derivados, 449:11-20.
- Lourenco, A. J., P. R. Leme and M. M. De Queiroz. 2001. Animal performance on brachiaria brizantha alone or supplemented with concentrate or protein bank of leucaena leucocephala 1. **En:** Memorias del XIX Congreso Internacional de Pastos. Edición en formato electrónico. Sociedade Brasileira de Zootecnia. 11-21 febrero. Sao Pedro. Sao Paulo, Brasil.
- Mackinon, M. J., K. Meyer and D. J. S. Hetzel. 1991. Genetic variation and covariation for growth, parasite resistance and heat tolerance in tropical cattle. *Livestock Production Science* 27:105-122.
- Menchaca, M. A. 1990. El uso de modelos étápicos para describir las curvas de crecimiento animal. *Rev. Cubana Cienc. Agríc.* 24: 1.
- Menchaca, M. A. 1991a. Modelado del crecimiento en peso de bovinos. 1. Un modelo intrínsecamente lineal para la representación del crecimiento. *Rev. Cubana Cienc. Agríc.* 25: 125-128.
- Menchaca, M. A. 1991b. Modelado del crecimiento en peso de bovinos. 2. Modelo multiplicativo con el control de curva de crecimiento y otros efectos. *Rev. Cubana Cienc. Agríc.* 25: 231-236.
- Menchaca, M. A. 1992. Modelado del crecimiento en peso de bovinos. 3. Modelo de crecimiento étápico-multiplicativo. *Rev. Cubana Cienc. Agríc.* 26: 107-111.
- Menchaca, M. A., C. C. Chase, T. A. Olson and A. C. Hammond. 1996. Evaluation of growth curves of Brahman cattle of various frame sizes. *J. Anim. Sci.* 74: 2140-2151.
- Molina, A., M. I. Serrano, A. Burgos, J. M. Jiménez, F. M. Salado, F. Cabeza de Vaca, E. Espárrago y A. Rodero. 1992. Estimación de la curva de crecimiento en vacuno Retinto: aspectos prácticos para la tipificación de pesos. *Arch. Zootec.* 41 (extra): 543-548.
- Monzote M., F. Funez y M. García. 1982. Asociación de leguminosas tropicales con pangola (*Digitaria decumbens stent*). Establecimiento. *Rev. Cubana Cienc. Agríc.* 16: 103.
- Moreno R., C. Ortega y M. Molina. 2007. Evaluación de dos razas en el desarrollo pos destete de toretes en sistema de confinamiento. Disponible en línea: <http://patrocipes.uson.mx/patrocipes/invpec/genetica/G89005.html>. [Nov. 11, 2013].
- Nadarajah, K., T. J. Marlowe and D. R. Notter. 1984. Growth patterns of Angus, Charolais, Charolais x Angus and Holstein x Angus cows from birth to maturity. *J. Anim. Sci.* 59: 957-966.
- Nogales, S., T. M. Lupi, J. M. León, A. Arando, M. Miró-Arias, J. V. Delgado and M. E. Camacho. 2014. Avances en el estudio de la curva de crecimiento del ganado bovino *Marismeño*. *Actas Iberoamericanas de Conservación Animal*, 4: 147-149.
- Pérez, P. J., Z. B. Alarcón, M. D. G. Mendoza, G. R. Bárcena, G. A. Hernández y H. J. G. Herrera. 2001. Efecto de un banco de proteína de kudzú en la ganancia de peso de toretes en pastoreo de estrella africana. Dpto. de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo. *Rev. Téc. Pecu. Méx.* 39 (1) 39-51.
- Portela, O. D., S. M. Mitsuo, R. R. Marcelo e P. A. U. Gomes. 2013. Modelagem Bayesiana em curvas de crescimento em bovinos de corte: Pantanal Sul - Mato - Grossense, sub - região de Aquidauana. X Simpósio Brasileiro de Melhoramento Animal. Uberaba, MG. 3 p.
- Richards, F. J. 1959. A flexible growth function for empirical use. *J. Exp. Botanic.* 10: 290-300.
- Rico, C., D. López y T. Plana. 1987. El Charolais cubano. La Habana, Cuba. EDICA.
- Robert-Granié, C., B. Heude and J. L. Foulley. 2002. Modelling the growth curve of Maine-

- Anjou beef cattle using heteroskedastic random coefficients models. *Genet. Sel. Evol.* 34: 423-445.
- Silva, S. T. J. 2013. Novos modelos de curvas de crescimento para bovinos de corte. Tese do Programa de Pós-Graduação em Estatística e Experimentação Agropecuária, para el título de Doutor. Universidade Federal de Lavras. 71 p.
- SPSS. 2003. Software estadístico. Manual de usuario. Versión 11.5.2.1. EUA. Sp.
- STATGRAPHICS Plus. 2002. Programa Estadístico. Manual de usuario. Versión 5.1. EUA.
- Valdés, L. R., A. Alfonso y P. Duquesne. 1984. Uso de las leguminosas o suplementación para la producción de carne. III Ciclo de evaluación. *Rev. Pastos y Forrajes, Cuba.* Vol.7 (1). Descripción del crecimiento de cuatro cruces bovinos mediante la utilización del modelo Brody.
- Vergara, G. O. D., M. J. M. Flórez, P. M. J. Hernández, Z. E. M. Arboleda y R. A. Calderón. 2013. Descripción del crecimiento de cuatro cruces bovinos mediante la utilización del modelo Brody. *Livestock Research for Rural Development*, 25 (6).