

Comparison of nonlinear models to describe growth in Blanco Orejinegro (BON) cattle^x

Comparación de modelos no lineales para describir el crecimiento en ganado Blanco Orejinegro (BON)

Comparaçãõ de modelos não lineares para descrever o crescimento em gado Blanco Orejinegro (BON)

Juan Carlos Rincón Flórez ^{1,2*}, Zoot, MS, cPhD; Jhonatan Fernando Quintero Patiño ¹, Zoot.

**Autor para correspondencia: Juan Carlos Rincón Flórez, Programa de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia. Dirección: Carrera 27 # 10-02 Barrio Alamos. E-mail: rincon.juan@utp.edu.co*

¹ Grupo de biodiversidad y genética molecular (BIOGEM), Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Medellín, Colombia. Dirección: Calle 59A No 63 - 20 Núcleo El Volador, Bloque 50, Departamento de producción Animal. E-mail: jcrincon@unal.edu.co. ² Profesor, Facultad de Ciencias de la Salud. Programa de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Tecnológica de Pereira.

(Recibido: 10 de agosto, 2014; aceptado: 7 de marzo, 2015)

Abstract

BON cattle is an important genetic resource. It is necessary to describe the productive behavior of BON to improve the use of this breed. The objective of this study was to determine the model that best fit BON growth. Nonlinear models (Gompertz, logistic, Brody and von Bertalanffy) were compared to determine the one with the best fit and estimate the parameters for each model. Brody showed the best fit, with the lowest sum of squared errors (SQE) for both Akaike information criterion (AIC) and Bayesian information criterion (BIC). Brody parameters were β_0 (mature weight: 590 kg) and β_2 (maturity index: 0.00153 ± 0.0000042 kg/day). The maturity index was similar and in some cases higher to that found in some crosses of commercial beef cattle, highlighting the precocity of BON, which reaches about 52.9% maturity at 12 months. Additionally, the age BON reaches 75% maturity was approximately 708 days, which shows its precocity and growth potential. This results highlight the importance of this breed as a valuable genetic resource for cattle farming in the tropics.

Key words

Bio-modeling, growth curves, precocity.

^xPara citar este artículo: Rincón Flórez JC, Quintero Patiño JF. Comparación de modelos no lineales para describir el crecimiento en ganado Blanco Orejinegro (BON). Rev CES Med Zootec. 2015; Vol 10 (1): 31-37.

Resumen

El ganado BON constituye un recurso genético y ganadero de gran importancia, por lo que describir su comportamiento productivo es necesario para garantizar su utilización. El objetivo del presente trabajo fue determinar el modelo que mejor se ajustara al crecimiento del ganado BON, por lo que se compararon diferentes modelos no lineales (Gompertz, Logístico, de Brody y de Von Bertalanffy), con el fin de determinar el que mejor se ajusta y estimar los parámetros para cada uno. El modelo que mejor se ajustó al crecimiento del BON fue el de Brody, mostrando menores valores de sumatoria de cuadrados del error (SQE), de AIC y de BIC. Por otra parte, los parámetros hallados para el modelo de Brody fueron: β_0 , interpretado como el peso maduro, de 590 kg y el parámetro β_2 , correspondiente con el índice de madurez, de $0,00153 \pm 0,0000042$ kg/día. El índice de madurez fue similar y en algunos casos superior al encontrado en algunos cruces y ganados de carne comerciales, lo que resalta la precocidad que presenta el ganado BON, que alcanza aproximadamente 52,9% de madurez a los 12 meses. Adicionalmente, se encontró que la edad a la cual el BON alcanza el 75% de madurez fue de 708 días aproximadamente, lo que muestra su precocidad y capacidad de crecimiento. Lo expuesto anteriormente resalta la importancia del ganado BON como un recurso genético y productivo para los programas de producción bovina en el trópico.

Palabras clave

Biomodelación, curvas de crecimiento, precocidad.

Resumo

O gado BON, constitui um recurso genético e de produção de grande importância, pelo qual, descrever seu comportamento e desempenho produtivo e mostrar suas fortalezas é necessário para garantir sua utilização. O objetivo do presente trabalho foi determinar o modelo que melhor tivesse ajuste não linear (Gompertz, Logístico, de Brody e de Von Bertalanffy), com o fim de determinar o modelo que melhor se ajustasse e estimar os parâmetros para cada um deles. O modelo que melhor se ajustou ao crescimento do gado BON foi o de Brody, apresentando menores valores na somatória de quadrados do erro (SQE), de AIC e de BIC. Por outro lado, os parâmetros encontrados para o modelo de Brody foram: β_0 , interpretado como o peso maduro, de 590 kg e o parâmetro β_2 , que corresponde com o índice de maturidade, de $0,00153 \pm 0,0000042$ kg/dia. O índice de maturidade foi similar e em alguns casos até superior ao encontrado em alguns cruzamentos e gados de corte não registrados, o que ressalta a precocidade que apresenta o gado BON, que consegue aproximadamente 52,9% de maturidade aos 365 dias (12 meses). Adicionalmente, encontrou-se que a idade na qual o gado BON consegue o 75% de maturidade foi de 708 dias (23,6 meses) aproximadamente, o que demonstra sua precocidade e capacidade de crescimento. O exposto anteriormente ressalta a importância do gado BON como um recurso genético com boas qualidades produtivas e reprodutivas para os programas de produção bovina no tropico.

Palavras chave

Biomodelação, curvas de crescimento, precocidade.

Introducción

El ganado Blanco Oreginegro (BON) es una raza criolla colombiana de la especie *Bos taurus*, descendiente de razas europeas que fueron traídas a Colombia en la época de la colonia. Presenta características fenotípicas específicas, como un pelaje blanco, orejas negras, buenos aplomos y buen ancho de pecho y pelvis, con buenas características productivas para carne y leche. Adicionalmente, presenta adaptación al trópico y resistencia a enfermedades infecciosas, lo que lo convierte en un recurso genético de gran importancia ganadera. En Colombia se han utilizado algunos cruces de BON con otras razas, incluyendo

la raza Holstein para mejorar la calidad de la leche y aumentar la producción de carne³.

El crecimiento animal es uno de los aspectos más importantes al momento de evaluar la productividad y en él interfieren tanto aspectos genéticos como ambientales. Diferentes modelos matemáticos han sido propuestos para describirlo, entre los que se encuentran los modelos no lineales que son los que presentan un mejor ajuste a las condiciones de crecimiento, por lo tanto proveen información importante para efectos de investigación y recomendaciones de orden productivo⁷. Adicionalmente, los parámetros de una función de crecimiento pueden ser

usados como una alternativa para programas de selección, buscando precocidad, mayor peso y mejor calidad de la canal ⁹.

El crecimiento animal presenta una forma sigmoidal que se diferencia en tres fases: La de aceleración, que como su nombre lo indica representa el crecimiento acelerado y que llega al máximo en el punto de inflexión donde inicia la Fase de desaceleración, que se caracteriza por la disminución de la tasa de crecimiento debido a una serie de factores fisiológicos. Finalmente, se llega la Fase lineal, donde el crecimiento se presenta sólo para reposición de tejido, por lo tanto corresponde a la llegada del peso adulto ⁷. Las funciones matemáticas más adecuadas para la evaluación de las características de crecimiento son las no lineales que han sido descritas mediante distintos modelos como el de Gompertz, el de Verholst también llamado el logístico, el de Brody y el de Von Bertalanffy ^{1, 10}.

Teniendo en cuenta la importancia de la raza BON como recurso zoogenético y productivo, es importante describir su comportamiento mediante las curvas de crecimiento con el fin de apoyar la descripción, promoción y conocimiento de este ganado para su aprovechamiento productivo. Adicionalmente, el conocimiento de parámetros asociados a la velocidad de crecimiento, la tasa de maduración a diferentes edades y la edad de sacrificio constituyen una herramienta importante para su aprovechamiento económico. Debido a lo anterior, el objetivo del presente estudio fue comparar y determinar el modelo que mejor se ajuste al crecimiento de la raza BON.

Materiales y métodos

El presente trabajo fue realizado con los registros de los animales del programa de la raza Blanco Oreji-negro de la estación agraria Paysandú de La Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, la cual se encuentra ubicada en el departamento de Antioquia, en el corregimiento de Santa Elena, a 16 km del municipio de Medellín. El clima y la zona de vida es de bosque muy húmedo montano bajo (bmh-MB), con una temperatura media de 14 °C, a una altura aproximada de 2500 m.s.n.m, con una topografía ondulada y con praderas en su mayoría (50%) de Pasto Kikuyo (*Pennisetum Clandestinum*) y (50%) gramas nativas (*Paspalum conjugatum* y *P. notatum*).

Tamaño muestral

Todos los animales pertenecientes al ható BON puro se encontraron bajo las mismas condiciones de alimentación, manejo, sanidad y en pastoreo (sin suplemento). Los

animales fueron pesados mensualmente en báscula desde el establecimiento del programa. De acuerdo a lo anterior, se recolectó la información de 1104 pesos mensuales de 70 individuos con el fin de construir la curva de crecimiento. En promedio se utilizaron 15,54 registros de peso por cada animal. Sin embargo, el máximo fue 38 registros de peso y el mínimo de sólo dos. En general los animales fundadores presentaron menor número de pesajes y los animales nacidos en el ható pudieron tener mayor cantidad de pesajes y con mayor frecuencia en la medida que la práctica de pesaje se volvió rutinaria (Figura 1-A). Las edades de los individuos se distribuyeron de acuerdo a lo presentado en la figura 1-B, con edades que estuvieron entre el día 1 y el día 861, con una media de 406,1 días de edad y una desviación estándar de 274,72 días.

Posterior a la recolección de la información se realizó una revisión detallada con el fin de determinar la confiabilidad, de tal manera que los registros sobre los que se encontró sospecha de su validez, de ser atípicos o fisiológicamente anormales fueron retirados de los análisis definitivos. Mediante el proceso de revisión fueron retirados 5 registros, contando al final con la información de 1099 pesos mensuales.

Análisis estadístico

El análisis de la información recolectada y el ajuste de los modelos matemáticos para los datos se realizaron en la Universidad Nacional De Colombia, Sede Medellín. Los modelos utilizados para describir el crecimiento animal fueron el de Gompertz ⁴, el de Verholst (logístico) ¹¹, el de Brody ² y el de Von Bertalanffy ¹². Los diferentes modelos fueron analizados mediante el paquete estadístico SAS® usando el procedimiento para modelos no lineales NLIN, el cual usa mínimos cuadrados para calcular los parámetros, permitiendo realizar una estimación previa ⁸. Posteriormente, se realizó la estimación definitiva usando un modelo mixto no lineal incluyendo un solo parámetro, con el componente aleatorio $b_{i0} \sim N(0, \sigma_{b_{i0}}^2)$. Los demás efectos fueron tomados como fijos ($\beta_0, \beta_1, \beta_2$). La estimación de los parámetros por modelos mixtos se desarrollo mediante el procedimiento NLMIXED del programa SAS® ⁸.

A continuación se presentan las expresiones matemáticas de cada uno de los modelos (mixtos) evaluados:

$$\begin{aligned} Y_{ij} &= \beta_0 + b_{i0} \varepsilon^{-\beta_1 \varepsilon - \beta_2 t} + e && \text{Gompertz } ^4. \\ Y_{ij} &= \beta_0 + b_{i0} (1 - \varepsilon^{-\beta_1 t})^{-1} + e && \text{Verholst (logístico) } ^{11}. \\ Y_{ij} &= \beta_0 + b_{i0} (1 - \beta_1 \varepsilon^{-\beta_2 t})^3 + e && \text{Von Bertalanffy } ^{12}. \end{aligned}$$

$$Y_{ij} = \beta_0 + b_{i0}(1 - \beta_1 e^{-\beta_2 t}) + e \quad \text{Brody}^2.$$

Donde:

Y : Corresponde al j -ésimo peso del i -ésimo animal,

β_0 : corresponde al peso asintótico cuando “ t ” tiende a infinito, es interpretado comúnmente como porcentaje de madurez en relación al peso adulto,

β_1 : corresponde a un parámetro de ajuste,

β_2 : Corresponde al índice de madurez representado como una proporción de porcentaje del máximo crecimiento con respecto al peso adulto del animal¹.

t_{ij} : Edad en días al j -ésimo pesaje del i -ésimo animal.

b_{i0} : Componente aleatorio del peso asintótico con $N(0, \sigma_{b0}^2)$ del i -ésimo animal.

e : es el error residual con $N(0, \sigma_e^2)$ e independiente de b_{i0} .

La determinación de la capacidad de ajuste de los diferentes modelos fue determinada teniendo en cuenta diferentes criterios como las sumatorias de cuadrados del

error (SQE), el criterio de información Akaike (AIC) y el criterio de información bayesiano (BIC).

Resultados

El modelo que presentó los peores valores de ajuste de acuerdo al SQE, AIC y BIC (1826729, 10490 y 10501, respectivamente) fue el modelo logístico evidenciando una dificultad para modelar la curva de crecimiento del ganado BON. Por otra parte, el modelo que logró el mejor ajuste fue el modelo de Brody que presentó los menores valores de SQE (1666168) mostrando una buena capacidad de remoción de variabilidad, produciendo un modelo más explicativo. Adicionalmente, obtuvo el valor más bajo de AIC Y BIC (10238 y 1250, respectivamente), lo cual lo postula como un modelo acorde para simular y determinar parámetros de crecimiento en el ganado BON.

Los parámetros de ajuste de los modelos se presentan en la tabla 1.

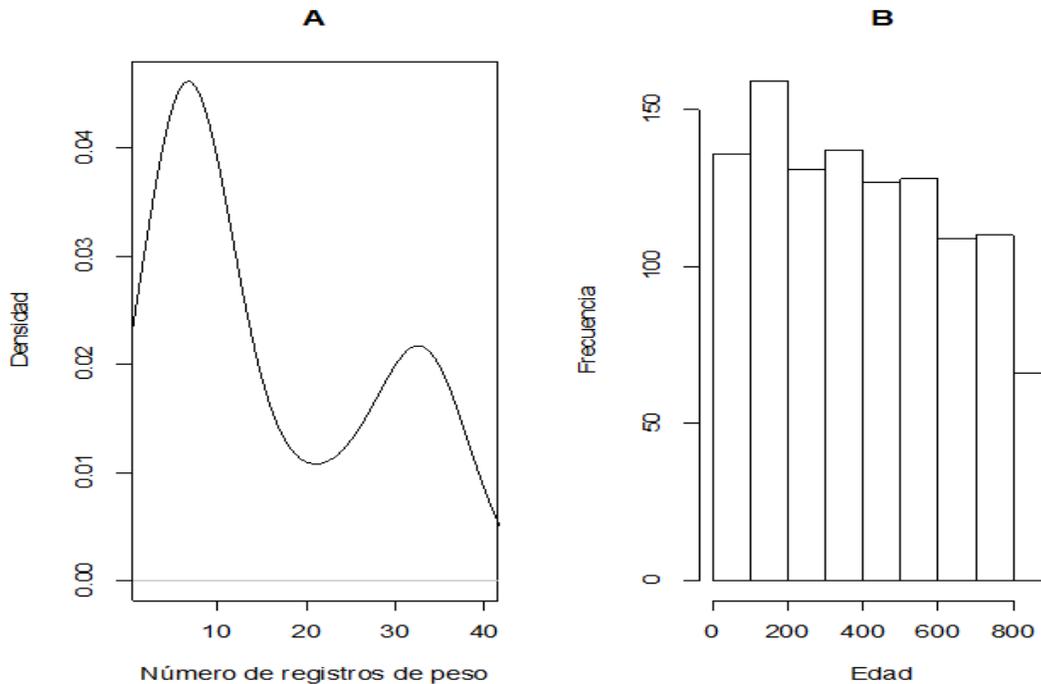


Figura 1. Distribución de los pesos de acuerdo al número de registro por animal y a la edad: A) Densidad de registros de peso por animal y B) Histograma de frecuencias de registros a diferentes edades.

Tabla 1. Parámetros de ajuste del modelo de Brody, Gompertz, logístico y de VonBertalanffy en ganado Blanco Oreji-Negro.

Modelo	Parámetro*	Estimado
Brody	SQE	1666168
	AIC	10238,0
	BIC	10250,0
Gompertz	SQE	1710061
	AIC	10339,0
	BIC	10350,0
Logístico	SQE	1826729
	AIC	10490,0
	BIC	10501,0
Von Bertalanffy	SQE	1679137
	AIC	10250,0
	BIC	10261,0

*SQE: Sumatoria de cuadrados del error, AIC: criterio de información Akaike, BIC: Criterio de información Bayesiano.

La determinación de los parámetros estadísticos de los diferentes modelos son presentados en la tabla 2, donde es posible evidenciar la variación de los parámetros de las curvas individuales de crecimiento para ganado BON mediante el ajuste de los modelos de Brody, Gompertz, logístico y de Von Bertalanffy.

En los diferentes modelos la estimación de β_0 , entendido comúnmente como el peso maduro, fue variable, obteniéndose el mayor valor con el modelo de Brody ($590 \pm 12,49$ kg) y el menor con el modelo logístico ($492,29 \pm 8,26$ kg). Por otra parte el parámetro β_2 , entendido como el índice de madurez fue menor para el modelo de Von Bertalanffy y mayor en el modelo logístico (Tabla 2), lo cual muestra una coincidencia en este último modelo de un peso maduro bajo, con un índice de madurez alto, lo que podría generar errores predictivos.

Tabla 2. Parámetros estadísticos y error estándar para los modelos de Brody, Gompertz, logístico y de Von Bertalanffy en ganado Blanco Orejinegro.

Modelo	Parámetro	Valor Estimado	Error estándar
Brody	β_0	590,050	12,48740
	β_1	0,93570	0,003699
	β_2	0,00153	0,000042
Gompertz	β_0	521,350	9,42200
	β_1	2,06220	0,02570
	β_2	0,003186	0,000063
Logístico	β_0	492,290	8,26440
	β_1	4,99920	0,11950
	β_2	0,004833	0,000092
Von Bertalanffy	β_0	550,000	15,2354
	β_1	0,97790	0,00133
	β_2	0,000534	0,000012

Finalmente, teniendo en cuenta el mejor ajuste logrado con el modelo de Brody, se evaluó el porcentaje de madurez a los 12, 18 y 24 meses en el ganado BON y los resultados fueron 52.9, 66.4 y 76% respectivamente; lo cual indica una precocidad importante en este ganado que a los 24 meses presenta un 76% de madurez, entendiéndose que el 100% de la madurez se logra cuando se alcanza el peso adulto. Adicionalmente, se encontró que aproximadamente a los 708 días de edad se alcanza el 75% de madurez.

Discusión

Los valores obtenidos para SQE, AIC y BIC en general coincidieron siempre entre sí para clasificar los modelos de acuerdo a su nivel de ajuste; en todos los casos cuando uno presentaba los menores valores los demás también los presentaban. La estimación de SQE en general sirvió para clasificar los modelos de acuerdo a la capacidad explicativa de este que se evidencia por la remoción de varianza del error, lo que permite estimar los mejores modelos cuando se presentan valores bajos de SQE.

El parámetro β_2 puede ser interpretado como un índice de madurez del animal, indicando la velocidad de crecimiento para alcanzar el peso asintótico a partir del peso inicial. El mayor índice de madurez ($0,004833 \pm 0,0000092$ kg/día) se logró para el modelo logístico, sin embargo este presentó el mas bajo peso maduro ($492,290 \pm 8,264$ kg). Por otro lado el modelo de Brody presentó la segunda menor tasa de crecimiento ($0,00153 \pm 0,000042$ kg/día), con el peso maduro más alto ($590,05 \pm 12,487$ kg), pero acorde con los reportes de peso adulto señalados para la raza⁵, lo que apoya el mejor ajuste del modelo.

La coincidencia del bajo peso maduro con un alto índice de madurez en el modelo logístico hace pensar en problemas de ajuste del modelo debido a que en algunos lugares de la curva de crecimiento podría subestimar pesos y en otros lugares podría sobreestimarlos, generando dificultades predictivas que pudieron ser evidenciadas por los bajos valores de ajuste que presentó el modelo según los parámetros SQE, AIC y BIC estimados. Para los demás modelos utilizados se debe tener en cuenta que las curvas pueden fallar en la estimación de algunos periodos de crecimiento, siendo mas evidente el problema de la estimación a edades tempranas según algunos reportes de la literatura¹.

Una medida del ajuste adecuado del modelo de Brody lo constituye la información fenotípica y descriptiva de la raza BON, que reporta pesos adultos muy cercanos a

los obtenidos mediante el parámetro β_0 del presente trabajo y resaltan una precocidad importante de esta raza³; indicando una buena coherencia biológica del modelo matemático obtenido, lo cual fortalece la evidencia de modelación adecuada. Algunos estudios utilizando otras razas de ganado han usado comúnmente el modelo de Brody debido a que ha sido reportado como el de mejores ajustes¹.

Los parámetros de crecimiento están influenciados por el manejo, las condiciones de alimentación propias del hato y las características de la raza. Sin embargo, al comparar los resultados con otros estudios realizados sobre este tema en razas como Angus, Cebú y algunos cruces comerciales, fue posible observar iguales o mejores parámetros productivos de acuerdo al modelo de Brody para el ganado BON. En un estudio publicado recientemente se obtuvieron valores de índice de madurez menores o similares a los reportados en este trabajo (0,00153), encontrando parámetros de 0,0009, 0,0012, 0,0012, 0,0008 para el cruce Angus-Cebú, Brahaman puro, Holsteín-Cebú y Simental-Cebú, respectivamente¹⁰. Los resultados obtenidos fueron similares a los encontrados en el cruce Angus-Cebú y muy parecidos a los reportes obtenidos para el cruce de BON-Cebú que presenta un peso asintótico de 547 kg y un índice de madurez de 0,00119⁶.

Con respecto al porcentaje de madurez a los 12 y 18 meses, el ganado BON presentó valores de 52,9% y 76%, lo cual es superior a los reportes del cruce con BON-cebú (39,4% y 50,3%) y algunos otros reportes de cruces comerciales⁶. Por otra parte, la edad para alcanzar el 75% y el 95% de madurez fue de 708 y 1578 días respectivamente; estos valores son inferiores a los encontrados en algunos cruces con ganados comerciales⁶.

Por ejemplo el parámetro β_2 en el BON fue de 0,00153 ($\pm 0,000042$ kg/día) y en el cruce comercial de Angus por Cebú reportado por otro investigador es de 0,00151, mostrando una ganancia de peso muy parecida entre el BON y este cruce que es especializado para la producción de carne. En otro parámetro como el porcentaje de madurez a 12 y 18 meses, la del BON es 52,86 y 76% y la del cruce es de 45 y 56,8% indicando que el ganado BON logra tener buen peso rápidamente y reproductivamente es un animal más precoz, lo que se traduce en más partos por animal en la vida productiva y en más ingresos económicos para el productor.

El ganado BON ha demostrado diferentes cualidades adaptativas, de precocidad, de resistencia a enfermedades y productivas que lo postulan como un recurso genético

muy importante para la ganadería tropical. Sin embargo, se han desarrollado muy pocos trabajos que caractericen su eficiencia productiva y aún se desconoce su composición genética, y su eficiencia reproductiva bajo diferentes condiciones de la producción pecuaria. La mayor parte de la producción bovina que usa BON, se aprovecha de la rusticidad que presenta este ganado y suministra dentro de sus sistemas de producción los peores recursos forrajeros y las condiciones sanitarias y de manejo más precarias, lo cual genera grandes dificultades para estimar al menos cualidades comparativas de desempeño. Sin embargo, el paulatino aumento de información ha permitido generar algunos avances importantes para la caracterización de este recurso genético, y en la medida que se pueda detallar sus características productivas y la caracterización genética, se podrá aprovechar de una manera más eficiente este recurso zoogenético para la producción de carne en condiciones tropicales.

Conclusiones

El modelo que mejor describió el comportamiento del crecimiento del ganado BON fue el modelo de Brody; este modelo evidencia una importante capacidad productiva de este ganado, permitiendo obtener un crecimiento comparable o superior al de ganados y cruces comerciales utilizados para producir carne en condiciones tropicales, lo que permite postularlo como un recurso económico importante para ser usado en la producción de carne bovina.

Agradecimientos

A la convocatoria 528 de doctorados Nacionales de Colciencias por apoyar la formación del autor principal.

Referencias

1. Agudelo GD, Cerón MM, Restrepo BL. Modelación de las funciones de crecimiento aplicadas a la producción animal. Rev Colomb Cienc Pecu 2008; 21: 39-58.
2. Brody S. Bioenergetics and growth. New Cork: Reinhold Publishing Corporation; 1945.
3. Gallego GJ, Moreno OF, Tobón CJ. Manejo de la raza criolla blanco orejinegro, BON y sus cruzamientos. Corpoica 2008 [acceso: 24 de marzo de 2014]. <http://www.corpoica.org.co/SitioWeb/Revistas/Revistas.asp>

4. Gompertz B. On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on a new Mode of determining the value of life Contingencies. Phil Trans Royal Soc London 1925; 115: 513-585.
5. Gutiérrez ID. Razas Criollas y Colombianas Puras. Memoria convenio 135-01: Ganado Criollo Blanco Orejinegro (BON). Produmedios, Bogotá, 2003. p. 57-73.
6. Herrera AC, Vergara OD, Cerón-Muñoz MF, Agudelo DA, Arboleda EM. Curvas de crecimiento en bovinos cruzados utilizando el modelo Brody. Lrrd 2008; 20(9).
7. Noguera RR, Pereira RL, Solarte RE. 2008. Comparación de modelos no lineales para describir curvas de crecimiento en cuyes (*Cavia porcellus*) desde el nacimiento hasta la edad de sacrificio. Lrrd 2008; 20(5).
8. SAS Institute Inc. SAS/STAT User's Guide: Version 9. 5th edition. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina, USA; 2002.
9. Souza JC, Bianchini SE. Estimativa do peso de bovinos de corte aos 24 meses da raça Nelore usando curvas de crescimento. Rev Bras Zoot 1994; 23: 85-91.
10. Vergara GO, Flórez MJ, Hernández PM, Aboleda ZE, Calderón RA. 2013. Descripción del crecimiento de cuatro cruces bovinos mediante la utilización del modelo Brody. Lrrd 2013; 25(6).
11. Verhulst PF. Notice sur la loi que la population poursuit dans son accroissement. Corresp Math Phys 1838; 10: 113-121.
12. Von Bertalanffy L. A quantitative theory of organic growth. Hum Biol 1938; 10: 181-213.