



Productividad y curvas de crecimiento usando modelos no lineales en un cruce de ovino de pelo colombiano x pelibuey

Productivity and growth curves using non-linear models in a cross between ovino de pelo colombiano x pelibuey

Claudia Patricia Lenis-Valencia^{1*} ; Enrique José Molina² ; Luz Angela Álvarez-Franco¹ 

¹Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira. Palmira - Valle del Cauca, Colombia; e-mail: cplenisv@unal.edu.co, laalvarezf@unal.edu.co

²Reserva Natural El Hatico. Palmira - Valle del Cauca, Colombia; e-mail: ejmolina@fun.cipav.org.co

*autor de correspondencia: cplenisv@unal.edu.co

Cómo citar: Lenis-Valencia, C.P.; Molina, E.J.; Álvarez Franco, L.A. 2022. Productividad y curvas de crecimiento usando modelos no lineales en un cruce de ovino de pelo colombiano x pelibuey. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 25(2):e1853. <http://doi.org/10.31910/rudca.v25.n2.2022.1853>

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: junio 21 de 2020

Aceptado: julio 25 de 2022

Editado por: Helber Adrián Arévalo Maldonado

RESUMEN

Los ovinos criollos de pelo (OCP) desarrollaron ventajas adaptativas al climática tropical, que le permiten tener resistencia a enfermedades, alta fertilidad y prolificidad; sin embargo, se reportan pocas investigaciones sobre la productividad de los OCP en sistemas asociados al cultivo de la caña, lo que hace necesario realizar investigaciones, que permitan fomentar sus atributos. El objetivo del presente trabajo fue analizar la productividad y el desarrollo corporal de un cruce de OCP, mediante parámetros productivos y curvas de crecimiento. Se utilizaron 180 animales de partos simples y múltiples; se registró el peso al nacimiento (PN), al destete (PD), a los 210 días (PAJ210) y las ganancias diarias predestete (GDPRE) y posdestete (GDPOS). Los datos, se analizaron mediante estadística descriptiva, con un GLM, con los efectos sexo (S), tipo de nacimiento (TN), número de partos (NP) y época de nacimiento (EPONAC). Se emplearon los modelos no lineales Gompertz, Logístico, Brody, Richards y Von Bertalanffy, en 1.455 registros de pesos, a diferentes edades, para realizar las curvas de crecimiento. Los análisis, se efectuaron con el paquete estadístico SAS. Se consideraron los coeficientes R^2 , AIC y BIC, obtenidos por el método de Gauss-Newton, para seleccionar el modelo de mejor ajuste. Los machos presentaron mayores promedios en las variables

PN, PD, PAJ210 y GDPOS. El TN afectó todas las variables; el PN y las GDPOS fueron afectadas por el NP y, la EPONAC, afectó PN, las GDPRE, el PAJ210 y las GDPOS. El modelo de mejor ajuste para las curvas de crecimiento fue la de Richards.

Palabras clave: Crecimiento y desarrollo; Dimorfismo sexual; Ganancias pre y post-destete; Modelos no lineales; Productividad en ovinos.

ABSTRACT

The creole hair sheep (CHS) developed adaptive advantages to the tropical climate, which allow them to have resistance to diseases, high fertility and prolificacy. Currently, there is little research on the productivity of CHS in systems associated with the cultivation of sugarcane, which makes it necessary to carry out research to promote its attributes. The purpose of this research was to analyze the productivity and body development of a crossing of CHS, using production parameters and growth curves. 180 animals of single and multiple births were used; the follow weight was recorded: at birth (WB), at weaning (WW); at 210 days (W210), and furthermore, daily gains of pre-weaning (WDPRE) and post-weaning (WPPOS) were recorded. The data were analyzed using

descriptive statistics with a GLM with the effects sex (S), type of birth (TB), number of births (NB) and period of birth (PB). The non-linear models Gompertz, Logistic, Brody, Richards and Von Bertalanffy were used in 1455 records of weights at different ages to perform growth curves. All analyzes were performed with the SAS statistical package. The R^2 , AIC and BIC coefficients obtained by the Gauss-Newton method were considered to select the best fit model. The males presented higher averages in the variables WB, WW, W210) and WPOS. The TB affected all the variables; The WB and the WPOS were affected by the NB and the PB affected the WB, the WDPRE, the W210 and the WPOS. The best fit model for the growth curves was of Richards.

Keywords: Growth and development; Nonlinear models; Pre and post-weaning earnings; Productivity in sheep; Sexual dimorphism.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento corporal es uno de los procesos biológicos que se desarrolla en el animal durante la primera etapa de su vida y para observarlo, se tienen indicadores implicados en los animales que son medibles, como el aumento de peso e incremento del tamaño en longitud y altura. Dentro de los factores que influyen en el crecimiento animal, se encuentran los ambientales, los genéticos y los fisiológicos, que intervienen en el desarrollo productivo; es por esto, que es de gran importancia tenerlos en cuenta, dentro del sistema de producción (Álvarez Díaz *et al.* 2009; Patiño & Van Cleef, 2010). El crecimiento pre-destete está determinado, principalmente, por el peso al nacimiento y durante este periodo, la habilidad materna de la oveja juega un papel importante y en el crecimiento post-destete, su influencia es dada por factores genéticos y medio ambientales (Montalvo *et al.* 2009).

La implementación de las curvas de crecimiento permite relacionar el aumento de masa corporal en un tiempo determinado, el cual, se expresa en forma de curvas exponenciales, que permiten comprender la velocidad de crecimiento, la madurez (Lupi *et al.* 2015a), el peso a la edad adulta y la edad ideal al sacrificio (Agudelo-Gómez *et al.* 2008), que obtienen los animales en una explotación, teniendo en cuenta los factores ambientales, para la toma de decisiones de orden productivo (Lupi *et al.* 2015c).

Los ovinos criollos de pelo están adaptados a una amplia gama de condiciones agroecológicas, especialmente, aquellas zonas del trópico alto y bajo, donde se sitúa la mayor población en sistemas de producción tradicionales, en ausencia de control y de tecnología reproductiva. Su amplia adaptación hace que, fácilmente, se encuentre desde las zonas áridas de la Guajira hasta los páramos húmedos de la zona Andina (Vivas A. *et al.* 2020). Estos ovinos muestran una alta capacidad de producción y son un componente complementario para las actividades agrícolas y la seguridad alimentaria (Revelo *et al.* 2020). Adicional, por sus características positivas de rusticidad, mansedumbre, adaptación a medios marginales en climas difíciles, longevidad, prolificidad y resistencia a enfermedades (Vivas A. *et al.* 2020; Lenis-Valencia *et al.* 2021), son un recurso zoogenético de gran importancia, ya que poseen un

rol en la economía rural y están en la capacidad de albergar una diversidad genética que proporciona adaptación, la cual, será de utilidad ante el cambio climático (Revelo *et al.* 2020).

La Reserva Natural El Hatico (RNEH), desde hace 34 años, viene implementando sistemas silvopastoriles intensivos y manejo agroecológico de la caña de azúcar. En el sistema de producción de la RNEH, se integra el ovino de pelo colombiano, donde se aprovecha su alta capacidad de selectividad para el control integrado de arvenses, tanto en el área de callejones como dentro del cultivo de la caña de azúcar (Molina C. *et al.* 2012). El objetivo de este trabajo fue analizar la productividad y el desarrollo corporal de un cruce de ovinos criollos de pelo, bajo un sistema silvopastoril de caña de azúcar, en la Reserva Natural El Hatico (RNEH).

MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de estudio. La investigación, se realizó en la RNEH, ubicada a N 3°27' y W 76°32', en el departamento del Valle del Cauca, municipio de El Cerrito, a 1.000 m s.n.m., con precipitación promedio de 750 mm, humedad relativa del 75 % y temperatura promedio de 24 °C, correspondiendo a la clasificación de Bosque Seco Tropical.

Constitución del ható. Se evaluaron 180 ovinos criollos de pelo con un cruce de 3/8 ovino criollo de pelo colombiano x 5/8 pelibuey, nacidos durante el 2015 y 2016, provenientes de partos simples y múltiples; se pesaron cada 2 meses hasta los 7 meses y fueron alimentados en un sistema silvopastoril de *Leucaena leucocephala* y *Cynodon plectostachyus* y un sistema de control integrado de arvenses *Cynodon plectostachyus* y *Panicum maximum*, en el área de los callejones y dentro del cultivo de la caña de azúcar. Brevemente, las hembras, durante su último trimestre de gestación, ingresan al sistema silvopastoril, con suplementación de salvado de arroz; pastorean con sus crías hasta el destete. El cordero, con un peso de 20 kg, es destetado y se integra al sistema de control de arvenses en el cultivo de la caña.

Variables evaluadas. Para evaluar la productividad, se utilizaron los datos: peso al nacimiento (PN); tipo de nacimiento (TN), único y mellizo; sexo (S), hembra y macho; época de nacimiento (EPONAC) (2 épocas secas y 2 de lluvia); el número de partos de la hembra (NP), como primeriza y múltipara; edad al destete (ED); peso al destete a los 120 días (PD); ganancia diaria pre-destete (GDPRE); peso a los 7 meses (PAJ210) y ganancia diaria pos-destete (GDPOS).

Análisis de datos. Se analizaron las variables de respuesta PN, PD, GDPRE, PAJ210 y GDPOS. La GDPRE, se estimó como (PD-PN)/edad al destete; la edad al destete (ED), se calculó como los días transcurridos entre las fechas de nacimiento y destete; para la GDPOS, se estimó como (P210-PD)/edad a los siete meses. Para el análisis descriptivo, se utilizó el procedimiento modelo lineal generalizado (GLM) del paquete estadístico SAS (2013), empleando el mismo modelo para todas las variables.

El modelo estadístico que describió las variables de respuesta, se presenta en la ecuación 1.

$$y = \mu + S_i + TN_j + EP_k + NP_l + \varepsilon_{ijkl} \quad \text{ecuación 1}$$

Donde:

Y = variables de respuesta (PN, PD, PAJ210, GDPRE y GDPOS).

M = media general.

S = efecto fijo del i-ésimo nivel del factor sexo del cordero (n=2) (macho y hembra).

TN = efecto fijo del j-ésimo nivel del factor tipo de nacimiento (n=2) (Simple y múltiple).

EP = efecto fijo del k-ésimo nivel del factor época de nacimiento (n=3) (2 épocas de sequía y 2 de lluvia).

NP = efecto fijo del l-ésimo nivel del factor número de parto (n=2) (primípara y múltipara).

ε = Error experimental.

Se evaluaron los modelos no lineales Gompertz (Gompertz, 1825), Logístico (Nelder, 1961), Richards (Richards, 1959), Von Bertalanffy (Von Bertalanffy, 1938) y Brody (Brody & Lardy, 1945) (Tabla 1), para describir la curva de crecimiento de los animales, utilizando 1.455 registros de peso, a diferentes edades y considerando el efecto del sexo sobre éstos. Los parámetros de los modelos fueron hallados de acuerdo con el procedimiento NLIN de SAS (2013); se utilizó el método de Gauss-Newton, como método de iteración (Hossein-Zadeh & Golshani, 2016) y para seleccionar el modelo de mejor ajuste, se tuvieron en cuenta los criterios de selección: coeficiente de determinación (R^2), criterio de información Aikaike (AIC), criterio de información bayesiano (BIC) y el porcentaje de curvas convergentes (PCC), valores obtenidos por medio del paquete estadístico SAS.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las medias de mínimos cuadrados para las variables dependientes, de acuerdo con los efectos fijos, se muestran en la tabla 2. Los

promedios generales y el error estándar de PN, PD, GDPRE, PAJ210 y GDPOS fueron 3,1±0,7 kg, 18,5±3,5 kg, 128,3±28 g/día, 25±4,2 kg y 72,1±29,5 g/día, respectivamente.

Hinojosa-Cuéllar *et al.* (2009), Hinojosa-Cuéllar *et al.* (2012) y Ríos-Utrera *et al.* (2014) presentaron promedios de PN, para la raza pelibuey, inferiores a los encontrados en este estudio, mientras que Martínez & Malagón (2005) reportaron valores superiores para la raza criolla y la mora colombiana en pastoreo. Estos valores pueden ser atribuidos al sistema silvopastoril de caña de azúcar y a la alimentación ingerida en el último tercio de la gestación de la oveja, con salvado de arroz, ya que afecta el peso del cordero (Ríos-Utrera *et al.* 2014); aunque el cruce empleado, también puede estar influenciando la mejora en la variable. El promedio del PD, en este estudio, es similar al reportado por Martínez & Malagón (2005), para las razas ovino de pelo colombiano y mora colombiana.

En cuanto a las GDPRE, Hinojosa-Cuéllar *et al.* (2009; 2012) hallaron valores superiores en ovinos pelibuey a los obtenidos en este estudio, a los 120 días.

El sexo afectó significativamente ($p < 0,05$) a todas las variables dependientes, siendo los machos más pesados que las hembras. Al nacimiento, los machos pesaron 300 g más que las hembras; al destete, 1,9 kg y, a los siete meses, 2,2 kg; de igual manera, en las GDPRE ganaron 7,9 g/día y en las GDPOS, 12,1 g/día, respecto a las hembras. Esta superioridad, también fue reportada por diferentes autores, como Macedo & Arredondo (2008), Hinojosa-Cuéllar *et al.* (2009; 2012) y Quiroz *et al.* (2012), quienes afirman que esta diferencia es fuertemente influenciada por el efecto de la testosterona, la cual, actúa como promotor de crecimiento (Macedo & Arredondo, 2008; Hinojosa-Cuéllar *et al.* 2012).

El tipo de nacimiento del cordero tuvo un efecto significativo ($p < 0,05$) en PN, PD, GDPRE, PAJ210 y GDPOS. Los corderos de parto simple pesaron 0,4 kg más al nacimiento; 2,8 kg más al destete y ganaron 19,6 g/día más de peso hasta el destete, que los corderos de parto múltiple; sin embargo, a los siete meses, los corderos de parto múltiple ganaron 15,2 g más por día, que los de parto simple. Hinojosa-Cuéllar *et al.* (2009; 2012), Macedo & Arredondo (2008), Quiroz *et al.* (2012) e Hinojosa-Cuéllar *et al.* (2013), también reportan valores superiores para la raza pelibuey, cuando corresponde a parto simple, en comparación con los múltiples en las mismas variables, exceptuando la GDPOS. La

Tabla 1. Expresión matemática de los modelos no lineales de crecimiento animal.

| Modelo | Expresión matemática | Referencia |
|-----------------|---------------------------------------|-----------------------|
| Gompertz | $Y = A * \exp(-B * \exp(-K * t))$ | Gompertz, 1825 |
| Logístico | $Y = A * (1 + \exp(-K * t))^{(-M)}$ | Nelder, 1961 |
| Von Bertalanffy | $Y = A * (1 - B * \exp(-K * t))^{*3}$ | Von Bertalanffy, 1938 |
| Brody | $Y = A * (1 - B * \exp(-K * t))$ | Brody & Lardy, 1945 |
| Richards | $Y = A * (1 - B * e^{-Kt})^{*M}$ | Richards, 1959 |

Y = peso del animal a la edad t; A = peso asintótico en una edad t o edad adulta; B = constante de integración; K = índice de madurez referente al peso adulto; M = punto de inflexión en los modelos Logístico y Richards.

Tabla 2. Medias de Mínimos cuadrados (\pm errores estándar), para características productivas, de un cruce de ovino criollo de pelo colombiano x pelibuey, de acuerdo con el sexo del cordero, el tipo y época de nacimiento y el número de parto de la oveja.

| VARIABLES | N | PN (kg) | PD (kg) | GDPRE (g/día) | PAJ210 (kg) | GDPOS (g/día) |
|-------------------------------------|-----|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Sexo | | | | | | |
| Macho | 79 | 3,3 \pm 0,7 ^a | 19,1 \pm 3,3 ^a | 131,8 \pm 28 ^a | 26,1 \pm 4,2 ^a | 77,5 \pm 23 ^a |
| Hembra | 65 | 3,0 \pm 0,6 ^b | 17,2 \pm 3,5 ^b | 123,9 \pm 28 ^a | 23,9 \pm 3,9 ^b | 65,4 \pm 27 ^b |
| Tipo de nacimiento (TN) | | | | | | |
| Simple | 39 | 3,4 \pm 0,6 ^a | 20,5 \pm 3,2 ^a | 142,5 \pm 26 ^a | 26,0 \pm 4,0 ^a | 61,0 \pm 23 ^b |
| Múltiple | 105 | 3,0 \pm 0,7 ^b | 17,7 \pm 3,3 ^b | 122,9 \pm 27 ^b | 24,6 \pm 4,2 ^b | 76,2 \pm 25 ^a |
| Época de nacimiento (EPONAC) | | | | | | |
| Seca (Dic-Feb) | 33 | 3,5 \pm 0,8 ^a | 17,7 \pm 2,4 ^a | 118,5 \pm 21 ^b | 22,6 \pm 2,4 ^c | 55,2 \pm 17 ^c |
| Lluvia (Mar-May) | 34 | 3,2 \pm 0,6 ^b | 18,5 \pm 4,3 ^a | 127,2 \pm 34 ^b | 24,4 \pm 4,7 ^b | 65,5 \pm 20 ^b |
| Seca (Jun-Sept) | 77 | 2,9 \pm 0,6 ^c | 18,8 \pm 3,4 ^a | 133,1 \pm 27 ^a | 26,2 \pm 4,2 ^a | 82,2 \pm 26 ^a |
| Número de partos (NP) | | | | | | |
| Primeriza | 53 | 2,8 \pm 0,6 ^b | 18,3 \pm 3,5 ^a | 129,3 \pm 27 ^a | 25,5 \pm 4,1 ^a | 79,4 \pm 27 ^a |
| Múltipara | 91 | 3,3 \pm 0,7 ^a | 18,6 \pm 3,5 ^a | 127,6 \pm 28 ^a | 24,7 \pm 4,3 ^a | 67,8 \pm 24 ^b |

N: número de observaciones; PN: peso al nacimiento; PD: peso al destete; GDPRE: ganancia diaria pre-destete; PAJ210: peso ajustado a los 210 días; GDPOS: ganancia diaria pos-destete. Valores con diferente superíndice en la misma columna indican diferencia significativa ($p < 0,05$).

explicación de esta respuesta está relacionada con la disponibilidad de leche materna, habilidad materna y el consumo de forraje, a temprana edad del cordero (Hinojosa-Cuéllar *et al.* 2012).

Se registró un PN de $3,4 \pm 0,6$ kg, el cual, es superior a lo observado por Herrera *et al.* (2008), Hinojosa-cuéllar *et al.* (2009), Hinojosa-Cuéllar *et al.* (2012) y Quiroz *et al.* (2012), en ovinos pelibuey y por Montes *et al.* (2018), en ovinos criollos de pelo. Del mismo modo, los pesos reportados en los partos múltiples por Herrera *et al.* (2008), Hinojosa-Cuéllar *et al.* (2009), Hinojosa-Cuéllar *et al.* (2012), Quiroz *et al.* (2012) y Montes *et al.* (2018) fueron inferiores a lo observado en el cruce empleado en este estudio. El tipo de nacimiento en los corderos se ve afectado por la competencia en los partos múltiples desde el útero de la oveja, donde el cordero compete, principalmente, por nutrientes (Macedo & Arredondo, 2008; Hinojosa-Cuéllar *et al.* 2012).

Los valores encontrados en parto simple y múltiple de PD y GDPRE (Tabla 2) fueron superiores a lo informado por Herrera *et al.* (2008), en pelibuey. La mayoría de los reportes señalan que esta superioridad se mantiene después del destete; sin embargo, en el presente estudio, la GDPOS tuvo los mejores valores en los corderos nacidos de parto múltiple, atributo que puede ser producto de un crecimiento compensatorio de los corderos, provenientes de parto múltiple que, en ocasiones, alcanzan el peso de los corderos de nacimiento simple, fenómeno que se presenta cuando las condiciones nutricionales mejoran después del destete (Macedo & Arredondo, 2008).

Los corderos nacidos de ovejas con más de dos partos presentaron mayores valores en el PN ($p < 0,05$), que las primerizas; algunas razones que explican este resultado pueden ser el peso de la hembra al servicio, la competencia entre finalizar el crecimiento y el mantenimiento de la gestación e, incluso, el efecto del macho. Por el contrario, los corderos provenientes de ovejas primerizas fueron $11,6$ g/días superiores en GDPOS ($p < 0,05$). De acuerdo con lo anterior, se puede inferir, que los ovinos nacidos de ovejas primerizas, en este sistema productivo, finalizan su periodo de crecimiento con mejores rendimientos de producción, que los corderos nacidos de hembras con más de dos partos. El resto de las variables dependientes, como el PD, las GDPRE y el PAJ210, no fueron afectadas por el NP.

Los ovinos provenientes de ovejas primíparas tuvieron mejores valores en PAJ210, GDPRE y GDPOS, siendo esta última significativa. Ríos-Utrera *et al.* (2014) reportaron resultados similares, mientras que Hinojosa-Cuéllar *et al.* (2009) encontraron lo contrario, en ovinos de las razas pelibuey, dorper, katahdin y sus cruces, en el sureste de México, al no evidenciar diferencias en esta variable. Autores, como Herrera *et al.* (2008) y Montes *et al.* (2018), reportan PN en ovejas de primer parto de pelibuey y en ovinos criollos de pelo de primer y segundo parto en adelante, inferiores a lo encontrado en la población analizada en el presente estudio.

Las variables dependientes que se vieron afectadas significativamente ($p < 0,05$) por la EPNAC fueron PN, GDPRE, PAJ210 y GDPOS. En la EPNAC, los mejores promedios en el PN fueron para la

primera época seca, mientras que para las variables GDPRE, PAJ210 y GDPOS, se presentaron en la segunda época seca (Tabla 2). Estos resultados pueden estar relacionados al manejo y sistema de producción de la finca, que tienen temporadas de servicio y aporta alimentación durante todo el año a los ovinos, al tratarse de un sistema silvopastoril.

Hinojosa-Cuéllar *et al.* (2012), Hinojosa-Cuéllar *et al.* (2013) y Ríos-Utrera *et al.* (2014) reportan el efecto de la EPONAC sobre el PN en corderos pelibuey, donde los valores más altos fueron observados en la época de lluvias; este efecto también se evidenció en el presente estudio. Para el PD, no hay concordancia entre los autores respecto a la influencia de la EPONAC, ya que Hinojosa-

Cuéllar *et al.* (2009; 2012) encontraron diferencias significativas en el PD en la época de lluvia, mientras que Ríos-Utrera *et al.* (2014), no reportaron diferencias, similar a lo encontrado en el presente estudio.

Tratar de entender el crecimiento de las diferentes razas de ovinos en los últimos años con modelos matemáticos es más común, gracias a los avances tecnológicos y computacionales. Para los ovinos de este estudio, las estimaciones de los modelos no lineales Gompertz, Logístico, Richards, Von Bertalanffy y Brody, en función del sexo, para los parámetros A, B, K y M y los criterios de ajuste, se encuentran relacionados en la tabla 3.

Tabla 3. Estimados de los parámetros A, B, K y M y criterios de ajuste para los diferentes modelos estudiados, para un cruce de ovino de pelo colombiano x pelibuey.

| Modelo | Sexo | Estimación de parámetros | | | | Criterios de ajuste | | | |
|-----------------|------|--------------------------|-------|-------|-------|----------------------------------|--------|--------|------|
| | | A | B | K | M | R ² _{aj} (%) | BIC | AIC | RMSE |
| Gompertz | H | 28,38 | 1,92 | 0,011 | | 0,846 | 3498,0 | 3494,0 | 3,30 |
| | M | 32,35 | 1,96 | 0,010 | | 0,866 | 4174,0 | 4169,0 | 3,39 |
| Logistic | H | 27,76 | 0,013 | - | 2,647 | 0,844 | 3511,4 | 3506,9 | 3,33 |
| | M | 31,55 | 0,013 | - | 2,691 | 0,864 | 4189,7 | 4185,1 | 3,42 |
| Richards | H | 35,13 | 0,954 | 0,004 | 0,815 | 0,852 | 3471,1 | 3466,6 | 3,24 |
| | M | 39,54 | 0,935 | 0,004 | 0,914 | 0,871 | 4145,6 | 4140,9 | 3,33 |
| Von Bertalanffy | H | 29,18 | 0,490 | 0,009 | | 0,850 | 3487,8 | 3483,0 | 3,27 |
| | M | 33,41 | 0,500 | 0,008 | | 0,868 | 4161,0 | 4156,8 | 3,36 |
| Brody | H | 32,59 | 0,906 | 0,005 | | 0,852 | 3472,4 | 3467,9 | 3,24 |
| | M | 38,19 | 0,912 | 0,005 | | 0,871 | 4145,9 | 4141,2 | 3,33 |

H: Hembra; M: Macho; R²_{aj}: coeficiente de determinación ajustado; BIC: criterio de información Bayesiano; AIC: Criterio de información de Akaike; RMSE: Raíz del cuadrado medio del error.

El R²_{aj} osciló entre 0,84 y 0,87, mientras que el PCC, que en todos los modelos fue de 100 % de convergencia, no fueron los mejores criterios de selección; al analizar el AIC y BIC, se observó que los modelos Richards y Brody tuvieron unas mínimas diferencias entre los dos criterios; sin embargo, se escogió el modelo Richards, como el de mejor ajuste satisfactorio a los datos de pesos, por su menor valor en el AIC y BIC, en ambos sexos (Tabla 3); por el contrario, Vergara-Garay *et al.* (2016), para describir la curva de crecimiento, el porcentaje y la edad de madurez de ovinos mestizos en un sistema de pastoreo intensivo, utilizó el modelo Brody, encontrando que se necesita mejorar el desarrollo corporal de los ovinos disminuyendo el tiempo que les toma llegar hasta la madurez; sin embargo, hay que tener en cuenta que los ovinos de pelo colombiano han tenido poco manejo genético comparado con el pelibuey.

Hossein-Zadeh & Golshani (2016), en ovejas guilan, analizaron el crecimiento desde el nacimiento hasta los 240 días, encontrando que, para las hembras, el modelo Richards fue el que mejor explicó los datos de crecimiento, mientras que, en los machos, fue el modelo Brody; no obstante, Simanca *et al.* (2016), al implementar

los mismos modelos, concluyeron que el mejor modelo de ajuste a los datos en ovinos santa inés x criollo fue Von Bertalanffy. Por el contrario, Rocha Sarmiento *et al.* (2006), en ovinos santa inés, describieron el crecimiento de los animales con el modelo Gompertz, mientras que Teixeira *et al.* (2012), evaluaron tres sistemas de producción en esta raza y encontraron que los modelos Richards y Brody se ajustaron bien en dos de los tres sistemas, lo que demuestra, que la variación de la raza, el tipo de alimentación, las condiciones ambientales y el sistema de producción influyen en la identificación del mejor modelo estadístico, que describe el crecimiento de los animales (Lupi *et al.* 2015c; Rocha Sarmiento *et al.* 2006).

En las figuras 1a y b, se observa que los pesos de las hembras y los machos estimados con los diferentes modelos tuvieron una predisposición de aumento, de acuerdo con la edad. Los modelos matemáticos evaluados formaron curvas muy similares en ambos sexos, con diferencia mínima después de los 300 días de edad, favoreciendo los modelos Brody y Richards. En la figura 2, se observa la curva de crecimiento correspondiente al efecto sexo,

con los valores estimados por el modelo Richards en la población, en la cual, se evidencia el dimorfismo sexual, gracias a la marcada superioridad percibida en los machos, desde el nacimiento hasta los 300 días de edad.

Los valores encontrados para los parámetros A y K (Tabla 3) indican una tasa de crecimiento lenta para alcanzar el peso asintótico y que las hembras serán más pesadas a la madurez. Estos valores fueron mayores a los encontrados por Rocha Sarmiento *et al.* (2006), en ovinos santa inés, al nacimiento hasta los 196 días, con el modelo

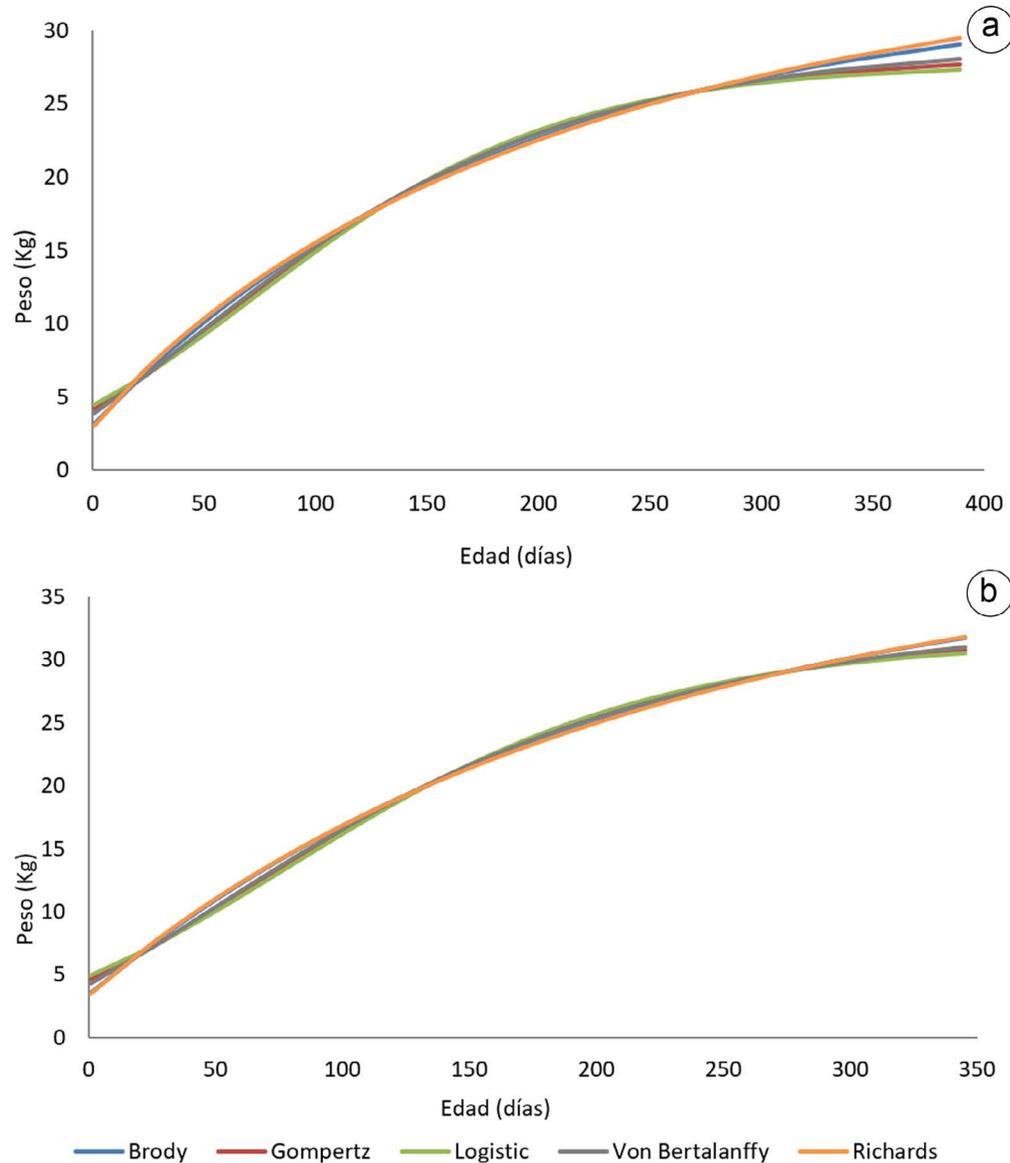


Figura 1. Curvas de crecimiento de los pesos estimados y ajustados de un cruce de ovino criollo de pelo colombiano x pelibuey, para los diferentes modelos. a) hembras y b) machos.

Gompertz y similares a los de Hossein-Zadeh & Golshani (2016), en ovejas guilan, con el mismo modelo de Richards, mientras que Simanca *et al.* (2016), en ovinos santa inés x criollo, no encontraron variación entre los valores de “K”, entre machos y hembras, con el modelo Von Bertalanffy, indicando igual velocidad de crecimiento, de acuerdo con el sexo, pero obtuvieron mayor peso a la madurez sexual en machos.

Algunos autores, como Simanca *et al.* (2016), Vergara-Garay *et al.* (2016) y Vergara-Garay *et al.* (2017) concuerdan que la velocidad

de crecimiento en animales mestizos es lenta, para llegar al peso adulto, de acuerdo con los valores en el parámetro “K”, que varían entre 0,003 a 0,005. Lo anterior explica que los animales de este estudio alcanzaron la madurez con un alto peso, pero con una tasa de crecimiento lenta, siendo la relación más importante para el productor, porque ayuda a tomar decisiones sobre el peso y la edad ideal al sacrificio de los animales.

La correlación entre los parámetros A y K es importante, porque indican la relación entre la tasa de crecimiento y el peso del animal,

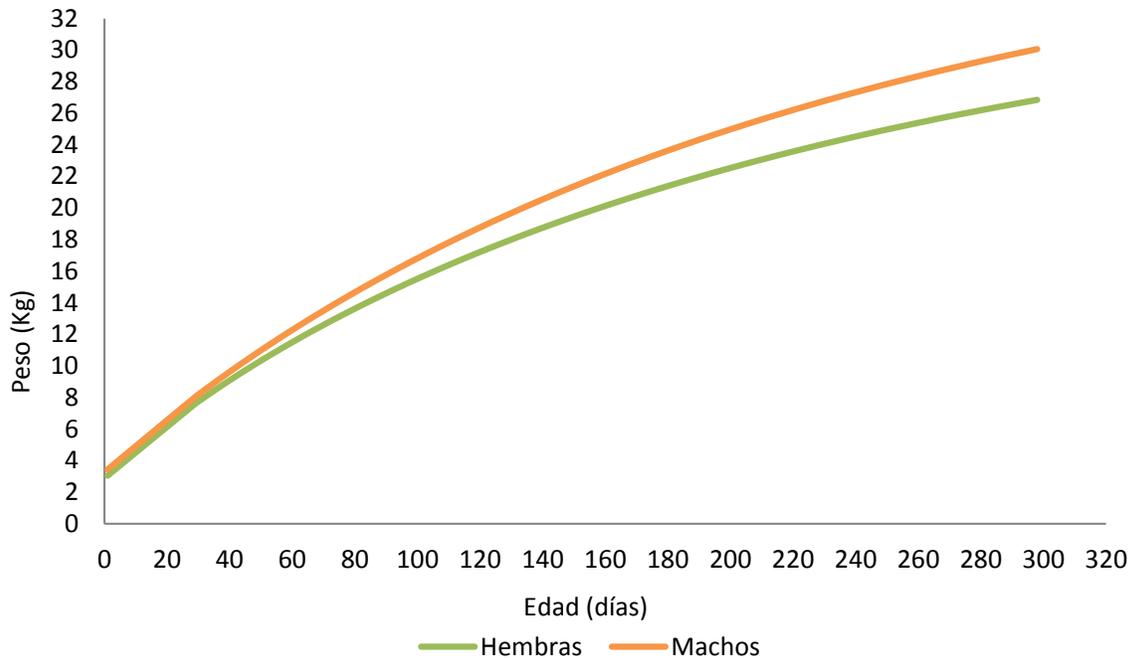


Figura 2. Curva de crecimiento de un cruce de ovino criollo de pelo colombiano x pelibuey, de acuerdo con el sexo, según el modelo de Richards.

que concuerda con los resultados obtenidos, con valor negativo, alto e iguales en ambos sexos (-0,98), encontrando una alta tasa de crecimiento y, por ende, bajos pesos a la madurez. Resultados similares son reportado por Hossein-Zadeh & Golshani (2016), Rocha Sarmiento *et al.* (2006) y De Fátima Sieklicki *et al.* (2016), en ovinos santa inés, texel y en ovejas guilan; sin embargo, Lupi *et al.* (2015b), Simanca *et al.* (2016), Teixeira *et al.* (2012) y Vergara-Garay *et al.* (2016), no tienen en cuenta este parámetro en sus estudios.

De la presente investigación, se puede concluir que el crecimiento en el cruce de ovino de pelo colombiano x pelibuey, empleado en la presente investigación, es influenciado por las variables S, TN, EPONA y NP. El sexo del cordero no afectó el PD, aunque el TN afectó todo el desarrollo del cordero, mientras que el NP afectó el PN y la GDPOS. Los datos muestran que el mejor crecimiento se obtuvo en épocas secas; asimismo, de los cinco modelos matemáticos utilizados para caracterizar el crecimiento de los ovinos, el que mejor se ajustó a los pesos a diferentes edades, de acuerdo con el sexo, fue el modelo Richards, marcando el dimorfismo sexual existente entre machos y hembras.

Agradecimientos. Los autores expresan su agradecimiento al grupo de investigación de Recursos Zoogenéticos, los laboratorios de genética y biología molecular de la Universidad Nacional de Colombia - sede Palmira; también a Colciencias, por la financiación de este estudio. **Conflictos de intereses:** El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

REFERENCIAS

1. AGUDELO-GÓMEZ, D.A.; CERÓN-MUÑOZ, M.; RESTREPO, L. 2008. Modelación de las funciones de crecimiento aplicadas a la producción animal. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 20(2):157-173.
2. ÁLVAREZ DÍAZ, A.; PÉREZ ESTEBAN, H.; MARTÍN HERNÁNDEZ, T. DE LA C.; QUINCOSA TORRES, J.; SÁNCHEZ PUZO, A. 2009. Fisiología del crecimiento. En: Álvarez Díaz, A.; Pérez Esteban, H.; Martín Hernández, T. De La C.; Quincosa Torres, J.; Sánchez Puzo, A. (eds.). *Fisiología animal aplicada*. Ed. Universidad de Antioquia. Colombia. p.256-281.
3. BRODY, S.; LARDY, H. 1945. Bioenergetics and growth. *The Journal of Physical Chemistry (New York)*. 50(2):168-169. <https://doi.org/10.1021/j150446a008>
4. DE FÁTIMA SIEKLIICKI, M.; BRENO PEDROSA, V.B.; GOMES ROCHA, C.G.; MOREIRA, R.P; FALCAO, P.R.; CORDEIRO DOS SANTOS, I.C.; EVANDRO, M.F; DE SOUZA MARTINS, A. 2016. Growth curves of Texel male lambs. *Acta Scientiae Veterinariae*. 44(1396):1-6. <https://doi.org/10.22456/1679-9216.81165>
5. 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*. 115:513-583.

6. HERRERA, J.; PULGARÓN, P.; NODA, A.C. 2008. Comportamiento productivo de ovinos Pelibuey en un sistema con bajos insumos. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 42(1):45-49.
7. HINOJOSA-CUÉLLAR, J.A.; OLIVA-HERNÁNDEZ, J.; TORRES-HERNÁNDEZ, G.; SEGURA-CORREA, J.C. 2013. Comportamiento productivo de corderos F1 Pelibuey x Blackbelly y cruces con Dorper y Katahdin en un sistema de producción del trópico húmedo de Tabasco, México. *Archivos de Medicina Veterinaria*. 45:135-143. <https://doi.org/10.4067/S0301-732X2013000200004>
8. HINOJOSA-CUÉLLAR, J.A.; OLIVA-HERNÁNDEZ, J.; TORRES-HERNÁNDEZ, G.; SEGURA-CORREA, J.C.; ARANDA-IBÁÑEZ, E.M.; GONZÁLEZ-CAMACHO, J.M. 2012. Factores que afectan el crecimiento predestete de corderos Pelibuey en el trópico húmedo de México. *Universidad y Ciencia. Trópico Húmedo*. 28(2):163-171.
9. HINOJOSA-CUÉLLAR, J.A.; REGALADO-ARRAZOLA, F.; OLIVIA-HERNÁNDEZ, J. 2009. Crecimiento prenatal y predestete en corderos Pelibuey, Dorper, Katahdin y sus cruces en el sureste de México. *Revista Científica de La Facultad de Ciencias Veterinarias de La Universidad Del Zulia*. 19(5):522-532.
10. HOSSEIN-ZADEH, N.G.; GOLSHANI, M. 2016. Comparison of non-linear models to describe growth of Iranian Guilan sheep. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 29(3):199-209. <https://doi.org/10.17533/udea.rccp.v29n3a05>
11. LENIS-VALENCIA, C.; HERNÁNDEZ-HERRERA, D.; ÁLVAREZ-FRANCO, L. 2021. Polimorfismos de los loci CAPN, CAST, LEP, GH, GHR, IGF-1 y MSTN de los cruces de pelo criollo colombiano x oveja Pelibuey. *Veterinarska stanica*. 52(1):35-44. <https://doi.org/10.46419/vs.52.1.6>
12. LUPI, T.M.; NOGALES, S.; LEÓN, J.M.; BARBA, C.; DELGADO, J.V. 2015a. Characterization of commercial and biological growth curves in the Segureña sheep breed. *Animal*. 9(8):1341-1348. <https://doi.org/10.1017/S1751731115000567>
13. LUPI, T.M.; NOGALES, S.; LEÓN, J.M.; DELGADO, J.V. 2015b. Estudio de factores no genéticos sobre los parámetros de la función logística en la curva de crecimiento comercial del cordero Segureño. *Actas Iberoamericanas de Conservación Animal*. 6:308-316.
14. LUPI, T.M.; NOGALES, S.; LEÓN, J.M.; DELGADO, J.V. 2015c. Modelación de curvas de crecimiento comercial en ovino Segureño. *Actas Iberoamericanas de Conservación Animal*. 6:132-143.
15. MACEDO, R.; ARREDONDO, V. 2008. Efecto del sexo, tipo de nacimiento y lactancia sobre el crecimiento de ovinos Pelibuey en manejo intensivo. *Archivos de Zootecnia*. 57(218):219-228.
16. MARTÍNEZ, R.; MALAGÓN, S. 2005. Caracterización fenotípica y genética del ovino criollo colombiano. *Archivos de Zootecnia*. 54(206-207):342-348.
17. MOLINA C., C.H.; MOLINA D., C.H.; MOLINA D., E.J.; MOLINA E., J.J. 2012. Manejo agroecológico de caña de azúcar y sistemas silvopastoriles intensivos. *Tecnicaña*. 29:28-35.
18. MONTALVO, M.P.; ROMUALDO, M.G.; SIERRA, V.A.; ORTIZ, O.J.; HERNÁNDEZ, Z.J.; MEDRANO, H.A. 2009. Capítulo XVII: El ovino pelibuey en el trópico mexicano. En: Delgado Bermejo, J.V.; Nogales Baena, S. (eds). *Biodiversidad ovina Iberoamericana. Caracterización y uso sustentable*. p.363-376.
19. MONTES, D.E.; HERNÁNDEZ, D.Y.; PACHECO, A.; PRIETO, E.; OTERO, R. 2018. Factores genéticos-ambientales que afectan peso al nacer y peso al destete ajustado en ovinos de pelo criollo colombiano. *Revista Electrónica de Veterinaria*. 19(5):1-8.
20. NELDER, J. 1961. The fitting of a generalization of the logistic curve. *Biometrics*. 17(1):89-110. <https://doi.org/10.2307/2527498>
21. PATIÑO, P.R.; VAN CLEEF, E. 2010. Aspectos chave do crescimento em ovinos. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*. 2:399-421.
22. QUIROZ, J.; GUERRERO, G.; OLIVA, J.; GRANADOS, L.; BARRÓN, M. 2012. Evaluación genética de características de crecimiento del ovino Pelibuey en Tabasco, México. *Actas Iberoamericanas de Conservación Animal*. 2:355-360.
23. REVELO, H.A.; LÓPEZ-ALVAREZ, D.; LANDI, V.; RIZZO, L.; ALVAREZ, L.A. 2020. Mitochondrial DNA variations in Colombian creole sheep confirm an Iberian Origin and shed light on the dynamics of introduction events of African genotypes. *Animals (Suiza)*. 10(9):1594. <https://doi.org/10.3390/ani10091594>
24. RICHARDS, F.J. 1959. A flexible growth function for empirical use. *Journal of Experimental Botany*. 10(29):290-300. <https://doi.org/10.1093/jxb/10.2.290>
25. RÍOS-UTRERA, Á.; CALDERÓN-ROBLES, R.; LAGUNES-LAGUNES, J.; OLIVA-HERNÁNDEZ, J. 2014. Ganancia de peso predestete en corderos Pelibuey y sus cruces con Blackbelly, Dorper y Katahdin. *Nova Scientia*. 6(12):272-286.

26. ROCHA SARMENTO, J.L.; REGAZZI, A.J.; DE SOUSA, W.H.; DE ALMEIDA TORRES, R.; BREDA, F.C.; DE OLIVEIRA MENEZES, G.R. 2006. Estudo da curva de crescimento de ovinos Santa Inês. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 35(2):435-442.
<https://doi.org/10.1590/S1516-35982006000200014>
27. SAS INSTITUTE INC. SAS. 2013. Chapter 41. The GLM procedure. In: *SAS/STAT® 9.3 User's Guide*. SAS Institute Inc (Cary, NC). p.3132-3317.
28. SIMANCA, J.C.; VERGARA, O.D.; BUSTAMANTE, M.J. 2016. Descripción del crecimiento de ovinos Santa Ines x Criollo manejados en pastoreo extensivo en dos poblaciones de Córdoba, Colombia. *Revista Facultad de Ciencias Veterinarias*. 57(1):61-67.
29. TEIXEIRA, M.C.; VILLARROEL, A.B.; PEREIRA, E.S.; DE OLIVEIRA, S.M.P.; ALBUQUERQUE, Í.A.; MIZUBUTI, I.Y. 2012. Curva de crescimento de cordeiros oriundos de três sistemas de produção na Região Nordeste do Brasil. *Semina: Ciências Agrárias*. 33(5):2011-2018.
<https://doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33n5p2011>
30. VERGARA-GARAY, O.; LLORENTE-M., E.; RAMOS-C., L.; BUSTAMANTE-YÁNEZ, M.; SIMANCA-SOTELO, J.C. 2016. Descripción del crecimiento en ovinos criollos utilizando el modelo Brody. *Orinoquia*. 20(2):34-39.
31. VERGARA GARAY, O.; MEDINA RÍOS, H.; ROBLES SIERRA, C.; SIMANCA SOTELO, J.; BUSTAMANTE YANEZ, M. 2017. 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>
32. VIVAS A., N.; LANDI, V.; MUÑOZ F., J.; BUSTAMANTE, M.; ÁLVAREZ, L. 2020. Diversidad genética de ovinos 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.