

ORIGINAL

Description of growth in sheep creole (*Ovis aries*) in two populations from Córdoba, Colombia

Descripción del crecimiento de ovinos criollos (*Ovis aries*) en dos poblaciones de Córdoba, Colombia

Juan Simanca S^{1,2} Esp, Oscar Vergara G^{1*} Dr.Sc, Moris Bustamante Y¹ M.Sc.

¹Universidad de Córdoba, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Maestría en Ciencias Veterinarias del Trópico, Grupo de Investigación en Producción Animal Tropical, Montería, Colombia. Montería, Colombia. ²Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos – INVIMA, Antioquia, Colombia. Correspondencia: overgara@correo.unicordoba.edu.co

Received: January 2017; Accepted: June 2017.

ABSTRACT

Objective. Evaluate the model that best described the growth in sheep creole in the Department of Córdoba. **Materials and methods.** Weights of 55 Criollos sheep were used to select the model that best fit the data. Brody, Logistic, Gompertz and Von Bertalanffy models were evaluated. The parameters of the models were estimated using the NLIN procedure of SAS. The selection of the curve that best described the growth was done considering the Aikake Information Criterion (AIC), the Bayesian Information Criterion (BIC), the Determination Coefficient (R^2), and the Percentage of Convergent Curves (CCP). For the model that best described the growth curve, the percentage of maturity at 4 (M4) and 6 (M6) months of age and age at 75 (AM75) and 95% (AM95) at maturity was estimated. **Results.** The Brody model presented the best fit. Sex effect was significant ($p \leq 0.05$) for β_2 , M4, M6, EM75 and EM95. While the Farm effect had only a significant effect ($p \leq 0.05$) for β_2 . **Conclusions.** The Brody model best described growth of the studied sheep populations, its estimated values for maturity and age at maturity were low.

Key words: age, growth curve, Brody model, maturity (*Source: CAB*).

RESUMEN

Objetivo. Determinar curvas de crecimiento en ovinos Criollos en dos poblaciones del Departamento de Córdoba. **Materiales y métodos.** Se utilizaron registros de pesos de 55 ovinos Criollos para seleccionar el modelo que mejor se ajustara a los datos. Los modelos evaluados fueron Brody, Logístico, Gompertz y Von Bertalanffy. Los parámetros de los modelos fueron estimados por medio del procedimiento NLIN de SAS. La selección de la curva que mejor describió el crecimiento se realizó considerando el Criterio de Información Aikake (AIC), el Criterio de Información Bayesiana (BIC), el Coeficiente de Determinación (R^2) y el Porcentaje de Curvas Convergentes (PCC). Para el modelo que mejor describió la curva de crecimiento se estimó el porcentaje de madurez a los 4 (M4) y 6 (M6) meses de edad y edad al 75 (EM75) y 95% (EM95) de madurez. **Resultados.** El modelo de Brody fue el que presentó mejor ajuste. El efecto sexo fue significativo ($p \leq 0.05$) para β_2 , M4, M6, EM75 y EM95, mientras que el efecto finca solo presentó efecto significativo ($p \leq 0.05$) para β_2 . **Conclusiones.** El modelo de Brody fue el que mejor describió el crecimiento en las poblaciones ovinas estudiadas, siendo los valores estimados para porcentaje de madurez y edad a la madurez bajos.

Palabras clave: curvas de crecimiento, modelo de Brody, edad, madurez (*Fuente: CAB*).

INTRODUCTION

The production of hair sheep in Colombia has traditionally been considered a secondary activity to cattle farming. To achieve an increase in the competitiveness of this sector, it is necessary to incorporate knowledge as a production factor and generate competitive advantages through knowledge management systems that adapt to the conditions of primary production in developing countries such as Colombia (1).

Currently, technology transfer processes are being generated from different places, which are unrelated to the production conditions of the Colombian tropics, so that at a certain moment, they may become obstacles to achieving the much sought-after competitiveness, by generating unplanned undesirable events, instead of real solutions to livestock production (2). The above suggests that it is necessary to deepen the different aspects associated with their production to allow improving productive indexes (1, 3). On the other hand, sheep production has characteristics that make this exploitation system profitable in the short term, because sheep are a rustic species, with high fertility, prolificacy and longevity (3).

Based on the above, it is necessary to carry out studies in Colombia that provide a greater knowledge of sheep production. In this sense, the study of growth curves is essential to initiate a selection and genetic improvement program in sheep, destined to increase the precocity of this species (4). These measures have been used by some researchers to describe animal growth (4). Hence, the importance of this research in the evaluation of different non-linear growth models, managed under grazing conditions in the Department of Córdoba, to provide relevant information to producers, for the selection of animals with performance according to the objectives of production.

MATERIALS AND METHODS

Location. This study was conducted in two sheep production systems, located in the municipalities of Montería (Farm 1) and Sahagún (Farm 2). The municipality of Montería is located at 08°45' North latitude and 75°53' West longitude, altitude of 18 meters above sea level, average annual temperature of 28°C, average annual rainfall of 1,225 mm and relative humidity of 80%. The municipality of Sahagún is located at 08°56' North latitude and 75°26' West longitude, height of 75 masl, average annual temperature 27°C, average annual rainfall of 1,395 mm and relative humidity of 80%.

INTRODUCCIÓN

La producción de ovinos de pelo en Colombia, tradicionalmente se ha considerado como una actividad secundaria de la ganadería vacuna. Para lograr un incremento de la competitividad del sector, se requiere de la incorporación del conocimiento como factor producción y generador de ventajas competitivas mediante sistemas de gestión de conocimiento que se adapten a las condiciones de la producción primaria de un país en desarrollo como Colombia (1).

Actualmente se están generando procesos de transferencia tecnológica provenientes de diversos lugares, ajenos a las condiciones de producción del trópico Colombiano, por lo que están en determinado momento, podrán convertirse en obstáculos para el logro de la tan buscada competitividad, al generar eventos no planificados indeseables, en lugar de soluciones reales a la producción pecuaria (2). Lo anterior sugiere que se requiere profundizar en los diferentes aspectos asociados a su producción que permitan mejorar los índices productivos (1, 3). Por otra parte, la producción ovina cuenta con características que hacen que este sistema de explotación sea rentable en el corto plazo, por ser los ovinos una especie rústica, con alta fertilidad, prolificidad y longevidad (3).

Con base en lo anterior, en Colombia se requiere realizar estudios que permitan un mayor conocimiento de la producción ovina. En este sentido, el estudio de curvas de crecimiento es indispensable para iniciar un programa de selección y mejoramiento genético en ovinos, destinados a aumentar la precocidad de esta especie (4). Estas medidas han sido utilizadas por algunos investigadores para describir el crecimiento de los animales (4). De allí, la importancia de esta investigación de evaluar diferentes modelos de crecimiento no lineales, manejados en condiciones de pastoreo en el Departamento de Córdoba, con el fin de proporcionar información relevante a los productores, para la selección de animales con desempeño acorde a los objetivos de producción.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. El estudio se realizó en dos sistemas de producción ovina, ubicados en los municipios de Montería (Finca 1) y Sahagún (Finca 2). El municipio de Montería se encuentra ubicado a 08°45' latitud Norte y 75°53' longitud Oeste, altura de 18 msnm, temperatura media anual de 28°C, precipitación media anual de 1.225 mm y humedad relativa de 80%. El municipio de Sahagún se ubica a 08°56'

Management, animals and nutrition. Fifty-five Creole sheep from single births, belonging to two different production systems born from single births between November 2013 and April 2014, were used. Weigh-ins were carried out every 15 days from birth to 6 months of age (since this is the age at which producers market animals for slaughter). Each production system had a JAZ-DINA L150 digital scale with a capacity of 150 kg, to carry out the weighing of the animals, with at least 10 weigh-ins for each animal and a maximum of 13. The animals were managed under grassland grazing conditions of *Bothriochloa pertusa*, with water and mineral salt availability at will; during the dry season the animals of farm 1 were supplemented with corn silage and grain and those of farm 2 with *Pennisetum purpureum* silage.

Growth curves. With the weighing data, a database for the study of the growth curves was elaborated by means of the following non-linear regression models:

$$y_t = \beta_0 e^{-\beta_1 e^{-\beta_2 t}} \text{ Gompertz (5)}$$

$$y_t = \beta_0 (1 - \beta_1 e^{\beta_2 t})^{-1} \text{ Logística (6)}$$

$$y_t = \beta_0 (1 - \beta_1 e^{\beta_2 t})^3 \text{ Von Bertalanffy (7)}$$

$$y_t = \beta_0 (1 - \beta_1 e^{\beta_2 t}) \text{ Brody (8)}$$

Where: y_t represents the weight of the animal at time t ; β_0 represents the asymptotic weight of the animal when « t » tends to infinity, it is generally interpreted as a percentage of maturity compared to adult weight; β_1 is an adjustment parameter when $y \neq 0$ or $t \neq 0$; β_2 is a maturity index or measure of precocity, expressed as a percentage proportion of the maximum growth compared to the adult weight of the animal, the higher it is, indicates a faster growth rate (9-11).

In addition, the percentage of maturity was calculated at four (M4) and six months (M6) of age and the average age to reach 75 (EM75) and 95% (EM95) maturity, for the Brody model, which was the one that best described the growth of the sheep in the populations studied, according to the following formulas:

$$\%M = (1 - \beta_1 e^{\beta_2 t})$$

Where:

$\%M$ = percentage of maturity estimated at 4 or 6 months;

t = time to reach a percentage of maturity (4 or 6 months).

latitud Norte y 75°26' longitud Oeste, altura de 75 msnm, temperatura media anual 27°C, precipitación media anual de 1.395 mm y humedad relativa de 80%.

Manejo, animales y nutrición. Se utilizaron 55 ovinos Criollos provenientes de partos simples, pertenecientes a dos sistemas de producción diferentes nacidos de partos únicos entre noviembre de 2013 y abril de 2014. Se realizaron pesajes cada 15 días desde el nacimiento hasta los 6 meses de edad (ya que esta es la edad en la cual los productores comercializan los animales para sacrificio). Cada sistema de producción dispuso de una báscula digital JAZ-DINA L150 con capacidad para 150 kg, para realizar los pesajes de los animales, realizándose por lo menos 10 pesajes para cada animal y máximo 13. Los animales fueron manejados bajo condiciones de pastoreo en praderas de *Bothriochloa pertusa*, con disponibilidad de agua y sal mineral a voluntad; durante la época seca los animales de la finca 1 se suplementaron con ensilaje de maíz con grano y los de la finca 2 con ensilaje de *Pennisetum purpureum*.

Curvas de crecimiento. Con los datos de pesaje se elaboró una base de datos para el estudio de las curvas de crecimiento mediante los siguientes modelos de regresión no lineal:

$$y_t = \beta_0 e^{-\beta_1 e^{-\beta_2 t}} \text{ Gompertz (5)}$$

$$y_t = \beta_0 (1 - \beta_1 e^{\beta_2 t})^{-1} \text{ Logística (6)}$$

$$y_t = \beta_0 (1 - \beta_1 e^{\beta_2 t})^3 \text{ Von Bertalanffy (7)}$$

$$y_t = \beta_0 (1 - \beta_1 e^{\beta_2 t}) \text{ Brody (8)}$$

Dónde: y_t representa el peso del animal en el tiempo t ; β_0 representa el peso asintótico del animal cuando « t » tiende a infinito, generalmente es interpretado como porcentaje de madurez con respecto al peso adulto; β_1 es un parámetro de ajuste cuando $y \neq 0$ o $t \neq 0$; β_2 es un índice de madurez o medida de precocidad, expresado como una proporción de porcentaje del máximo crecimiento con respecto al peso adulto del animal, entre mayor sea, indica una tasa de crecimiento más rápida (9-11).

Además, se calculó el porcentaje de madurez a los cuatro (M4) y seis meses (M6) de edad y la edad promedio para alcanzar el 75 (EM75) y 95% (EM95) de madurez, para el modelo Brody, que fue el que mejor describió el crecimiento de los ovinos de las poblaciones estudiadas, de acuerdo a las siguientes formulas:

$$\%M = (1 - \beta_1 e^{\beta_2 t})$$

$$EM = -\log((1-\%M) / \beta_1) / -\beta_2$$

Where:

EM = estimated age upon reaching 75 or 95% maturity;

%M = expected maturity percentage (75 or 95%).

Statistical analysis. The parameters of the growth curves were estimated using the SAS NLIN procedure (12). For the selection of the best model, the Akaike information criterion (AIC), the Bayesian information criterion (BIC), the coefficient of determination (R²) and the percentage of convergent curves (PCC) were considered. To determine if there was statistical difference between genders and farms for model parameters, percentage of maturity and age at maturity, a variance analysis of was performed using the GML procedure of the SAS. It should be noted that the assumptions of normality and independence of the errors were validated.

RESULTS

Table 1 shows the estimates of parameters β_0 , β_1 , β_2 , R², AIC, BIC and PCC of the different models studied. All models evaluated had 100% PCC. However, the Brody model presented a lower AIC and BIC compared to the other models, although its R² was smaller, but met three of the four criteria for model selection. This allows us to affirm that the Brody model fits satisfactorily to the growth of Creole sheep.

Figure 1 shows the average growth behavior of Creole sheep as per the Brody model, which presented the best fit. The figure was done based on the estimated parameters presented in Table 1 ($\beta_0=33.821 \pm 13.246$, $\beta_1=0.907 \pm 0.065$, $\beta_2=0.0046 \pm 0.0027$).

Table 1. Estimates of parameters (β_0 , β_1 and β_2), R², AIC, BIC and PCC in the models studied for Creole sheep.

| Model | β_0 | β_1 | β_2 | R ² | AIC | BIC | PCC |
|-----------------|-----------|-----------|-----------|----------------|-------|-------|-----|
| Gompertz | 25.575 | 2.086 | 0.0109 | 99.44 | 62.48 | 63.98 | 100 |
| Logístico | 23.176 | 5.910 | 0.0175 | 99.27 | 62.46 | 63.96 | 100 |
| Von Bertalanffy | 27.714 | 0.515 | 0.0087 | 99.47 | 62.49 | 63.98 | 100 |
| Brody | 33.821 | 0.907 | 0.0046 | 98.60 | 57.30 | 58.95 | 100 |

Dónde:

%M= porcentaje de madurez estimado a 4 ó 6 meses;

t= tiempo para alcanzar un porcentaje de madurez (4 ó 6 meses).

$$EM = -\log((1-\%M) / \beta_1) / -\beta_2$$

Dónde:

EM= edad estimada al alcanzar el 75 ó 95% de madurez;

%M= porcentaje de madurez esperado (75 ó 95%).

Análisis estadístico. Los parámetros de las curvas de crecimiento fueron estimados utilizando el procedimiento NLIN del SAS (12). Para la escogencia del mejor modelo, se consideró el criterio de información de Akaike (AIC), el criterio de información Bayesiano (BIC), el coeficiente de determinación (R²) y el porcentaje de curvas convergentes (PCC). Para determinar si hubo diferencia estadística entre sexos y entre fincas para los parámetros del modelo, porcentaje de madurez y edad a la madurez, se realizó un análisis de varianza utilizando el procedimiento GML del SAS. Cabe resaltar que se validaron los supuestos de normalidad e independencia de los errores.

RESULTADOS

En la Tabla 1 se presentan los estimados de los parámetros β_0 , β_1 , β_2 , R², AIC, BIC y PCC de los diferentes modelos estudiados. Todos los modelos evaluados tuvieron 100% de PCC. Sin embargo, el modelo de Brody presentó menor AIC y BIC respecto a los otros modelos, aunque su R² fue menor, pero cumplió con tres de los cuatro criterios para selección del modelo. Esto permite afirmar que el modelo de Brody se ajusta de forma satisfactoria al crecimiento de ovinos Criollos.

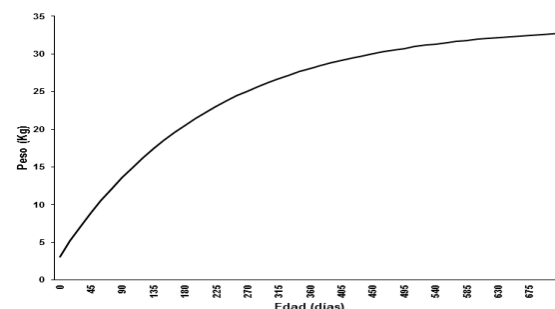


Figure 1. Growth curve of Creole sheep using the Brody model (8).

Table 2 shows the average values estimated for the parameters studied, considering gender and farm effects for the Brody model in Creole sheep. There was no significant effect ($p>0.05$) for gender and farm on parameters β_0 and β_1 , while there was a significant effect ($p\leq 0.05$) for gender and farm on parameter β_2 . There was only a significant effect ($p\leq 0.05$) for gender on variables M4, M6, EM75 and EM95.

Table 2. Estimates for the parameters studied, according to the Brody model, as per gender and farm in Creole sheep.

| Effect | | β_0 | β_1 | β_2 | M4 | M6 | EM75 | EM95 |
|--------|--------|-----------|-----------|---------------------|-------------------|-------------------|--------------------|---------------------|
| Sexo | Macho | 37.43 | 0.896 | 0.0059 ^a | 53.1 ^a | 64.7 ^a | 301.3 ^a | 675.6 ^a |
| | Hembra | 32.35 | 0.926 | 0.0041 ^b | 40.9 ^b | 51.6 ^b | 453.5 ^b | 1001.9 ^b |
| Finca | 1 | 37.35 | 0.920 | 0.0058 ^a | 51.5 | 63.4 | 299.5 | 664.5 |
| | 2 | 32.44 | 0.903 | 0.0042 ^b | 42.5 | 52.9 | 455.3 | 1013.1 |

For a given effect, equal letters in the same column indicate that there was no significant difference ($p>0.05$)

Figure 2 and 3 show the behavior of the growth curves, according to gender and farm, using the model proposed by Brody (8). Table 3 shows the percentage of maturity at four (M4) and six (M6) months of age and age at 75 (EM75) and 95% (EM95) maturity for the Brody model in Creole sheep. The percentage of maturity according to the Brody model was $44.9 \pm 18.7\%$ at 4 months of age and $55.7 \pm 20.6\%$ at 6 months of age. According to this model, the animals reached an average of 75% maturity at 414.2 ± 285.5 days and reached 95% maturity at 920.9 ± 615.6 days.

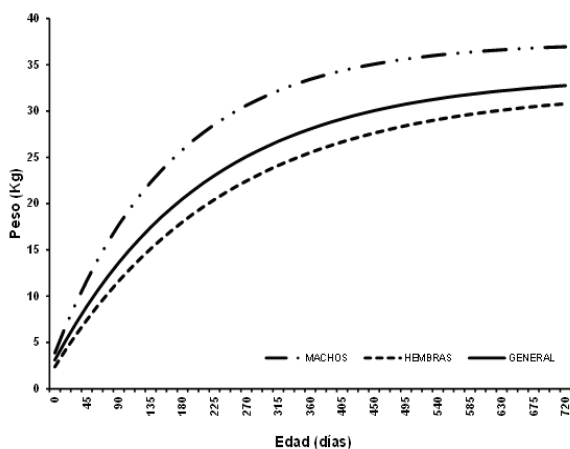


Figure 2. Growth curves of Creole sheep according to sex using the model proposed by Brody (8).

En la Figura 1 se puede notar el comportamiento medio del crecimiento de ovinos Criollos de acuerdo al modelo Brody, que fue el que presentó mejor ajuste. La figura se elaboró con base en los parámetros estimados presentados en las Tabla 1 ($\beta_0=33.821 \pm 13.246$; $\beta_1=0.907 \pm 0.065$; $\beta_2=0.0046 \pm 0.0027$).

En la Tabla 2 se presentan los valores medios estimados para los parámetros estudiados considerando los efectos sexo y finca, para el modelo Brody en ovinos Criollos. No se presentó efecto significativo ($p>0.05$) del sexo y finca sobre los parámetros β_0 y β_1 , mientras que sí hubo efecto significativo ($p\leq 0.05$) del sexo y finca sobre el parámetro β_2 . Solo hubo efecto significativo ($p\leq 0.05$) del sexo sobre las variables M4, M6, EM75 y EM95.

En la Figura 2 y 3 se muestra el comportamiento de las curvas de crecimiento, de acuerdo al sexo y a la finca, utilizando el modelo propuesto por Brody (8). En la Tabla 3 se presenta el porcentaje de madurez a los cuatro (M4) y seis (M6) meses de edad y la edad al alcanzar el 75 (EM75) y 95% (EM95) de madurez para el modelo Brody en ovinos Criollos. El porcentaje de madurez de acuerdo al modelo Brody fue $44.9 \pm 18.7\%$ a los 4 meses de edad y $55.7 \pm 20.6\%$ a los 6 meses de edad. De acuerdo a este modelo los animales alcanzaron en promedio el 75% de madurez a los 414.2 ± 285.5 días y alcanzaron el 95% de madurez a los 920.9 ± 615.6 días.

DISCUSIÓN

Los resultados de las curvas de crecimiento del presente estudio, fueron similares a los reportados por Teixeira et al (13), Gbangboche et al (14) y Bahreini et al (15) en ovinos Santa Inés, West African y Baluchi respectivamente,

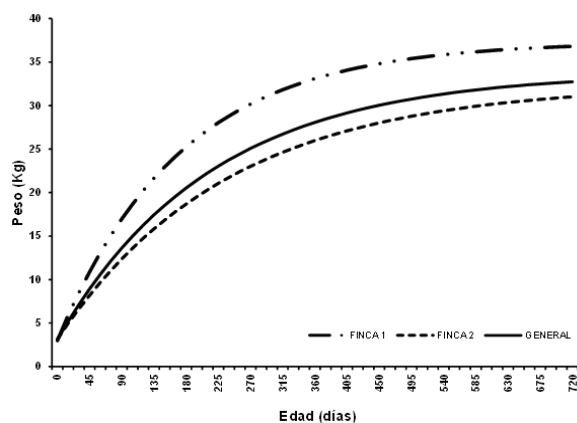


Figure 3. Growth curves of Creole sheep according to the farm using the model proposed by Brody (8)

Tabla 3. Estimados para porcentaje de madurez y edad a la madurez en ovinos Criollos, de acuerdo al modelo propuesto por Brody (8).

| Variable | Average | Standard deviation |
|-------------|---------|--------------------|
| M4 (%) | 44.9 | 18.7 |
| M6 (%) | 55.7 | 20.6 |
| EM75 (Días) | 414.2 | 285.5 |
| EM95 (Días) | 920.9 | 615.6 |

M4=% maturity at 4 months; M6=%maturity at 6 months; EM75=Age when reaching 75% maturity; EM95 = Age when reaching 95% maturity.

DISCUSSION

The results of the growth curves in the present study were similar to those reported by Teixeira et al (13), Gbangboche et al (14) and Bahreini et al (15) in Santa Ines, West African and Baluchi sheep respectively, who studied the Brody, Von Bertalanffy, Richards and Gompertz models, and found that the Brody model was the one that best described growth. While, Lupi et al (16) using the Brody, Von Bertalanffy, Logístico and Gompertz models in sheep of Segureña race, found that the Von Bertalanffy model was the one that best described growth. Ullah et al (17) also reported that the Von Bertalanffy model was the one that best adjusted to the growth curve in sheep.

Oliveira et al (18) and Sarmiento et al (11) using the Brody, Von Bertalanffy, Logistic, Gompertz and Richards models to describe growth in Santa Ines sheep, reported the Gompertz model as the best fit. Similarly, Malhado et al (19), when evaluating the same models in sheep (Dorper×Morada Nova, Dorper × Longtail and Dorper × Santa Inés), found that the Gompertz model was the one that best described growth. Keskin et al (20) found that the Quadratic and Gompertz models were the ones that best described the growth of the sheep when evaluating the Quadratic, Cubic, Gompertz and Logistic models in sheep of the Konya Merino breed.

On the other hand, Lambe et al (21), using the Logistic, Gompertz and Richards models to describe growth in the Texel and Scottish Blackface breeds, found that the Richards model presented the best fit. McManus et al (22), used the Brody, Logistic and Richards models in sheep of the Bergamácia race, to describe their growth, being the Logistic model the one they recommended; likewise Daskiran et al (23) when evaluating the Brody, Gompertz, Logistic, Bertalanffy and Negative Exponential models in Turkish Norduz sheep; and Silva et al (24) in San

quienes estudiaron los modelos Brody, Von Bertalanffy, Richards y Gompertz, y encontraron que el modelo Brody fue el que mejor describió el crecimiento. Mientras que, Lupi et al (16) utilizando los modelos Brody, Von Bertalanffy, Logístico y Gompertz, en ovinos de raza Segureña, encontraron que el modelo Von Bertalanffy fue el que mejor describió el crecimiento. Ullah et al (17) también reportaron que el modelo Von Bertalanffy fue el que mejor se ajustó a la curva de crecimiento en ovinos.

Oliveira et al (18) y Sarmiento et al (11) utilizando los modelos Brody, Von Bertalanffy, Logístico, Gompertz y Richards para describir el crecimiento en ovinos Santa Inés, reportaron el modelo Gompertz como el de mejor ajuste. De igual manera, Malhado et al (19) al evaluar los mismos modelos en ovinos (Dorper × Morada Nova, Dorper × Rabo Largo y Dorper × Santa Inés), encontraron que el modelo Gompertz fue el que mejor describió el crecimiento. Keskin et al (20) en ovinos de la raza Konya Merino encontraron que los modelos Cuadrático y Gompertz fueron los que mejor describieron el crecimiento de las ovejas al evaluar los modelos Cuadrático, Cúbico, Gompertz y Logístico.

Por su parte, Lambe et al (21) al utilizar los modelos Logístico, Gompertz, Richards, para describir el crecimiento en las razas Texel y Scottish Blackface, encontraron que el modelo Richards fue el que presentó mejor ajuste. McManus et al (22), en ovinos de la raza Bergamácia, utilizaron los modelos Brody, Logístico y Richards para describir su crecimiento, siendo el modelo Logístico el que ellos recomendaron; de igual manera Daskiran et al (23) al evaluar los modelos Brody, Gompertz, Logístico, Bertalanffy y Exponencial Negativo en ovinos Turkish Norduz; y Silva et al (24) en ovinos San Inés evaluando los modelos Brody, Von Bertalanffy, Logístico, Gompertz y Richards, encontraron que el modelo Logístico fue el que mejor describió el crecimiento. Como se puede notar cada población en específica va a tener un modelo particular para describir su crecimiento, ya que de acuerdo a la literatura consultada, el crecimiento de una misma raza puede ajustarse a modelos no lineales diferentes, por lo que las condiciones ambientales, los sistemas de alimentación y manejo empleados son determinantes en la generación de información para el ajuste de los modelos; sin dejar a un lado el efecto de la raza o razas involucradas.

Los valores de estimados ($\beta_0 = 33.82$; $\beta_1 = 0.907$) del presente estudio, en los ovinos Criollos, utilizando el modelo Brody, fueron superiores a los reportados por Souza et al (25) ($\beta_0=28.96$;

Inés sheep evaluating the Brody, Von Bertalanffy, Logistic, Gompertz and Richards models, found that the Logistic model was the one that best described growth. As is noticed, each specific population has a particular model to describe its growth, since according to the literature consulted, the growth of the same breed can be adjusted to different non-linear models, so that environmental conditions, feeding systems and handling are determinants in the generation of information for the adjustment of the models; without leaving aside the effect of the breed or breeds involved.

The estimated values of ($\beta_0=46.84$; $\beta_1=0.952$) in the present study, in Creole sheep, using the Brody model, were superior to those reported by Souza et al (25) ($\beta_0 = 28.96$; $\beta_1=0.88$), Sarmiento et al (11) ($\beta_0 = 27.41$; $\beta_1 = 0.88$) and Hossein-Zadeh and Golshani (26) ($\beta_0=27.42$; $\beta_1 = 0.89$), in sheep of the Morada Nova, Santa Inés and Guilan breeds, respectively. The value of ($\beta_2=0.00465$), in the present study was lower than that reported by Teixeira et al (13) ($\beta_1=0.006$, Santa Inés), Malhado et al (27) ($\beta_1=0.006$, Santa Inés \times Texel) and Guedes et al (10) ($\beta_1 = 0.007$, Bergamacia).

Values under those of this study for ($\beta_0 = 46.84$; $\beta_1 = 0.952$), using the Brody model in Santa Inés \times Creole sheep, were found by Sarmiento et al (11) ($\beta_0 = 24.8$; $\beta_1 = 0.479$) in Santa Inés sheep, Malhado et al (27) ($\beta_0 = 32.16$; $\beta_1 = 0.489$) in Texel \times Santa Inés and Silveira et al (28) ($\beta_0=34.05$; $\beta_1=0.477$) in Dorper \times Santa Inés. The estimated values for β_2 by Hossein-Zadeh and Golshani (26) and Teixeira et al (29) were higher than those estimated in this study (0.0122 and 0.0119, respectively). Similarly, Souza et al (25) reported lower values for β_0 (28.07) and β_1 (0.47) and higher for β_2 (0.009) in the Morada Nova breed. Lobo et al (30) in Santa Inés females found higher values for β_0 (49.98) and β_2 (0.00425) and lower values for β_1 (0.6) than in the present study.

As the Brody model was the one that best described the growth of Creole sheep. When considering the sex effect, males reached a greater weight and maturity rate during adulthood than females. These results agree with that reported by Sarmiento et al (11) and Oliveira et al (18), who found that the sex effect of the animals significantly influenced parameters β_0 and β_2 . The superiority of males compared to females may be related to sexual dimorphism, due to the anabolic effect of testosterone acting as a growth promoter, represented by a higher weight of males in adulthood (18,31). When considering the farm effect, the animals in farm 1 reached a greater weight and maturity rate at

$\beta_1=0.88$), Sarmiento et al (11) ($\beta_0=27.41$; $\beta_1=0.88$) y Hossein-Zadeh y Golshani (26) ($\beta_0=27.42$; $\beta_1=0.89$), en ovinos de raza Morada Nova, Santa Inés y Guilan, respectivamente. El valor de ($\beta_2 = 0.00465$), del presente estudio fue inferior al reportado por Teixeira et al (13) ($\beta_1=0.006$; Santa Inés), Malhado et al (27) ($\beta_1=0.006$; Santa Inés \times Texel) y Guedes et al (10) ($\beta_1 = 0.007$; Bergamacia).

Valores inferiores al de este estudio para ($\beta_0=46.84$; $\beta_1=0.952$), utilizando el modelo Brody en los ovinos Santa Inés \times Criollo, fueron encontrados por Sarmiento et al (11) ($\beta_0 = 24.8$; $\beta_1=0.479$) en ovinos Santa Inés, Malhado et al (27) ($\beta_0=32.16$; $\beta_1= 0.489$) en Texel \times Santa Inés y Silveira et al (28) ($\beta_0=34.05$; $\beta_1=0.477$) en Dorper \times Santa Inés. Los valores estimados para β_2 por Hossein-Zadeh y Golshani (26) y Teixeira et al (29) fueron superiores a los estimados en este estudio (0.0122 y 0.0119, respectivamente). De manera similar, Souza et al (25) reportaron en la raza Morada Nova valores inferiores para β_0 (28.07) y β_1 (0.47) y superior para β_2 (0.009). Lobo et al (30) en hembras de raza Santa Inés, encontraron valores superiores para β_0 (49.98) y β_2 (0.00425) e inferior para β_1 (0.6) a los del presente estudio.

Como el modelo Brody fue el que mejor describió el crecimiento de los ovinos Criollos. Al considerar el efecto sexo, se encontró que los machos alcanzaron un mayor peso y tasa de madurez a la edad adulta que las hembras. Estos resultados concuerdan a lo reportado por Sarmiento et al (11) y Oliveira et al (18), quienes encontraron que el efecto sexo de los animales influyó de manera significativa los parámetros β_0 y β_2 . La superioridad de los machos en comparación con las hembras puede estar relacionada con el dimorfismo sexual, debido al efecto anabólico de la testosterona que actúa como promotor de crecimiento, representado en un mayor peso de los machos en la edad adulta (18, 31). Al considerar el efecto finca, se evidenció que los animales de la finca 1 alcanzaron un mayor peso y tasa de madurez a la edad adulta que los animales de finca 2, quizás por el tipo de alimento utilizado, ya que en la finca 1 en la época seca se suplementa con ensilaje de maíz con grano, que es de mayor contenido nutricional que el ensilaje de *Pennisetum purpureum* utilizado en la finca 2. Además, la finca 1 hace parte del valle medio del Sinú, donde los suelos son de mejor calidad nutricional que los suelos de sabanas, donde se encuentra ubicada la finca 2.

En la literatura consultada no se encontró información sobre los porcentajes y edad a la

adult age than the animals in farm 2, perhaps due to the type of food used, since farm 1 in the dry season is supplemented with corn silage with grain, which is of higher nutritional content than the *Pennisetum purpureum* silage used in farm 2. In addition, farm 1 is part of the mid Sinu valley, where the soil has better nutritional quality than savannah soils, where farm 2 is located.

In the literature consulted, no information was found on the percentages and age of maturity. When comparing sex and farm effects, males had a higher percentage of maturity at 4 and 6 months of age and a lower age to reach 75 and 95% maturity than females, due to the sexual dimorphism in this species, and that the animals in farm 1 had a higher percentage of maturity at 4 and 6 months of age and a lower age to reach 75 and 95% maturity than the animals in farm 2 (Table 2).

The percentage of maturity at six months is of great importance, since it is the reference in the herds of the region as the appropriate age to slaughter lambs, and females for reproduction. According to the estimated parameters and the age values at maturity and percentage of maturity, the feeding of the animals in the studied production systems must be improved, in order for them to grow faster, that is to say, to achieve greater weight at a younger age. To obtain positive effects, it is necessary to guarantee a constant food supply in the proper amount and a nutritional value that meets the metabolic requirements of the animals (32). In addition, it is necessary to implement a selection program for growth characteristics in sheep meat production systems.

According to the results obtained, the animals from farm 1 have a greater weight at adult age and higher precocity than those from farm 2, because they have higher β_0 representing adult weight, and higher β_2 which indicates a higher growth rate. The possible explanation for this was mentioned in the previous paragraph.

Animals with higher values of β_2 , are faster in growth, compared with individuals of lower values of β_2 and similar initial weight, so that variations between the values of β_2 represent, with fair precision, the variations in the relative speed with which the animal grows (33). This is corroborated by the ages and percentages of maturity in the farms studied (Table 3). Texeira et al (13), affirm that it is necessary to evaluate all the parameters together to decide which is the best growth curve model applied to a certain production model, so that there is a model of the growth curve that best fits for each production system.

madurez. Al comparar los efectos sexo y finca, se encontró que los machos tuvieron un mayor porcentaje de madurez a los 4 y 6 meses de edad y una menor edad para alcanzar el 75 y 95% de la madurez que las hembras, debido al dimorfismo sexual en esta especie, y que los animales de la finca 1 tuvieron un mayor porcentaje de madurez a los 4 y 6 meses de edad y una menor edad para alcanzar el 75 y 95% de la madurez que los animales de la finca 2 (Tabla 2).

El porcentaje de madurez a los seis meses es de gran importancia, ya que es el referente en los rebaños de la región como la edad apropiada para llevar a sacrificio los corderos y las hembras a la reproducción. De acuerdo a los parámetros estimados y a los valores de edad a la madurez y porcentaje de madurez, se debe mejorar la alimentación de los animales en los sistemas de producción estudiados, con el fin de que sean más precoces en su crecimiento, es decir, que alcancen un mayor peso a una edad más temprana. Para obtener efectos positivos, es necesario garantizar un suministro constante de alimento en la cantidad adecuada y de un valor nutricional que cumpla con las exigencias metabólicas de los animales (32). Además, se hace necesario la implementación de un programa de selección para las características de crecimiento en los sistemas de producción de carne Ovina.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se puede afirmar que los animales de la finca 1 presentan un mayor peso a la edad adulta y mayor precocidad que los de la finca 2, debido a que tienen mayor β_0 que representa el peso adulto, y mayor β_2 que indica una mayor velocidad de crecimiento. La posible explicación de esto, se mencionó en un párrafo anterior.

Animales con mayores valores de β_2 , son más precoces en su crecimiento, en comparación con individuos de valores inferiores de β_2 y de peso inicial semejante, por lo que variaciones entre los valores de β_2 representan, con buena precisión, las variaciones en la velocidad relativa con que el animal crece (33). Esto lo corroboran las edades y porcentajes de madurez de las fincas estudiadas (Tabla 3). Texeira et al (13), afirman que se hace necesario evaluar todos los parámetros de forma conjunta para decidir cuál es el mejor modelo de curva de crecimiento que se aplica a determinado modelo de producción, por lo que para cada sistema de producción existe un modelo de curva de crecimiento que mejor se ajusta.

It can be concluded that the Brody model was the one that best adjusted to the growth curve in the Creole sheep of the Colombian tropics. Male animals have a higher percentage of maturity at 4 and 6 months of age and a lower age to reach 75 and 95% maturity than females. In the production systems, the feeding of the animals must be improved in order to achieve a higher growth rate, in order to reach slaughter at a younger age.

Acknowledgment

The authors thank Mauricio Buelvas and Rafael Vergara, owners of the sheep production systems where the study was developed, for allowing us to use the facilities and animals. In addition, to the Research Office of the Universidad de Córdoba, for financing this project.

Se puede concluir que el modelo Brody fue el que mejor se ajustó a la curva de crecimiento en los ovinos Criollos del trópico colombiano. Los animales machos presentan un mayor porcentaje de madurez a los 4 y 6 meses de edad y una menor edad para alcanzar el 75 y 95% de la madurez que las hembras. En los sistemas de producción se debe mejorar la alimentación de los animales con el fin de lograr una mayor tasa de crecimiento, para alcanzar una edad menor al sacrificio.

Agradecimientos

Los autores agradecen a Mauricio Buelvas y Rafael Vergara, propietarios de los sistemas de producción ovina donde se desarrolló el estudio, por permitirnos utilizar las instalaciones y animales. Además, a la Oficina de Investigación de la Universidad de Córdoba, por financiar este proyecto.

REFERENCIAS

- Ospina O, Grajales H, Manrique C. Gestión del conocimiento: mayor producción y competitividad. Perspectivas para los sistemas de producción ovino-caprinos. *Rev Med Vet* 2011; 22: 95-113.
- Vega C, Grajales H, Afanador G. Prácticas ganaderas en sistemas de producción en ovinos y caprinos: desafíos para el mejoramiento de la competitividad del sector en Colombia. *Rev Cienc Anim* 2014; 8: 41-65.
- Simanca J, Vergara O, Bustamante M. Descripción del crecimiento de ovinos Santa Inés x Criollo manejados en pastoreo extensivo en dos poblaciones de Córdoba, Colombia. *Rev Fac Cs Vets UCV* 2016; 57(1):61-67.
- Fitzhugh HA. Analysis of growth curves and strategies for altering their shape. *J Anim Sci* 1976; 42(4):1036-1051.
- 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* 1825; 115:513-585.
- Verhulst PF. Notice sur la loi que la population poursuit dans son accroissement. *Corresp Math Phys* 1838; 10:113-121.
- Von Bertalanffy L. A quantitative theory of organic growth. *Hum Biol* 1938; 10:181-213.
- Brody S. *Bioenergetics and growth*. New Cork: Reinhold Publishing Corporation; 1945. 1023p.
- Freitas AR. Curvas de crescimento na produção animal. *R Bras Zootec* 2005; 34(3):786-795.
- Guedes MHP, Muniz JA, Perez JRO, Silva FF, Aquino LH, Santos LC. Estudo das curvas de crescimento de cordeiros das raças Santa Inês e Bergamácia considerando heterogeneidade de variâncias. *Ciênc Agrotéc* 2004; 28(2):381-388.
- Sarmiento JL, Regazzi AJ, De Sousa WH, Torres R, Breda FC, Menezes GRO. Estudo da curva de crescimento de ovinos Santa Inês. *R Bras Zootec* 2006; 35(2):435-442.
- SAS/STAT: Guide for Personal Computer [programa de ordenador]. Versión 9.1.3 Cary (NC): SAS Institute Incorporation; 2007.
- Teixeira MC; Villarroel AB, Pereira ES, Pinheiro SM, Albuquerque IA, Mizubuti IY. Curva de crescimento de cordeiros oriundos de três sistemas de produção na Região Nordeste do Brasil. *Ciênc Agrár* 2012; 33(5):2011-2018.

14. Gbangboche AB, Glele-Kakai R, Salifou S, Albuquerque LG, Leroy PL. Comparison of non-linear growth models to describe the growth curve in West African Dwarf sheep. *Animal* 2008; 2(7):1003-1012.
15. Bahreini MR, Aslaminejad AA, Sharifi AR, Simianer H. Comparison of Mathematical Models for Describing the Growth of Baluchi Sheep. *J Agr Sci Tech* 2014; 14:57-68.
16. Lupi TM, Nogales S, León JM, Barba C, Delgado JV. Characterization of commercial and biological growth curves in the Segureña sheep breed. *Animal* 2015; 9(8):1341-1348.
17. Ullah MA, Amin M, Abbas MA. Non-Linear Regression Models to Predict the Lamb and Sheep Weight Growth. *Pak J Nutr* 2013; 12(9):865-869.
18. Oliveira OA, Rêgo-Neto AA, Santos GV, Sarmiento JLR, Biagiotti D, Sousa JER. Curva de crescimento de ovinos Santa Inês no Vale do Gurgueia. *Rev Bras Saúde Prod Anim* 2012; 13(4):912-922.
19. Malhado CHM, Carneiro PLS, Afonso PRAM, Souza JAAO, Sarmiento JLR. Growth curves in Dorper sheep crossed with the local Brazilian breeds, Morada Nova, Rabo Largo, and Santa Inês. *Small Rumin Res* 2009; 84:16-21.
20. Keskin I, Dag B, Sariyel V, Gokmen M. Estimation of growth curve parameters in Konya Merino sheep. *S Afri J Ani Sci* 2009; 39(2):163-168.
21. Lambe NR, Navajas EA, Simm G, Bünger L. A genetic investigation of various growth models to describe growth of lambs of two contrasting breeds. *J Anim Sci* 2006; 84(10):2642-2654.
22. McManus C, Evangelista C, Fernandes LAC, Miranda RM, Moreno-Bernal FE, Santos NR. Curvas de crescimento de Ovinos Bergamácia Criados no Distrito Federal. *R Bras Zootec* 2003; 32(5):207-1212.
23. Daskiran I, Koncagul S, Bingol M. Growth characteristics of indigenous Norduz female and male lambs. *J Agric Sci* 2010; 16:62-69.
24. Silva LSA, Fraga AB, Silva FL, Beelen PMG, Silva RMO, Tonhati H, Barros CC. Growth curve in Santa Inês sheep. *Small Rumin Res* 2012; 105:182-185.
25. Souza LA, Carneiro PLS, Malhado CHM, Paiva SR, Caire DN, Barreto DLF. Curvas de crescimento em ovinos da raça Morada Nova criados no estado da Bahia. *R Bras Zootec* 2011; 40(8):1700-1705.
26. Hossein-Zadeh NG, Golshani M. Comparison of non-linear models to describe growth of Iranian Guilan sheep. *Rev Colomb Cienc Pecu* 2016; 29:199-209.
27. Malhado CHM, Carneiro PLS, Santos PF, Azevedo DMMR, Souza JC, Afonso PRM. Curva de crescimento em ovinos mestiços Santa Inês x Texel criados no Sudoeste do Estado da Bahia. *Rev Bras Saúde Prod Animal* 2008; 9(2):210-218.
28. Silveira FG, Silva FF, Carneiro PLS, Malhado CHM, Muniz JA. Análise de agrupamento na seleção de modelos de regressão não-lineares para curvas de crescimento de ovinos cruzados. *Ciênc Rural* 2011; 41(4):692-698.
29. Teixeira NMR, Cruz JF, Faria, HHN, Souza ES, Carneiro PLS, Malhado CHM. Descrição do crescimento de ovinos Santa Inês utilizando modelos não-lineares selecionados por análise multivariada. *Rev Bras Saúde Prod Anim* 2016; 17(1):26-36.
30. Lobo RNB, Villela LCV, Lobo AMBO, Passos JRS, Oliveira AA. Parâmetros genéticos de características estimadas da curva de crescimento de ovinos Santa Inês. *R Bras Zootec* 2006; 35(3):1012-1018.
31. Hafez ESE, Jainudeen MR, Rosnina Y. Hormonas, factores de crecimiento y reproducción. Reproducción e inseminación artificial en animales. McGraw Hill Interamericana: México, D.F; 2000.
32. Kiviste A, Álvarez G, Rojo A, Ruiz G. Funciones de crecimiento de aplicación en el ámbito forestal. Madrid: Instituto nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria; 2002.
33. Oliveira HN, Lôbo R, Pereira CS. Comparison of non-linear models for describing growth of Guzerat beef cattle females. *Pesq Agropec Bras* 2000; 35(9):1843-1851.