

## Modeling of live weight per age in fattening bovines under a silvopastoral system with *Leucaena leucocephala*

## Modelación de peso vivo por edad en bovinos de engorde en silvopastoreo con *Leucaena leucocephala*

J. Iraola<sup>1</sup>, Yenny García<sup>1</sup>, E. Muñoz<sup>1</sup>, L.M. Fraga<sup>1</sup>, M. Barros-Rodríguez<sup>2</sup>, J.L. Hernández<sup>1</sup>, and E. Moreira<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Ciencia Animal, Apartado Postal 24, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba

<sup>2</sup>Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Técnica de Ambato, Ecuador

Email: jiraola@ica.co.cu

The modeling of the curve of live weight per age in non-castrated male bovines under a silvopastoral system with *Leucaena leucocephala* during four productive cycles was evaluated. For that purpose, four genetic groups were used: Zebu, crossbred Zebu, crossbred Zebu and dairy crossbreds, with 74, 80, 90 and 90 animals, respectively. Monthly weighing was carried out in all the cycles. For deciding the goodness of fit, the following criteria were proposed: mean square of the error, fitted  $R^2$ , model significance, parameter significance and graphic distribution of residues. The non-linear models (Gompertz and Logistic) were only fitted in the second and third productive cycle under the specific conditions of the study. The simple linear model showed adequate adjustments in every cycle, and showed lower values of mean square of the error than the non-linear models in the second and third cycles. There were no marked differences of liveweight increase among the four genetic groups evaluated, with daily mean gains around and superior to 0.700 kg. This indicates the need of developing specific strategies for the ending stages of male bovines under silvopastoral conditions. Further studies on modeling with higher liveweight at sacrifice of Zebu and crossbred animals are suggested, which will allow to predict the productive performance of these animals. Interpreting the results and controlling the indicators, like food balance and management, could substantially improve the indicators of liveweight at sacrifice in a silvopastoral system with leucaena and grasses.

Key words: linear and non-linear model, bovines, silvopastoral system

### Introduction

Modeling researches of liveweight per age are very important in animal production, mainly from the economical point of view. According to Agudelo *et al.* (2008), Nogales (2009) and Posada *et al.* (2011), different prediction models can be used that will allow to plan the management and decision-making. In this case, the models will be linear and non-linear (Gompertz 1825, Brody 1945, Bertalanffy 1957 and Nelder 1961), among others. The use of these models, as well as other methodologies, appears frequently in the references.

In Cuba, since Menchaca (1990) carried out modeling studies in fattening cattle, the application of models gained importance, which had the purpose of using them under production conditions. Díaz (2008) evaluated the weighted growth of dairy crossbred, Zebu and Charolais from Cuba genotypes, in the categories of pre-fattening

Se evaluó mediante la modelación la curva de peso vivo por edad de bovinos machos, sin castrar, en silvopastoreo con leucaena (*Leucaena leucocephala*) durante cuatro ciclos productivos. Se utilizaron para ello los siguientes grupos genéticos: Cebú, Cebú mestizos, Cebú mestizos y mestizos lecheros, con 74, 80, 90 y 90 animales, respectivamente. Se realizaron los pesajes mensualmente en todos los ciclos. Para la decisión de bondad de ajuste de los modelos, se propusieron los criterios siguientes: cuadrado medio del error,  $R^2$  ajustado, significación del modelo, significación de los parámetros y distribución gráfica de los residuos. Los modelos no lineales (Gompertz y Logístico) solo se ajustaron en el segundo y el tercer ciclo productivo en las condiciones específicas de estudio. El modelo lineal simple presentó adecuados ajustes en todos los ciclos, y mostró menores valores del cuadrado medio del error que los modelos no lineales en el segundo y tercer ciclo. No se encontraron marcadas diferencias de incremento de peso vivo entre los cuatro grupos genéticos evaluados, con ganancias medias diarias cercanas y superiores a 0.700 kg. Esto indica la necesidad de desarrollar estrategias específicas para la finalización de bovinos machos en silvopastoreo. Se sugiere profundizar en estudios de modelación con mayor peso vivo de sacrificio en animales Cebú y mestizos, lo que permitiría predecir el comportamiento productivo de estos animales. Con la interpretación de los resultados y el control de indicadores, como el balance alimentario y el manejo, se pudieran mejorar sustancialmente los indicadores de peso vivo al sacrificio en silvopastoreo con leucaena y gramíneas.

Palabras clave: modelo lineal y no lineal, bovinos, silvopastoreo

### Introducción

Las investigaciones de modelación del peso vivo por edad son muy importantes en la producción animal, sobre todo desde el punto de vista económico. Según Agudelo *et al.* (2008), Nogales (2009) y Posada *et al.* (2011), se pueden utilizar diferentes modelos de predicción, que permiten planificar el manejo y la toma de decisiones. En este caso, se trata de modelos lineales y no lineales (Gompertz 1825, Brody 1945, Bertalanffy 1957 y Nelder 1961), entre otros. El uso de estos modelos, así como de otras metodologías, se encuentran referidos, frecuentemente, en la bibliografía.

En Cuba, desde los trabajos de modelación realizados en ganado de engorde por Menchaca (1990), fue de interés la aplicación de modelos, con el propósito de utilizarlos en condiciones de producción. En estudios

and growth-finishing, in a system established with herbaceous legumes and silvopastoral conditions with leucaena in 100 % of the area. This author referred that linear and non-linear models (Gompertz and Logistic) has a good fit in the evaluated genotypes. However, in the pre-fattening category with Charolais from Cuba, only the simple regression linear model was fitted. Nevertheless, it confirmed the usefulness of growth curves because they allow the dynamic fit of requirements per categories regarding the increase of liveweight with age. In addition, its use will allow to predict and reduce losses in technological costs of opportunities and decision-making, as a guarantee for improving meat productivity (Iraola 2013). The objective of this research was to deepen and evaluate the estimation of curves of liveweight per age in male non-castrated bovines, during the growth and finishing stages under silvopastoral conditions.

### Materials and Methods

The study was developed in areas of the Institute of Animal Science from Cuba, located at 22° 53' N and 82° 02' W and 92 m o.s.l. Four production cycles with non-castrated male bovines were evaluated. The monthly weighings per production cycle were performed: 5 (2008), 8 (2009), 10 (2010) and 10 (2011), respectively. The following genetic groups were used in each cycle: Zebu, crossbred Zebu, crossbred Zebu and dairy crossbreds, with 74, 80, 90 and 90 animals, respectively. A rotational grazing took place under silvopastoral conditions with leucaena, associated with a mixture of natural and improved grasses, without irrigation and without fertilization. The inclusion of leucaena reached 50% of the area. An amount of 50 g of salt per animal per day was provided.

The period evaluated in the first productive cycle was the finishing stage. The remaining cycles included

recientes, efectuados por Díaz (2008), se evaluó el crecimiento ponderado de genotipos mestizos lecheros, Cebú y Charolais de Cuba, en las categorías de preceba y crecimiento-finalización, en un sistema establecido con leguminosas herbáceas y silvopastoreo de leucaena en 100 % del área. Este autor refirió que los modelos lineales y no lineales (Gompertz y Logístico) tuvieron buen ajuste en los genotipos evaluados. Sin embargo, en la categoría de preceba, con Charolais de Cuba, solo se ajustó el modelo lineal de regresión simple. No obstante, corroboró la utilidad de las curvas de crecimiento, ya que permiten el ajuste dinámico de los requerimientos por categorías en relación con el aumento de peso vivo con la edad. Además, su uso permitiría predecir y reducir las pérdidas por concepto de costos tecnológicos de oportunidad y toma de decisiones, como garantía para mejorar la productividad cárnica (Iraola 2014). El objetivo de este trabajo fue profundizar y evaluar la estimación de la curva de peso vivo por edad en bovinos machos, sin castrar, durante las fases de crecimiento y finalización en silvopastoreo.

### Materiales y Métodos

El trabajo se desarrolló en áreas del Instituto de Ciencia Animal de Cuba, situado a 22° 53' de latitud norte y los 82° 02' de longitud oeste y 92 m.s.n.m. Se evaluaron cuatro ciclos de producción con bovinos machos sin castrar. Se realizaron los pesajes mensuales por ciclo productivo: 5 (2008), 8 (2009), 10 (2010) y 10 (2011), respectivamente. Se utilizaron los siguientes grupos genéticos en cada ciclo: Cebú, Cebú mestizos, Cebú mestizos y mestizos lecheros, con 74, 80, 90 y 90 animales, respectivamente. Se efectuó un pastoreo rotacional en silvopastoreo de leucaena, asociada con mezcla de gramíneas mejoradas y naturales, sin riego y sin fertilización. La inclusión de leucaena alcanzó 50 % del área. Se ofreció 50 g diarios de sal por animal.

El período evaluado en el primer ciclo productivo fue la etapa de finalización. Los ciclos restantes incluyeron

Table 1. General equations of the used models

| Models        | Equation                            |
|---------------|-------------------------------------|
| Simple linear | $y = a + b * age$                   |
| Logistic      | $y = a / (1 + b * e^{(-c * edad)})$ |
| Gompertz      | $y = a * e^{(-b * e^{(c * edad)})}$ |

y: depending variable

a, b and c: model parameters

age: independent variable measured within time (d)

growth and finishing stages. Three models were selected for studying the adjustment of liveweight curve (table 1). For estimating the parameters, the modified method of Gauss-Newton was used, available at the proc NLIN SAS, version 9.1 (2007). For the selection of models, some criteria defined by Guerra *et al.* (2003) and Torres *et al.* (2012) were considered. These are the following criteria:

crecimiento y finalización. Se seleccionaron tres modelos para el estudio del ajuste de la curva de peso vivo (tabla 1). Para la estimación de los parámetros, se utilizó el método modificado de Gauss-Newton, disponible en el proc NLIN del SAS, versión 9.1 (2007). Para la selección de los modelos, se consideraron algunos criterios definidos por Guerra *et al.* (2003) y Torres *et al.* (2012):

1.  $R^2$  fitted to the degrees of freedom of the model
2. The value of the mean square of the prediction error (MSE)
3. Test of model significance
4. Test of parameter significance
5. Amount of iterations, determining the high or low convergence difficulty (Brown *et al.* 1976)
6. Graphic distribution of residues

1.  $R^2$  ajustado a los grados de libertad del modelo
2. El valor del Cuadrado Medio del Error de Predicción (CME)
3. La décima de significación del modelo
4. La décima de significación de los parámetros
5. El número de iteraciones, que determina la mayor o menor dificultad de convergencia (Brown *et al.* 1976)
6. La distribución gráfica de los residuos

### Results and Discussion

Table 2 shows the results obtained after fitting the different models used for all the productive cycles. The

### Resultados y Discusi n

La tabla 2 muestra los resultados obtenidos al ajustar los diferentes modelos utilizados para todos los ciclos

Table 2. Results of all the productive cycles with the application of fitted models for male bovines under silvopastoral conditions

| Models       | Model parameters   |                 |                 | Prediction<br>SME | Adj R <sup>2</sup> | SMP and<br>MS |
|--------------|--------------------|-----------------|-----------------|-------------------|--------------------|---------------|
|              | a (SE±)            | b (SE±)         | c (SE±)         |                   |                    |               |
| First cycle  |                    |                 |                 |                   |                    |               |
| Linear model | -128.96<br>(38.49) | 0.64<br>(0.05)  | -               | 21.32             | 0.96               | All<br>***    |
| Second cycle |                    |                 |                 |                   |                    |               |
| Linear model | -191.87<br>(5.97)  | 0.80<br>(0.002) | -               | 3.0               | 0.99               | All<br>***    |
| logistic     | 618.61<br>(52.2)   | 27.22<br>(3.52) | 0.005<br>(0.00) | 4.92              | 0.99               | All<br>***    |
| Gompertz     | 816.22<br>(123.3)  | 5.24<br>(0.58)  | 0.002<br>(0.00) | 4.22              | 0.99               | All<br>***    |
| Third cycle  |                    |                 |                 |                   |                    |               |
| Linear model | -108.35<br>(15.87) | 0.73<br>(0.02)  | -               | 50.52             | 0.98               | All<br>***    |
| logistic     | 634.64<br>(115.4)  | 15.78<br>(3.20) | 0.004<br>(0.00) | 51.70             | 0.98               | All<br>***    |
| Gompertz     | 860.25<br>(344.0)  | 3.89<br>(0.66)  | 0.002<br>(0.00) | 56.39             | 0.98               | All<br>***    |
| Fourth cycle |                    |                 |                 |                   |                    |               |
| Linear model | -75.47<br>(11.40)  | 0.64<br>(0.02)  | -               | 32.21             | 0.99               | All<br>***    |

Linear model

a: weight

b: slope

Non-linear models

a: adult weight

b: integration coefficient

c: maturity rate

Prediction SME: mean square of the error adj  $R^2$ . SMP: significance of model parameters

MS: model significance \*\*\*( $P < 0.001$ )

The iterative procedure of parameter estimation of Gauss-Newton from the NLIN SAS 2007 was used

models were significant in every case, as well as the parameters of curves

In the first productive cycle, the linear model presented appropriate fit, according to the analyzed criteria. There was a fitted coefficient of determination of 96%, accompanied by the mean square of the error (21.32). In the second and third productive cycle, the three models (linear, logistic and Gompertz) were fitted. The mean square of the error of the three models

productivos. En todos los casos, los modelos resultaron significativos, así como los par metros de las curvas.

En el primer ciclo productivo, el modelo lineal presentó adecuados ajustes, según los criterios que se analizaron. Hubo un coeficiente de determinación ajustado de 96 %, acompañado por el cuadrado medio del error (21.32). En el segundo y en el tercer ciclo productivo, se ajustaron los tres modelos (lineal, logístico y Gompertz). Los cuadrados medio del error

in the second cycle was small and was higher in the third, with regard to non-linear models analyzed. In the logistic model, the asymptotic weight (a) was inferior and maturity rate (c) was superior in the second and third cycle. However, the integration coefficient (b) was inferior in both. Finally, in the curve of the fourth productive cycle, the simple linear model showed appropriate approaches to the curve observed with the adj.  $R^2$  of 99%. This indicated that the simple linear model explained best the weight per age relationship in the life phases included on the research, for all the productive cycles, because it showed the lowest values of MSE with respect to non-linear models in the second and third cycle.

Modeling of liveweight per age for the four productive cycles, referring to the daily mean gain (DMG) that ranged between 649 and 769 g (table 3), could be described by the suitable fit of the models used in accordance with the evaluated growth-finishing phases and the stability of the four productive

de los tres modelos en el segundo ciclo fueron pequeños y resultaron mayores en el tercero. En relación con los modelos no lineales analizados, en el modelo logístico, el peso asintótico (a) fue inferior y la tasa de madurez (c) fue superior para el segundo y tercer ciclo. Sin embargo, el coeficiente de integración (b) fue inferior en ambos. Finalmente, en la curva del cuarto ciclo productivo, el modelo lineal simple mostró adecuadas aproximaciones a la curva observada con  $R^2$  aj de 99 %. Esto indicó que el modelo que mejor explicó la relación peso por edad en las fases de vida comprendidas en la investigación, para todos los ciclos productivos, fue el lineal simple, debido a que presentó los menores valores del CME con respecto a los modelos no lineales, en el segundo y tercer ciclo.

La modelación de peso vivo por edad para los cuatro ciclos productivos, referido a la ganancia media diaria (GMD), que osciló entre 649 y 769 g (tabla 3), se pudo describir por el adecuado ajuste de los modelos utilizados de acuerdo con las fases de crecimiento-finalización evaluadas y la estabilidad de los cuatro

Table 3. Productive indicators of the four evaluated productive cycles during the research period

| Indicators           | First cycle |       | Second cycle |       | Third cycle |       | Fourth cycle |       |
|----------------------|-------------|-------|--------------|-------|-------------|-------|--------------|-------|
|                      | Mean        | SD    | Mean         | SD    | Mean        | SD    | Mean         | SD    |
| Initial LW, kg       | 329.04      | 18.11 | 223.99       | 22.48 | 233.79      | 22.81 | 199.41       | 33.04 |
| Final LW, kg         | 402.92      | 31.70 | 397.04       | 30.83 | 416.18      | 22.41 | 380.43       | 29.81 |
| Accumulated gain, kg | 0.648       | 0.10  | 0.769        | 0.11  | 0.718       | 0.09  | 0.683        | 0.10  |

cycles.

Regarding the first cycle, the curve of liveweight showed linear tendency almost until the last weighing. However, the linear model overestimated the liveweight at some points of the observed curve. This could be explained by the lack of metabolic energy that showed the system to meet the animal requirements at the finishing stage. Obviously, it could be important because it affected the individual daily gain. The energy deficit in this cycle was confirmed with the exercises of food balance performed after using the requirement tables (table 4) of Martin and Palma (1999). In the practice, the food balance relationship for fattening animals, mainly the energy-protein balance, daily mean gain and growth prediction with the use of different models (McPhee 2009), among other productive elements, would allow to correct, with technology and management decisions, the losses of weight gains in different genotypes during a determined growth stage in grazing, according to the season and different productive conditions.

In the second cycle, linear functions and Gompertz and logistic models described the observed curve with ascending tendency, and, in the final phase, they had a similar performance to the previously described cycle, which did not show a stable phase. According to Rodríguez *et al.* (2011), the results confirmed the ability of these genetic animals to obtain liveweight at

ciclos productivos.

Con relación al primer ciclo, la curva de peso vivo prácticamente mostró tendencia lineal hasta el último pesaje. Sin embargo, el modelo lineal sobreestimó el peso vivo en algunos puntos de la curva observada. Esto se pudiera explicar por el déficit de energía metabólica que presentó el sistema para cubrir los requerimientos de los animales en el período de finalización. Evidentemente, pudo ser importante porque afectó la ganancia diaria individual. El déficit energético en este ciclo se corroboró con los ejercicios de balance alimentario que se realizaron al utilizar las tablas de requerimientos de Martin y Palma (1999) (tabla 4). En la práctica, la relación del balance alimentario para animales de ceba, principalmente, energético-proteico, la ganancia media diaria y la predicción del crecimiento con la utilización de diferentes modelos (McPhee 2009), entre otros elementos productivos, permitirían corregir con decisiones tecnológicas y de manejo, pérdidas de ganancia de peso vivo para diferentes genotipos en determinada fase de crecimiento en pastoreo, según la época del año y diferentes condiciones productivas.

En el segundo ciclo, las funciones lineal y los modelos Gompertz y logístico, describieron la curva observada con tendencia ascendente, y en la fase final tuvieron un comportamiento similar que el ciclo descrito con anterioridad, el cual no presentó fase de meseta. De acuerdo con Rodríguez *et al.* (2011), los resultados presentados corroboraron la capacidad que tienen

Table 4. Food balance for all cycles, according to the season in the growth and finishing stages, for an estimate gain of 0.700 kg.animal<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup>

| Category                        |                               | First cycle<br>Zebu (finishing<br>stage) |    | Second cycle<br>Crossbred Zebu<br>(growth-finishing stage) |         | Third cycle<br>Crossbred Zebu<br>(growth-finishing stage) |         | Fourth cycle<br>Dairy crossbred<br>(growth-finishing stage) |         |
|---------------------------------|-------------------------------|------------------------------------------|----|------------------------------------------------------------|---------|-----------------------------------------------------------|---------|-------------------------------------------------------------|---------|
|                                 |                               | DP                                       | RP | DP                                                         | RP      | DP                                                        | RP      | DP                                                          | RP      |
| Contribution,                   | kg DM.d <sup>-1</sup>         | 32.71                                    |    | 29.80                                                      | 53.80   | 30.17                                                     | 51.65   | 31.51                                                       | 55.10   |
| kg DM                           | kg DM.100 kg LW <sup>-1</sup> | 8.96                                     |    | 10.92                                                      | 14.95   | 11.17                                                     | 14.26   | 12.86                                                       | 16.36   |
| Contribution                    | ME, MJ                        | 77.14                                    |    | 67.60                                                      | 95.94   | 66.07                                                     | 89.91   | 68.90                                                       | 84.84   |
|                                 | CP, g                         | 958.65                                   |    | 900.10                                                     | 1210.13 | 898.10                                                    | 1381.40 | 950.10                                                      | 1311.40 |
| Requirements                    | ME, MJ                        | 82.44                                    |    | 65.43                                                      | 83.55   | 69.04                                                     | 84.25   | 62.90                                                       | 78.20   |
|                                 | CP, g                         | 887.00                                   |    | 711.00                                                     | 898.00  | 813.00                                                    | 900.00  | 714.00                                                      | 800.50  |
| Difference                      | ME, MJ                        | -5.30                                    |    | 2.17                                                       | 9.39    | -2.97                                                     | 5.66    | 6.00                                                        | 5.94    |
|                                 | CP, g                         | 71.65                                    |    | 189.11                                                     | 312.13  | 85.10                                                     | 481.40  | 236.10                                                      | 510.94  |
| DP: dry period RP: Rainy period |                               |                                          |    |                                                            |         |                                                           |         |                                                             |         |

slaughtering superior to 400 kg, which would allow to improve carcass meat yield. Bittante *et al.* (2011) stated that this animal performance depends on the weight and age relationship, under normal production conditions.

Likewise, in the third cycle, the linear, logistic and Gompertz models were fitted. All had some difficulties to describe the curvature change, from the third weighing up to the seventh, time that coincided with the transition from dry to rainy season, although there were no marked differences related to individual gain, which was slightly higher at 0.086 kg in this last period. This explained the performance in this study. However, unlike the previous

estos animales genéticos para obtener pesos vivos de sacrificios superiores a 400 kg, lo que permitiría mejorar el rendimiento cárnico de la canal. Bittante *et al.* (2011) plantearon que ese comportamiento animal está sujeto a la relación peso y edad, en condiciones normales de producción.

Igualmente, en el tercer ciclo, se ajustaron los modelos lineal, logístico y Gompertz. Todos presentaron algunas dificultades para describir el cambio de curvatura, desde el tercer pesaje hasta el séptimo, momento que coincidió con el tránsito del período poco lluvioso al lluvioso, aunque no hubo marcadas diferencias relacionadas con

fattening cycle, the final phase of the curvature showed a slight stability, which might be related to weight at slaughtering, superior to the rest of the analyzed cycles.

The fourth cycle showed a similar performance to the previous cycles. The linear function described a good accompaniment in all phases of the observed curve, although the animals were sacrificed with the lowest body weight.

In the calculation of food balance based on grasses, with the exception of the first cycle, included in the finishing phase, which was strategically supplemented, there was an increase of crude protein (CP) in the contribution of the system, resulting in an excess in the balance. Chongo (1988) stated that an excess of CP can produce an additional energy cost for its removal as urea. Therefore, this study allows to infer that, even though the energy covered the requirements for the estimated gain, an important part of it was used to counteract the excess of protein, and could limit the performance of animals, based on the daily mean gain. In addition, the energy would not be enough, according to the balance performed in this system to increase daily mean gains superior to 0.800 kg. These results agree with those reported by Díaz *et al.* (2009) and Iraola (2013), who refer that metabolizable energy is a limiting factor for obtaining higher daily gains in a silvopastoral system with leucaena, which could be corrected with sources of soluble sugars, in order to search for greater energy-protein ruminal synchronism.

The results of this study confirm those of Tedeschi *et al.* (2000) in the Latin American context, as well as those reported by Díaz (2008) and Iraola *et al.* (2014) in Cuba, under similar conditions. These results, according to Fernández (1996), Agudelo *et al.* (2008) and Grimm *et al.* (2010), are very related to the evolution of animal liveweight in the time. Therefore, under normal feeding conditions, growth speed tends to be linear and it can be maintained until animals reach their adult individual weight and stop growing. Generally, fat deposition in muscles increases, as well as the percentage of bones in the carcass. In this sense, the control of food balance contributes to finding feeding deficiencies in the system and avoiding problems in the individual gain of animals (Iraola 2014).

Therefore, the evaluated growth and finishing stages favored the suitable adjustment of the linear model in each cycle. Some results reported by Menchaca (1991a,b), Cañeque and Sañudo (2005) and Jones (2014) could help to confirm the results obtained in that study with beef cattle for these growth stages.

Residues indicated normal distribution of their values for all cycles (figure 1a, b, c and d). In the simple linear model, values ranged from -20 to 20, and in the non-linear models, between -150 and 150. The development

la ganancia individual, que fue ligeramente superior en 0.086 kg en este último período. Esto explicó el comportamiento en este estudio. Sin embargo, a diferencia del ciclo de ceba anterior, en la fase final de la curvatura se presentó una meseta ligera, lo que se pudo relacionar con el peso de sacrificio, superior al resto de los ciclos analizados.

El cuarto ciclo mostró un comportamiento similar a los ciclos anteriores. La función lineal describió buen acompañamiento en todas las fases de la curva observada, aunque los animales se sacrificaron con menor peso corporal.

En el cálculo de balance alimentario basado en pastos, con excepción del primer ciclo, comprendido en la fase de finalización, en el que se suplementó estratégicamente, hubo incremento de proteína bruta (PB) en el aporte del sistema, lo que resultó en un exceso en el balance. Chongo (1988) planteó que un excedente de PB puede producir un costo energético adicional para su eliminación en forma de urea. Por tanto, se infiere en este estudio que, a pesar de que la energía cubrió los requerimientos para la ganancia estimada, una parte importante de ella se utilizó para contrarrestar el exceso de proteína, y pudo limitar el comportamiento de los animales, referido a la ganancia media diaria. Además, no sería suficiente energía, de acuerdo con los balances realizados en este sistema, para incrementar ganancias medias diarias superiores a los 0.800 kg. Estos resultados coinciden con lo señalado por Díaz *et al.* (2009) e Iraola (2013), quienes refieren que la energía metabolizable es una limitante para obtener mayores ganancias diarias en silvopastoreo con leucaena, lo que se pudiera corregir con fuentes de azúcares solubles, para buscar mayor sincronismo ruminal energético-proteico.

Los resultados de este estudio corroboran los trabajos de Tedeschi *et al.* (2000) en el contexto latinoamericano, así como los informados por Díaz (2008) e Iraola *et al.* (2014) en Cuba, en condiciones similares. Estos resultados, según Fernández (1996), Agudelo *et al.* (2008) y Grimm *et al.* (2010) están muy relacionados con la evolución del peso vivo del animal en el tiempo. Por tanto, en condiciones normales de alimentación, la velocidad de crecimiento tiende a ser lineal y se puede mantener hasta que los animales estabilicen su peso individual adulto y dejan de crecer. Por lo general, aumenta la deposición de grasa en los músculos y el porcentaje de huesos en la canal. En este sentido, el control del balance alimentario contribuye a hallar las deficiencias de alimentación del sistema y evitar afectaciones en la ganancia individual de los animales (Iraola 2014).

Por consiguiente, las etapas de crecimiento y finalización evaluadas propiciaron el adecuado ajuste del modelo lineal en cada ciclo. Algunos resultados informados por Menchaca (1991a, 1991b), Cañeque y Sañudo (2005) y Jones (2014) pudieran ayudar a ratificar los resultados obtenidos en ese estudio con ganado de engorde para estas fases de crecimiento.

Los residuos indicaron distribución normal de sus valores para todos los ciclos (figura 1a, b, c y d). En el modelo lineal simple, los valores oscilaron entre -20 y

of biomass production, from the second production cycle, contributed to stabilize the estimated daily mean gain, without marked problems, according to the season, with a favorable productive performance for tropical conditions. This allowed a mean duration in grazing

20, y en los no lineales entre -150 y 150. El desarrollo de la producción de biomasa, a partir del segundo ciclo productivo, contribuyó a estabilizar la ganancia media diaria estimada, sin afectaciones marcadas, según la época del año, con comportamiento productivo favorable

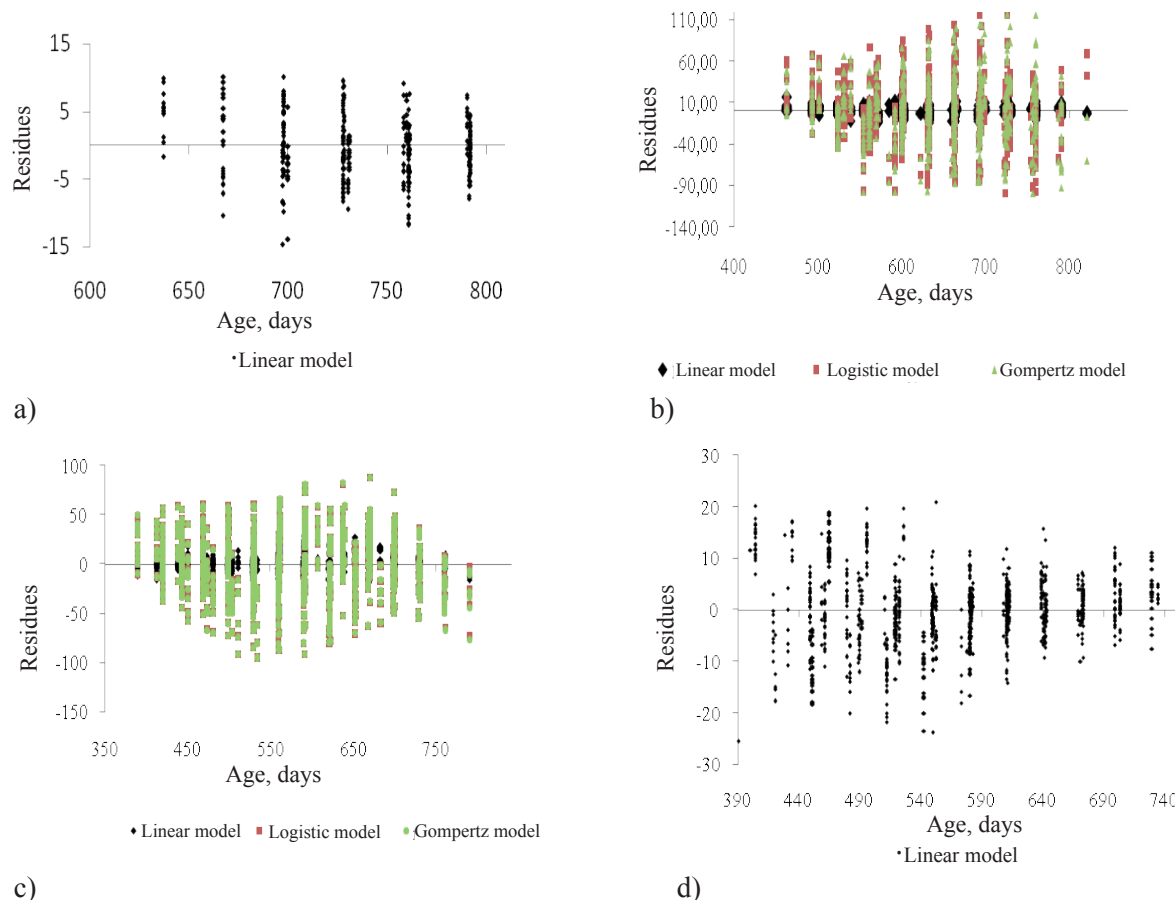


Figura 1. Distribution of residues for models fitted according to each productive cycle: a) first cycle, b) second cycle, c) third cycle and d) fourth cycle

during the growth-fattening stage, from the second cycle of eight and nine months, in order to obtain mean liveweight at slaughtering between 380 and 416 kg with these genetic groups (table 3).

The results support a linear performance in the evaluated genetic groups. This indicates that commercial arguments are needed in order to maximize profitability in these genotypes, because if the animals finish fattening stage under silvopastoral conditions with leucaena and a mixture of improved and natural grasses, genetic and non-genetic factors (climate, management, and some others) should be considered to achieve better productive indicators (Justin *et al.* 2012). Therefore, control should be together with some indicators, such as food balance per season, and others related to management, so as to ensure animal productivity in the real context of each productive system.

It can be concluded that the model of linear growth was fitted in all fattening cycles. The non-linear (Gompertz and logistic) models were fitted in the

para las condiciones del trópico. Esto posibilitó un tiempo promedio de duración en pastoreo durante la etapa de crecimiento ceba, desde el segundo ciclo de ocho y nueve meses, para obtener con estos grupos genéticos peso vivo promedio al sacrificio entre 380 y 416 kg (tabla 3).

Los resultados apoyan un comportamiento lineal en los grupos genéticos evaluados. Esto indica que se necesitan razonamientos comerciales para lograr maximizar la rentabilidad en estos genotipos, debido a que si finalizan la ceba en silvopastoreo con leucaena y mezcla de gramíneas mejoradas y naturales, hay factores genéticos y no genéticos (clima, manejo, entre otros) que se deben considerar para lograr mejores indicadores productivos (Justin *et al.* 2012). Por tanto, se deben acompañar del control de algunos indicadores, como el balance alimentario por época, y otros relacionados con el manejo, de modo que garanticen la productividad en los animales en el contexto real de cada sistema productivo.

Se concluye que el modelo de crecimiento lineal se ajustó en todos los ciclos de ceba, los no lineales

second and third cycle in the life phases evaluated in this study. This indicates the need to develop specific strategies for the finishing stage of male cattle in silvopastoral systems with leucaena. Further studies on growth models with superior liveweight at slaughtering in Zebu and crossbred animals are suggested, which would predict the productive performance over time. Interpreting results, control indicators such as food balance and management, could substantially improve the indicators of liveweight at slaughtering, under silvopastoral conditions with leucaena and grasses.

### Acknowledgements

Thanks to the workers from the fattening unit "Ayala" and to the Department of Animal Genetics from the Institute of Animal Sciences.

(Gompertz y logístico) en el segundo y en el tercer ciclo en las fases de vida evaluadas en este estudio. Esto indica la necesidad de desarrollar estrategias específicas para la finalización de bovinos machos en silvopastoreo con leucaena. Se sugiere profundizar en el estudio de modelos de crecimiento con mayor peso vivo de sacrificio en animales Cebú y mestizos, lo que permitiría predecir su comportamiento productivo en el tiempo. Con la interpretación de los resultados, el control de indicadores como el balance alimentario y el manejo, se pudieran mejorar sustancialmente los indicadores de peso vivo al sacrificio, en silvopastoreo con leucaena y gramíneas.

### Agradecimientos

Se agradece a los trabajadores del cebadero "Ayala" y al Departamento de Genética Animal del Instituto de Ciencia Animal de Cuba.

### References

- Agudelo, D.A., Cerón-Muñoz, M.F. & Restrepo, L.F. 2008. Modelación de funciones de crecimiento aplicadas a la producción animal. *Rev. Colombiana de Ciencias Pecuarias* 21:39
- Bertalanffy, L. Von. 1957. Quantitative laws in metabolism and growth. *The Quarterly Review of Biology* 32:270
- Bittante, G., Cecchinato, A., Dal Zotto, R., De Marchi, M. & Penasa, M. 2011. Adjusting for age can lead to biased genetic evaluation for body weight in cattle. *Livestock Sci.* 140:7
- Brody, S. 1945. *Bioenergetics and growth*. Reinhold Publication. New York. p. 1023
- Brown, J.E., Fitzhugh, H.A. & Cartwright, T.C.A. 1976. A comparison of non-linear models for describing weight age relationships in cattle. *J. Anim. Sci.* 42:810
- Cañeque, V. & Sañudo, C. 2005. Estandarización de las metodologías para evaluar la calidad del producto (animales vivos, canal, carne y grasa) en los rumiantes. Ed. INIA. España. p. 17
- Chongo, B. 1988. Metabolismo de los aminoácidos. In: *Bioquímica nutricional. Metabolismo intermediario. Volume 2. Chapter 5*. Ed. Instituto de Ciencia Animal. La Habana, Cuba. p. 85
- Díaz, A. 2008. Producción de carne bovina en pastoreo con gramíneas y leguminosas. PhD Thesis. Instituto de Ciencia Animal, La Habana, Cuba. p. 132
- Díaz, A., Castillo, E., Martín, P.C. & Hernández, J.L. 2009. Fattening of crossbred dairy bulls in silvopastoral systems with leucaena, access to biomass bank and rumen activating supplement. *Cuban J. Agric. Sci.* 43:235
- Fernández, L. 1996. Modelos que describen la dinámica de los procesos biológicos en las Ciencias Agropecuarias. Master Thesis. La Habana, Cuba. 68 pp.
- Gompertz, B. 1825. 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. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. 115:513
- Grimm, K.J., Ram, N. & Hamagami, F. 2010. Nonlinear Growth Curves in Developmental Research. *Child Dev.* 82:1357
- Guerra, C., Cabrera, A. & Fernández, L. 2003. Criteria for the selection of statistical models in scientific research. *Cuban J. Agric. Sci.* 37:3
- Iraola, J. 2013. Rediseño y manejo de un arreglo agroforestal para mejorar la capacidad de carga biológica con ganado de engorde. PhD Thesis. Instituto de Ciencia Animal, Mayabeque. Cuba
- Iraola, J. 2014. Estrategia de rediseño ecológica para la recuperación de pasturas degradadas en sistemas de engorde bovino. II Foro Internacional de Alimentación de Rumiantes, Chiapas. México
- Iraola, J., Muñoz, E., García, Y., Hernández, J.L. & Moreira, E. 2014. Estrategia de rediseño ecológica para la recuperación de pasturas degradadas en un sistema agrosilvopastoril de engorde bovino. III Convención Internacional. Agrosilvopastoreo 2014. Varadero. Cuba
- Jones, S. 2014. Growth of Meat Animals. *Growth Patterns. Encyclopedia of Meat Sciences (Second Edition)*. p. 61
- Justin, A.W., Ainsworth Stein, R.M. & Christina, S. 2012. Pasture shade and farm management effects on cow productivity in the tropics. *Agriculture. Ecosystems & Environment* 155:110
- Martín, P.C. & Palma, J.M. 1999. Manual para fincas y ranchos ganaderos. Colima, México. Ed. Agrosystems. p. 120
- McPhee, M.J. 2009. Mathematical modeling in agricultural systems: A case study of modeling fat deposition in beef cattle for research and industry. 18th World IMACS, MODSIM Congress, Cairns, Australia
- Menchaca, M.A. 1990. The use of stage model for describing animal growth curves. *Cuban J. Agric. Sci.* 24:31
- Menchaca, M.A. 1991a. Modeling of a bovine weight growth. 1. An intrinsically linear model for growth representation. *Cuban J. Agric. Sci.* 25:125
- Menchaca, M.A. 1991b. Modeling of a bovine weight growth. 2. Multiplicative model for controlling the growth curve and other effects. *Cuban J. Agric. Sci.* 25:231
- Nelder, J.A. 1961. The fitting of a generalization of the logistic curve. *Biometrics*. 17: 89

- Nogales, S. 2009. Estudio preliminar de la curva de crecimiento de la raza bovina marismeña en cebadero convencional. X Simposio Iberoamericano sobre Conservación y Utilización de Recursos Zoogenéticos. Palmira. Colombia. p. 21
- Rodríguez, D., Martín, P.C., Tuero, O. & Sarduy, L. 2011. Characterization of carcasses of Holstein upgraded bulls fed complete diets of forage from sugarcane and *Pennisetum purpureum* cv. Cuba CT-115. Cuban J. Agric. Sci. 45:369
- Posada, S., Rosero, R., Rodríguez, N. & Costa, A. 2011. Estimación de parámetros de curvas de crecimiento de ganado Nellore. Rev. MVZ Córdoba 16:2701
- Tedeschi, L.O., Boin, C., Nardon, R.F. & Leme, P.R. 2000. Estudo da curva de crescimento de animais da raça Guzerá e seus cruzamentos alimentados a pasto, com e sem suplementação. Análise e seleção das funções não lineares. Rev. Bras. Zootecnia 29:630
- Torres, V., Barbosa, I., Meyer, R., Noda, A. & Sarduy, L. 2012. Criteria of goodness of fit test in the selection of non-linear models for the description of biological performances. Cuban J. Agric. Sci. 46:345
- SAS 2007. SAS User's guide: Statistics. Version 9.1.3. SAS. Institute. INC, Cary, N.C., USA

**Received: November 9, 2014**