



Curvas de crecimiento en ovino de pelo colombiano en los departamentos de Córdoba y Cesar, Colombia

Growth curves in Colombian hair sheep in the Departments of Córdoba and Cesar, Colombia

Jorge Noriega-Márquez¹ , Darwin Hernández-Herrera² , Moris Bustamante-Yáñez³ , Luz Álvarez-Franco⁴ ,
Manuel Ariza-Botero⁵ , Yineth Palacios-Erazo⁴ , Oscar Vergara-Garay^{3*} 

¹Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - Agrosavia, Centro de Investigación El Nus. San Roque - Antioquia, Colombia; e-mail: jnoriega@agrosavia.co

²Universidad de Sucre, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Grupo de Investigación en Reproducción y Mejoramiento Genético Animal. Sincelejo - Sucre, Colombia; e-mail: darwin.hernandez@unisucra.edu.co

³Universidad de Córdoba, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Grupo de Investigación en producción Animal Tropical. Montería - Córdoba, Colombia; e-mail: morisbustamante@correo.unicordoba.edu.co, overgara@correo.unicordoba.edu.co

⁴Universidad Nacional de Colombia, Grupo de Investigación en Recursos Zoogenéticos. Palmira - Valle del Cauca, Colombia; e-mail: laalvarezf@unal.edu.co, ypalacios@unal.edu.co

⁵Universidad Nacional de Colombia, Grupo de Investigación en Genética Molecular Animal. Bogotá, Colombia; e-mail: mfarizab@unal.edu.co
*autor de correspondencia: overgara@correo.unicordoba.edu.co

Cómo citar: Noriega-Márquez, J.; Hernández-Herrera, D.; Bustamante-Yáñez, M.; Álvarez-Franco, L.; Ariza-Botero, M.; Palacios-Erazo, Y.; Vergara-Garay, O. 2022. Curvas de crecimiento en ovino de pelo colombiano en los departamentos de Córdoba y Cesar, Colombia. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 25(2):e1727. <http://doi.org/10.31910/rudca.v25.n2.2022.1727>

Artículo de acceso abierto publicado por Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, bajo una Licencia Creative Commons CC BY-NC 4.0

Publicación oficial de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Institución de Educación Superior Acreditada de Alta Calidad por el Ministerio de Educación Nacional.

Recibido: octubre 1 de 2020

Aceptado: agosto 18 de 2022

Editado por: Helber Adrián Arévalo Maldonado

RESUMEN

La producción ovina en los últimos años en Colombia, se considera como una actividad con miras a exportación de carne, por lo cual, es necesario conocer el desempeño productivo de las diferentes razas dedicadas a este propósito en las regiones, con un número considerable de animales respecto al inventario nacional; por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue describir el crecimiento en ovinos de pelo colombiano en los departamentos de Córdoba y Cesar, Colombia. Se utilizaron 99 animales de los biotipos Sudán y Etíope. Fueron evaluados los modelos Gompertz, Von Bertalanffy, Brody y Logístico. Los parámetros para obtener las curvas de crecimiento fueron estimados por medio del procedimiento NLIN de SAS. Utilizando el modelo de mejor ajuste, se determinó el porcentaje y la edad de madurez. El modelo Brody fue el que

mejor ajustó los datos. El sexo no tuvo efecto significativo sobre los parámetros estimados, mientras que el biotipo racial fue significativo para todos los parámetros estimados, con la excepción de β_1 ; la zona presentó efecto significativo sobre β_0 y β_2 y la época solo para β_1 . De acuerdo con los parámetros de la curva Brody estimados y a los porcentajes y edades a la madurez, en las poblaciones en estudio, se debe mejorar la alimentación de los animales e implementar un programa de selección, con el fin de mejorar los pesos de los animales, al llegar a la edad adulta.

Palabras clave: Corderos; Modelo Brody; Ovino criollo; *Ovis aries*; Crecimiento y desarrollo.

ABSTRACT

Sheep production in recent years in Colombia is considered as an activity for the exportation of meat, therefore, it is necessary to know the productive performance of the different breeds dedicated to this purpose in the regions with a considerable number of animals with respect to national inventory. Therefore, the purpose of this research was to describe the growth in Colombian hair sheep in the departments of Cordoba and Cesar, Colombia. 99 animals of the Sudan and Ethiopian biotypes were used. The Gompertz, Von Bertalanffy, Brody and Logistic models were evaluated. The parameters of the growth curves were estimated by the procedure NLIN of SAS. Using the best fit model, the percentage and age of maturity were determined. The Brody model was the one that best fit the data. Sex had no significant effect on the estimated parameters, while racial biotype was significant for all estimated parameters, with the exception of β_1 ; the zone presented a significant effect on β_0 and β_2 ; and the season only for β_1 . According to the estimated parameters of the Brody curve and the percentages and ages at maturity, in the populations under study, the feeding of the animals should be improved and a conduct a selection program, in order to improve the weights of the animals at reach adulthood.

Keywords: Brody model; Creole sheep; Lambs; Growth and development; *Ovis aries*.

INTRODUCCIÓN

En Colombia existe una diversidad de ovinos, denominados ovinos criollos, resultado del cruce de diferentes razas, desde la época de la colonización y que se adaptaron a diferentes regiones del país (Vergara Garay *et al.* 2017a). Dentro de estos ovinos, se encuentran los Sudán y los Etíope, considerados como dos poblaciones con características y potencial morfoestructural diferente (Flórez *et al.* 2018; Vivas A. *et al.* 2020).

En Colombia, el sector ovino ha tomado importancia dentro de los diferentes sistemas de producción y mercadeo. Este sector, se caracteriza por la producción de cárnicos, la crianza de animales como reproductores y vientres, para abastecer las granjas que quieran multiplicar sus rebaños o iniciar nuevos proyectos (Acero-Plazas, 2014). Además, la producción ovina del país, se caracteriza por la utilización de razas introducidas y criollas y de cruzamientos entre ellas, con el fin de fortalecer el vigor híbrido, para la producción de carne. Estos sistemas productivos son extensivos y semi-intensivos, con baja a mediana incorporación de tecnología y, por lo general, pertenecientes a pequeños productores (Vergara-Garay *et al.* 2017b). Estas explotaciones son el eje central de la agricultura familiar y el abastecimiento de pequeños nichos de mercado, cumpliendo con una función económica importante (Acero-Plazas, 2014).

La conservación de los recursos zoogenéticos tiene importancia, a nivel mundial, ya que, para la implementación de programas de mejoramiento, en los cuales, se seleccionen aquellos animales superiores para características productivas y que tenga adaptabilidad a un entorno determinado, facilita este proceso y se puede lograr

mayor progreso genético, en un tiempo determinado (Noriega M. *et al.* 2018). Se debe tener en cuenta que, bajo condiciones de altas temperatura, se activan mecanismos de termorregulación, en los cuales, animales que no estén adaptados a estas altas temperaturas, como las de los bosque seco tropical y bosque muy seco tropical, aumentan su frecuencia cardiaca y consumo de agua y disminuyen el consumo de alimento (Pérez *et al.* 2020). En este sentido, los ovinos de pelo son un recurso genético, que debe ser valorado.

A pesar de los esfuerzos, acompañamientos y campañas realizadas para incentivar la crianza de ovinos en el país, el inventario nacional es bajo. Según el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA, 2020), la explotación de la especie en el país cuenta con solo 1'682,767 de animales. La mayor parte de la población, se registra en los Departamentos de La Guajira, con 42,1 %; Magdalena, con 11,8 %; Cesar, con 8,8 %; Boyacá, con 7,8 % y Córdoba, con 5,4 %, que agrupan el 75,9 % del total. De acuerdo con estas cifras, las poblaciones de ovino de pelo criollo colombiano OPC habitan, principalmente, en zonas de bosque muy seco tropical, que se presenta una época del año en la que la disponibilidad de forraje es escasa (Acero-Plazas, 2014).

Aunque se debe considerar que en los Departamentos de Córdoba y Cesar la ovinocultura se encuentra en un periodo de crecimiento, en donde se trata de producir estos animales como una fuente primaria de ingresos y no como una especie secundaria a otros sistemas de producción y donde los animales relevantes son los bovinos. Cabe resaltar que el sacrificio de ovinos aumentó, a nivel nacional, entre el segundo trimestre del 2016 y el segundo trimestre del 2020, en un 46,2 %, mientras que las exportaciones se han reducido, ya que entre 2017 y del 2018, las exportaciones fluctuaron entre 56 y 60 toneladas de carne año, respectivamente, pero para el segundo trimestre del 2020, no se reportan exportaciones (DANE, 2022).

Por lo anterior, y teniendo en cuenta las características de adaptabilidad del OPC a condiciones del Trópico bajo colombiano y la información que aportan los diferentes modelos no lineales para describir el crecimiento de las poblaciones animales, se deben llevar a cabo investigaciones, que permitan describir el crecimiento de los ovinos y demuestren las ventajas que brindarían estos animales a los sistemas productivos, por lo que el objetivo de esta investigación fue determinar la curva de crecimiento en ovinos de pelo colombiano, en zonas de bosque muy seco tropical, del Departamento de Córdoba y bosque muy seco tropical, del Departamento del Cesar, Colombia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. Se utilizaron las bases de datos provenientes de cinco granjas, ubicadas en la zona de bosque seco tropical, del Departamento de Córdoba y seis bases de datos de granjas pertenecientes al bosque seco muy tropical, del Departamento del Cesar. Para la utilización de las bases de datos, se contó con los permisos respectivos de los propietarios de las granjas. Dichas bases de datos tenían información sobre la identificación del padre, de la madre, fecha de nacimiento y de destete de los animales, peso al nacer y los pesajes periódicos cada 30 días.

Toma de datos y manejo de animales. Se estudiaron 99 animales puros de los biotipos Sudán (59 animales) y Etiopio (40 animales), de los cuales, 42 (19 machos y 23 hembras), se encontraban en la zona de bosque seco tropical y 57 (46 machos y 11 hembras), en el bosque muy seco tropical. Los nacimientos ocurrieron entre diciembre de 2015 y julio de 2016. A partir del nacimiento, cada 30 días, los animales fueron pesados, hasta una edad aproximada de 12 meses, tiempo, en el cual, alcanzan el peso al sacrificio. Los pesajes, se realizaron en una báscula digital AWS DINA 50k, con capacidad para 50 kg, considerando para análisis los animales con un mínimo de 10 pesajes y máximo 13. El destete se realizó a los 90 días.

Los animales, se manejaron bajo condiciones de pastoreo en praderas de pasto natural angleton (*Dichanthium aristatum*) y guinea (*Megathyrus maximus*), *Bothriochloa pertusa*, *Brachiaria humidicola* y *Brachiaria brizanta*, de acuerdo con las pasturas de cada sistema de producción; además, contaban con disponibilidad de agua y sal mineralizada a voluntad. Asimismo, los animales fueron suplementados en la época de escasas de lluvia con ensilado de maíz *Zea mays*, debido a la poca disponibilidad de forraje en los sistemas de producción. Esta suplementación se hizo, con el fin de que los animales no tuvieran pérdidas de peso en este periodo.

Curvas de Crecimiento. A partir de la información generada por los pesajes, se construyó una base de datos, que se utilizó para evaluar las curvas de crecimiento de los siguientes modelos no lineales:

$$y_t = \beta_0 e^{-\beta_1 t - \beta_2 t^2}, \text{ Gompertz (Gompertz, 1825).}$$

$$y_t = \beta_0 (1 + \beta_1 e^{-\beta_2 t})^{-1}, \text{ Logístico (Nelder, 1961).}$$

$$y_t = \beta_0 (1 - \beta_1 e^{-\beta_2 t})^3, \text{ Von Bertalanffy (Von Bertalanffy, 1938).}$$

$$y_t = \beta_0 (1 - \beta_1 e^{-\beta_2 t}), \text{ Brody (Brody, 1945).}$$

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; 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 y su valor, a medida que aumenta, sugiere una tasa de crecimiento mayor.

El porcentaje de madurez a una edad de cuatro (M4) y seis meses (M6) y edad al alcanzar el 75 y 95 % de madurez (EM75 y EM95, respectivamente), se estimaron a partir del modelo que mejor ajuste tuvo para describir el crecimiento de los animales en estudio, de acuerdo con las siguientes expresiones:

$$M4 = (1 - \beta_1 e^{-\beta_2 \cdot 120})$$

$$M6 = (1 - \beta_1 e^{-\beta_2 \cdot 180})$$

$$EM75 = -\log((1 - 0.75)/\beta_1)/\beta_2$$

$$EM95 = -\log((1 - 0.95)/\beta_1)/\beta_2$$

Análisis estadístico. Para la estimación de los parámetros de las curvas de crecimiento evaluadas, se utilizó el procedimiento NLIN del SAS (SAS, 2007). Como criterios para seleccionar el modelo que mejor describiera el crecimiento de los ovinos estudiados, se utilizó el coeficiente de determinación (R^2), el criterio de información Bayesiano (BIC), el criterio de información de Akaike (AIC) y el porcentaje de curvas convergentes (PCC), dado por el número de curvas que convergieron respecto al total de curvas. A partir del modelo que mejor ajuste tuvo, se determinó, para los parámetros del modelo (β_0 , β_1 , y β_2), los porcentajes de madurez y las edades a la madurez; si hubo diferencia estadística entre biotipo racial, sexo, zona y época de nacimiento (época de lluvias y época de sequía), a través de un análisis de varianza, mediante el procedimiento GML del SAS (SAS, 2007).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 1, se presentan los estimadores de los parámetros β_0 , β_1 , β_2 , y los criterios para la selección del modelo que mejor se ajustó a los datos. De acuerdo con los resultados, se puede observar que, en los modelos de Gompertz, Bertalanffy y Logístico, las diferencias entre los criterios de selección son muy pequeñas, lo que supondría que cualquiera de ellas ajustaría, satisfactoriamente, para describir el crecimiento de la población ovina estudiada; sin embargo, teniendo en cuenta los valores AIC y BIC estimados para el modelo de Brody, se infiere que es el modelo que mejor se ajusta, además el valor de R^2 no dista mucho de los otros modelos, similar a lo reportado por Nimase *et al.* (2018). Asimismo, Ullah *et al.* (2013), Sieklicki *et al.* (2016), Balan *et al.* (2017), Gautam *et al.* (2018) y Mohammadiam *et al.* (2019) encontraron que el modelo Brody fue el que mejor ajuste tuvo al describir el crecimiento de ovinos machos comerciales Texel, Mecheri, Sonadi y Kordi, respectivamente.

A diferencia de este estudio, se reportó que el modelo de Brody no convergió bien, al describir el crecimiento en ovinos de diferentes grupos genéticos y sexo (López *et al.* 2018). En este mismo sentido, en corderos Norduz fueron evaluados los modelos de Gompertz, Von Bertalanffy, Brody, Logístico y Exponencial Negativo y se demostró que el modelo Logístico fue el que mejor describió el crecimiento en los ovinos (Daskiran *et al.* 2010). Da Silva *et al.* (2012) estudiaron los modelos de Brody, Richards, Von Bertalanffy, Gompertz y Logístico para describir el crecimiento en ovinos Santa Inés y sugirieron el modelo Logístico, como el de mejor ajuste. A la misma conclusión llegaron Lupi *et al.* (2015), al estudiar en ovinos de la raza Segureña utilizando los modelos de Brody Verhulst, Gompertz, Von Bertalanffy y Logístico. Por otro lado, Paz *et al.* (2018) utilizaron los modelos de Brody, Richards, Von Bertalanffy, Gompertz y Logístico para describir el crecimiento en ovinos de la raza Morada Nova, siendo el modelo de Gompertz el que presentó el mejor ajuste. En ovinos Rahmani fueron evaluados los modelos Brody, Logístico, Gompertz y Von Bertalanffy, siendo, para este estudio, el modelo de Gompertz, el que presentó mejor ajuste para describir su crecimiento (Rashad *et al.* 2017). Por su parte, otros investigadores, al describir las curvas de crecimiento en ovejas Mehraban iraníes, utilizando los modelos de Brody, Exponencial Negativo, Logístico, Gompertz y Von Bertalanffy, encontraron

Tabla 1. Estimadores de los parámetros (β_0 , β_1 y β_2), coeficiente de determinación (R^2), criterio de información Akaike (AIC), criterio de información Bayesiano (BIC) y porcentaje de curvas convergente (PCC) de los modelos estudiados.

| Modelo | β_0 | β_1 | β_2 | R^2 | AIC | BIC | PCC |
|-----------------|-----------|-----------|-----------|-------|-------|-------|-----|
| Gompertz | 32,3005 | 2,3737 | 0,0116 | 99,38 | 55,66 | 56,08 | 100 |
| Von Bertalanffy | 33,9476 | 0,5718 | 0,0094 | 99,40 | 55,66 | 56,08 | 100 |
| Brody | 38,8717 | 0,9411 | 0,0052 | 97,58 | 43,97 | 44,12 | 98 |
| Logístico | 29,8701 | 7,2646 | 0,0186 | 99,25 | 55,65 | 56,07 | 100 |

que el modelo que mejor describió la curva de crecimiento en la población de estudio fue el Von Bertalanffy (Hojjati & Hossein-Zadeh, 2018).

De acuerdo con lo expresado, se puede evidenciar que es específico de cada población tener un modelo particular para describir en forma más apropiada su crecimiento, lo cual, está directamente relacionado con el tipo racial, sistema de alimentación, condiciones ambientales, en las que se desarrollan los individuos. Al ser el modelo de Brody el de mejor ajuste en la población de estudio, puede servir para hacer ajustes en el manejo nutricional de los animales y establecer metas, de acuerdo con la edad y el peso, adecuados para el sacrificio.

Al comparar los valores estimados en esta investigación con otros estudios, se encontraron valores superiores para β_0 y β_1 en ovinos Santa Inés por Criollo ($\beta_0= 46,8$; $\beta_1=0,95$) (Simanca *et al.* 2016) y en ovinos de Pelo Criollos ($\beta_0= 58,5$; $\beta_1=0,98$) (Vergara-Garay *et al.* 2016), utilizando el modelo Brody. Los valores estimados para β_2 , por Sarmento *et al.* (2006) y Vergara-Garay *et al.* (2016), fueron superiores a los encontrados en el presente estudio (0,0094 y 0,0054, respectivamente). En ovinos criollos, en Colombia, se encontraron valores inferiores para los diferentes parámetros ($\beta_0=33,8$; $\beta_1= 0,91$ y $\beta_2=0,0046$) (Simanca S. *et al.* 2017). Por otro lado, en Ovejas Madgyal fueron encontrados valores inferiores para $\beta_0=25,2$, $\beta_1=0,85$ y superior $\beta_2=0,21$ (Nimase *et al.* 2018). En hembras F1 Santa Inés por Criollo y Criollo, se estimó β_0 (43,5)

superior al presente estudio, β_1 similar (0,94) y β_2 (0,0046) inferior (Vergara-Garay *et al.* 2017b). En este estudio, se debe considerar que en los sistemas de producción en la zona de estudio se presentan limitaciones en la toma de información, por ello, solo se utilizaron datos hasta alrededor del año de edad, por lo que podría haber una sobrestimación del parámetro β_0 .

Con relación al porcentaje de madurez alcanzado a los seis meses, el cual, es importante en la especie ovina, ya que en las granjas y mercados regionales es el referente, como la edad adecuada, para sacrificar a los corderos y para utilizar las hembras como reproductoras de reemplazo. De acuerdo con los resultados obtenidos (Tabla 2), se sugiere la necesidad de mejorar el manejo alimenticio de los animales y hacer selección de animales superiores, con el fin de mejorar los porcentajes de madurez y las edades a la madurez, para obtener animales más pesados al sacrificio en menor tiempo (Vergara Garay *et al.* 2019). En la figura 1, se muestra la curva de crecimiento promedio de los ovinos de pelo colombiano, de acuerdo con el modelo Brody, realizada a partir de los parámetros estimados para este modelo, descritos en la tabla 1. Para la realización del gráfico, se hizo una proyección hasta los 720 d de edad.

Por otro lado, como el mejor modelo para describir el crecimiento en ovinos de pelo colombiano fue el Brody, al considerar los efectos biotipo racial, sexo, zona y época para este modelo (Tabla 3), se encontró que para el efecto sexo no se detectaron diferencias ($P > 0,05$), entre las medias de los parámetros estimados. Para el efecto

Tabla 2. Estimadores para porcentajes de madurez y edades a la madurez en las poblaciones ovinas estudiadas, de acuerdo con el modelo Brody.

| Variable | Promedio | Desvío Estándar |
|----------|----------|-----------------|
| M4 (%) | 46,61 | 16,92 |
| M6 (%) | 58,35 | 18,35 |
| EM75 (d) | 356,5 | 227,3 |
| EM95 (d) | 787,6 | 498,8 |

M4 = porcentaje de madurez a los 4 meses; M6 = porcentaje de madurez a los 6 meses; EM75 = edad al alcanzar el 75 % de madurez; EM95 = edad al alcanzar el 95 % de madurez.

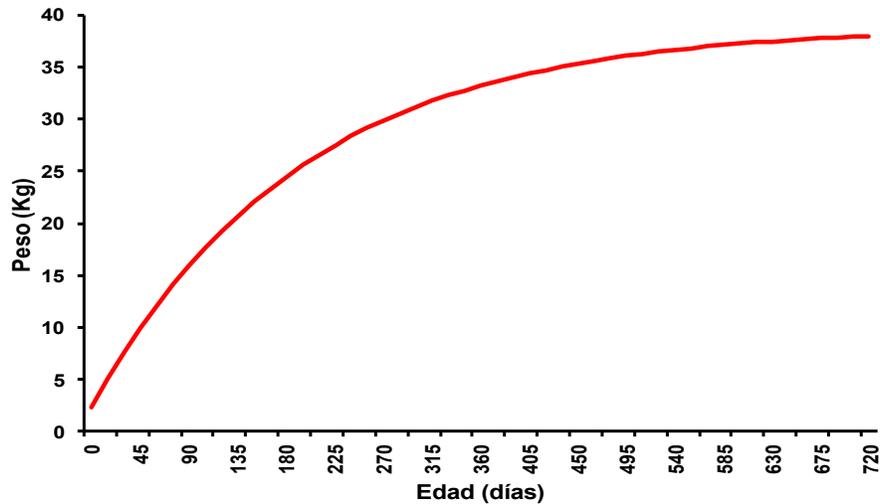


Figura 1. Curva de crecimiento de ovinos de pelo colombiano, según el modelo Brody.

Tabla 3. Medias de cuadrados mínimos (entre paréntesis error estándar) estimados para los parámetros estudiados, de acuerdo con el modelo Brody, según biotipo racial, sexo, zona y época de nacimiento.

| Modelo | Efecto | β_0 | β_1 | β_2 | M4 | M6 | EM75 | EM95 |
|----------------|---------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| Biotipo racial | Etíope | 47,2471 ^a (2,3671) | 0,9508 ^a (0,0085) | 0,0016 ^a (0,0007) | 28,00 ^a (3,73) | 38,75 ^a (3,98) | 569,1 ^a (50,7) | 1256,9 ^a (110,8) |
| | Sudán | 31,1417 ^b (1,8835) | 0,9260 ^a (0,0068) | 0,0079 ^b (0,0005) | 61,06 ^b (2,97) | 73,51 ^b (3,17) | 194,5 ^b (40,4) | 432,6 ^b (88,2) |
| Sexo | Macho | 40,6185 ^a (1,1756) | 0,9408 ^a (0,0042) | 0,0050 ^a (0,0003) | 45,18 ^a (1,86) | 56,73 ^a (1,97) | 372,0 ^a (25,2) | 822,8 ^a (5,0) |
| | Hembra | 37,7702 ^a (1,5890) | 0,9359 ^a (0,0057) | 0,0045 ^a (0,0005) | 43,88 ^a (2,51) | 55,53 ^a (2,67) | 390,6 ^a (34,0) | 866,7 ^a (74,4) |
| Zona | Cesar | 44,9492 ^a (2,3814) | 0,9517 ^a (0,0085) | 0,0033 ^a (0,0007) | 38,000 ^a (3,76) | 50,15 ^a (4,00) | 428,9 ^a (51,0) | 947,6 ^a (111,5) |
| | Córdoba | 33,4396 ^b (1,8881) | 0,9250 ^a (0,0068) | 0,0063 ^b (0,0005) | 51,07 ^b (2,98) | 62,11 ^a (3,18) | 334,6 ^a (40,5) | 741,9 ^a (88,4) |
| Época | Seca | 40,7615 ^a (1,2281) | 0,9497 ^a (0,0044) | 0,0044 ^a (0,0004) | 42,03 ^a (1,93) | 53,58 ^a (2,07) | 409,1 ^a (26,3) | 902,8 ^a (57,5) |
| | Lluvia | 37,6273 ^a (1,5108) | 0,9270 ^b (0,0054) | 0,0051 ^a (0,0004) | 47,02 ^a (2,38) | 58,69 ^a (2,54) | 354,4 ^a (32,4) | 786,6 ^a (70,7) |

Para un efecto determinado (dentro de subdivisiones), letras diferentes en la misma columna indica diferencia significativa ($P \leq 0,05$); M4 = porcentaje de madurez a los 4 meses; M6 = porcentaje de madurez a los 6 meses; EM75 = edad al alcanzar el 75 % de madurez; EM95 = edad al alcanzar el 95 % de madurez.

biotipo racial fue significativo ($P \leq 0,05$) para todos los parámetros estimados, con excepción de β_1 , mientras que el efecto zona fue significativo para β_0 , β_2 y M4. Con relación al efecto época, solo fue significativo ($P \leq 0,05$) para el parámetro β_1 . Se puede observar en la figura 2, la representación de las curvas de crecimiento por biotipo racial, sexo, zona y época de los ovinos de pelo colombiano, de acuerdo con el modelo Brody.

Similar a lo estimado en este trabajo, se ha reportado diferencia significativa del sexo sobre los estimados de β_0 , demostrando superioridad de los pesos de los machos respecto a las hembras. Esto se explica, por el efecto anabólico producido por la hormona testosterona en los machos, que actúa como promotor de crecimiento,

reflejando un mayor peso a mayor madurez (Daskiran *et al.* 2010; Lupi *et al.* 2015).

De acuerdo con los resultados obtenidos, los animales de la raza Sudán son más precoces, debido a que tienen mayor valor de β_2 , ya que este representa la tasa de madurez y la velocidad de crecimiento del animal al llegar a su tamaño adulto. Animales con mayor valor de β_2 representan madurez precoz, en comparación con individuos de valores inferiores de β_2 y de peso inicial semejante, por lo que, el valor de β_2 representa con buena precisión, la variación en la velocidad relativa de crecimiento del animal (Simanca S. *et al.* 2017). Esto se confirma, por los valores obtenidos en los porcentajes de madurez y edades de los biotipos estudiados (Tabla 3), en la cual, el biotipo

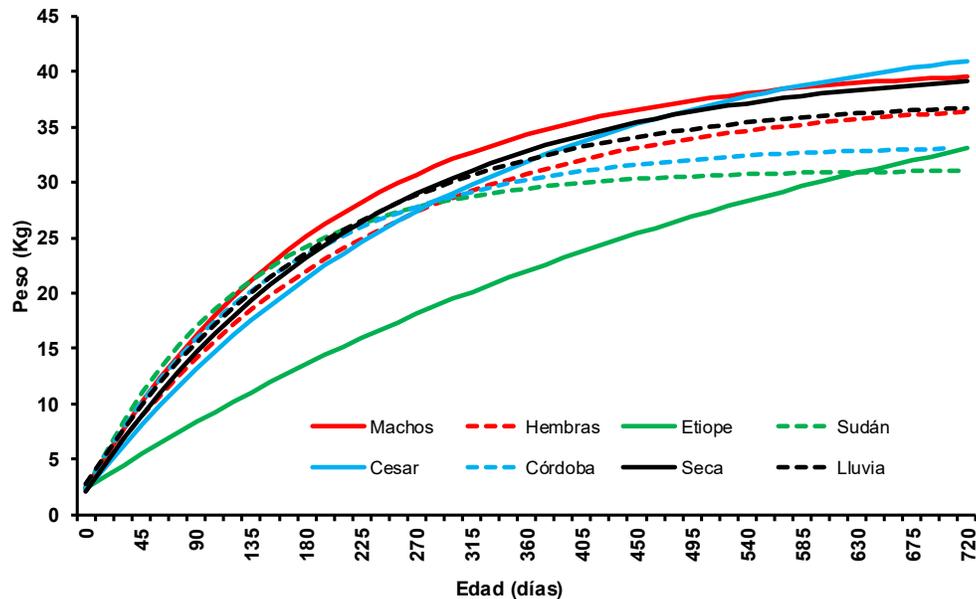


Figura 2. Curvas de crecimiento de ovinos de pelo colombiano, de acuerdo con el biotipo racial, sexo, zona y época, según el modelo Brody.

Sudán fue superior en un 34,76 %, para el porcentaje de madurez, a los seis meses y alcanzando una edad al 95 % de madurez, 824,3 días antes, respecto al biotipo Etiópe. Estos resultados coinciden biológicamente con la alta variabilidad genética encontrada en OPC, por Noriega M. *et al.* (2018), lo cual, hace interesante el biotipo Sudán para futuros planes de selección asistida por genes, en pro de aumentar la productividad en los sistemas ovinos, manejándolo como base genética para su explotación.

Se debe considerar que, al evaluar el crecimiento en ovejas, se pueden encontrar divergencias en la convergencia de los modelos, por las particularidades de cada población, en cuanto a tipo racial, alimentación, sexo, entre otros factores (Lupi *et al.* 2015). Además, al evaluar diferentes sistemas de producción, se requiere determinar todos los parámetros de forma colectiva para poder decidir cuál es modelo de curva de crecimiento que mejor se ajusta a determinado sistema de producción (Teixeira *et al.* 2012). Por ello, para cada sistema de producción, debe existir un modelo que mejor ajusta para describir el crecimiento de los animales.

Como conclusión, el modelo de Brody se puede utilizar en la descripción del crecimiento de ovinos, de acuerdo con los parámetros de la curva de crecimiento, para instaurar proyecciones en el comportamiento productivo. Asimismo, los estimados, los porcentajes y las edades, a la madurez en las poblaciones en estudio, muestran que la raza, con mejoras en factores no genéticos, como la alimentación, permiten que sean candidatas para implementar programas de selección, con el fin de incrementar los pesos de los animales al llegar a la edad adulta y al sacrificio, mejorando sus índices productivos. También, se puede afirmar que el biotipo Sudán tuvo una mayor tasa de crecimiento, aunque un peso adulto inferior al biotipo Etiópe, por lo que puede ser un biotipo adecuado para su explotación en las zonas en estudio.

Agradecimientos. Los autores expresan sus agradecimientos a COLCIENCIAS (Contrato FP44842–484–2014; 2014–0401 COLCIENCIAS), por la financiación del proyecto y a los productores que facilitaron sus animales para la toma de información. **Conflicto de intereses:** Este manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

REFERENCIAS

- ACERO-PLAZAS, V.M. 2014. El bienestar animal en sistemas productivos de ovinos caprinos en Colombia. *Spei Domus*. 10(20):57-62. <https://doi.org/10.16925/sp.v10i21.918>
- BALAN, C.; KATHIRAVAN, G.; THIRUNAVUKKARASU, M.; JEICHITRA, V. 2017. Non-linear growth modelling in Mecheri breed of sheep. *Journal of Entomology and Zoology Studies*. 5(5):2005-2008.
- BRODY, S. 1945. *Bioenergetics and growth*. Hafner Publishing company, INC. 1023p.
- DA SILVA, L.S.A.; FRAGA, A.B.; DA SILVA, F. DE L.; GUIMARÃES BEELEN, P.M.; DE OLIVEIRA SILVA, R.M.; TONHATI, H.; BARROS, C.C. 2012. Growth curve in Santa Inês sheep. *Small Ruminant Research*. 105(1-3):182-185. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2011.11.024>
- DASKIRAN, I.; KONCAGUL, S.; BINGOL, M. 2010. Growth characteristics of indigenous Norduz female and male lambs. *Journal of Agricultural Sciences*. 16(1):62-69.

6. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS, DANE. 2022. Encuesta de sacrificio de ganado. Disponible desde Internet en:
<https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/a-gropecuario/encuesta-de-sacrificio-de-ganado/encuesta-de-sacrificio-de-ganado-esag-historicos> (con acceso 30/11/2020).
7. FLÓREZ, J.M.; HERNÁNDEZ, M. DE J.; BUSTAMANTE, M. DE J.; VERGARA, O.D. 2018. Caracterización morfoestructural de tres poblaciones de Ovino de Pelo Criollo Colombiano "OPC". *Archivos de Zootecnia*. 67(259):340-348. <https://doi.org/10.21071/az.v67i259.3789>
8. GAUTAM, L.; KUMAR, V.; WAIZ, H.A.; NAGDA, R.K. 2018. Estimation of growth curve parameters using non-linear growth curve models in sonadi sheep. *International Journal of Livestock Research*. 8(9):104-113. <https://doi.org/10.5455/ijlr.20180131044656>
9. 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(1825):513-583.
10. HOJJATI, F.; HOSSEIN-ZADEH, N.G. 2018. Comparison of non-linear growth models to describe the growth curve of Mehraban sheep. *Journal of Applied Animal Research*. 46(1):499-504. <https://doi.org/10.1080/09712119.2017.1348949>
11. INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO, ICA. 2020. Censo pecuario año 2020. Disponible desde Internet en:
<https://www.ica.gov.co/areas/pecuaria/servicios/epidemiologia-veterinaria/censos-2016/censo-2018> (Con acceso 28/09/2020).
12. LÓPEZ, B.; LUPI, T.M.; LEÓN, J.M.; LÓPEZ, F.; AGUDO, B.; DELGADO, J.V. 2018. Characterization of the commercial growth curves of Spanish Merino, Fleischschaf, and crossbred lambs in an associative economy context. *Small Ruminant Research*. 164:8-14. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2018.04.009>
13. LUPI, T.M.; NOGALES, S.; LEÓN, J.M.; BARBA, C.; DELGADO, J.V. 2015. Characterization of commercial and biological growth curves in the Segureña sheep breed. *Animal*. 9(8):1341-1348. <https://doi.org/10.1017/S1751731115000567>
14. MOHAMMADIAM, Y.; MOKHTARI, M.S.; SAGHICA, D.A.; SHAHDADI, A.R. 2019. Modeling the growth curve in Kordi sheep: The comparison of non-linear models and estimation of genetic parameters for the growth curve traits. *Small Ruminant Research*. 177:117-123. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2019.06.012>
15. NELDER, J.A. 1961. The fitting of a generalization of the logistic curve. *Biometrics*. 17(1):89-110. <https://doi.org/10.2307/2527498>
16. NIMASE, R.G.; KANDALKAR, Y.B.; BANGAR, Y.C. 2018. Non-linear modeling for estimation of growth curve parameters in Madgyal sheep. *Journal of Entomology and Zoology Studies*. 6(2):463-465.
17. NORIEGA M., J.; HERNANDEZ H., D.; BUSTAMANTE YÁNEZ, M.; ÁLVAREZ, L.Á.; ARIZA B., M.F.; VERGARA G., O. 2018. Polymorphisms of candidate genes to growth in two populations of colombian creole sheep. *Indian Journal of Science and Technology*. 11(46):1-9. <https://doi.org/10.17485/ijst/2018/v11i46/132587>
18. PAZ, C.C.P.; VENTURINI, G.C.; CONTINI, E.; COSTA, R.L.D.; LAMERHINA, L.P.; QUIRINO, C.R. 2018. Non-linear models of Brazilian sheep in adjustment of growth curves. *Czech journal of animal science*. 63(8):331-338. <https://doi.org/10.17221/87/2017-CJAS>
19. PÉREZ, R.V.; MACÍAS CRUZ, U.; AVENDAÑO REYES, L.; CORREA CALDERÓN, A.; LÓPEZ BACA, M. DE LOS A.; LARA RIVERA, A.L. 2020. Impacto del estrés por calor en la producción de ovinos de pelo. Revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 11(1):205-222. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v11i1.4923>
20. RASHAD, A.M.A.; RAMADAN, T.A.; MAHDY, A.E. 2017. Comparison among models to describe growth curves of Rahmani lambs in relation to ewe milk yield and composition. *Egyptian Journal of Animal Production*. 54(2):125-135. <https://dx.doi.org/10.21608/ejap.2017.93275>
21. SARMENTO, J.L.R.; REGAZZI, A.J.; DE SOUSA, W.H.; TORRES, R. DE A.; BREDA, F.C.; MENEZES, G.R. DE O. 2006. Estudo da curva de crescimento de ovinos Santa Inês. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 35(2):435-442. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982006000200014>
22. SIEKLIICKI, M. DE F.; PEDROSA, V.B.; ROCHA, C.G.; MOREIRA, R.P.; FALCÃO, P.R.; DOS SANTOS, I.C.; FERREIRA, E.M.; MARTINS, A. DE S. 2016. Growth curves of texel male lambs. *Acta Scientiae Veterinariae*. 44:1-6. <https://doi.org/10.22456/1679-9216.81165>
23. SIMANCA, J.C.; VERGARA, O.D.; BUSTAMANTE, M. DE J. 2016. Descripción del crecimiento de ovinos Santa Inés x criollo manejados en pastoreo extensivo en dos poblaciones de Córdoba, Colombia. *Revista de la Facultad de Ciencias Veterinarias*. 57(1):61-67.
24. SIMANCA S., J.; VERGARA GARAY, O.; BUSTAMANTE Y., M. 2017. Descripción del crecimiento de ovinos criol-

- los (*Ovis aries*) en dos poblaciones de Córdoba, Colombia. *Revista MVZ Córdoba*. 22(3):6310-6319. <https://doi.org/10.21897/rmvz.1135>
25. STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM, SAS. 2007. User's Guide (Release 9.1.3). SAS Institute Inc (Cary NC, USA). 220p.
26. TEIXEIRA, M.; VILLARROEL, B.A.; PEREIRA, S.E.; DE OLIVEIRA, S.M.P.; ALBUQUERQUE, I.A.; MIZUBUTI, I. 2012. Curva de crecimiento de cordeiros oriundos de três sistemas de produção na Região Nordeste do Brasil. *Semina: Ciências Agrá*. 33:2011-2018.
27. ULLAH, M.A.; AMIN, M.; ABBAS, M.A. 2013. Non-linear regression models to predict the lamb and sheep weight growth. *Pakistan Journal of Nutrition*. 12(9):865-869. <https://dx.doi.org/10.3923/pjn.2013.865.869>
28. VERGARA-GARAY, O.; LLORENTE-MARTÍNEZ, E.; RAMOS-CARO, L.; BUSTAMANTE-YÁNEZ, M.; SIMANCA-SOTELO, J. 2016. Descripción del crecimiento en ovinos criollos utilizando el modelo Brody. *Orinoquía*. 20(2):34-39. <https://doi.org/10.22579/20112629.351>
29. VERGARA GARAY, O.; MEDINA RIOS, H.; ROBLES SIERRA, C.; SIMANCA SOTELO, J.; BUSTAMANTE YANEZ, M. 2017a. Determinación de la curva de crecimiento en ovinos criollos de pelo, mediante la utilización del modelo Gompertz, en el trópico bajo colombiano. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*. 20(2):385-391. <https://doi.org/10.31910/rudca.v20.n2.2017.396>
30. VERGARA GARAY, O.; SIMANCA SOTELO, J.; BUSTAMANTE YÁNEZ, M.; BULA TORRES, J.; CAMARGO PITALUA, C.; MAHUAD RUÍZ, N. 2019. Características de crecimiento y medidas del área del ojo del lomo en ovinos criollos del departamento de Córdoba, Colombia. *Revista U. D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*. 22(2):e1371. <http://doi.org/10.31910/rudca.v22.n2.2019.1371>
31. VERGARA-GARAY, O.D.; HINCAPIÉ-GUTIÉRREZ, L.C.; VALLEJO-ROMERO, D.A.; SIMANCA-SOTELO, J.C.; BUSTAMANTE-YÁNEZ, M. DE J. 2017b. Utilización del modelo Brody para describir el crecimiento de dos grupos raciales de ovinos en Córdoba, Colombia. *Revista Veterinaria y Zootecnia*. 11(1):1-12. <https://doi.org/10.17151/vetzo.2017.11.1.1>
32. VIVAS A., N.; LANDI, V.; MUÑOZ FLÓREZ, J.; BUSTAMANTE YANEZ, M.; ÁLVAREZ FRANCO, L. 2020. Diversidad genética de vinos criollos colombianos. *Revista MVZ Córdoba*. 25(3):e2185. <https://doi.org/10.21897/rmvz.2185>
33. VON BERTALANFFY, L. 1938. A quantitative theory of organic growth (Inquiries on growth laws. II). *Human Biology*. 10(2):181-213.