

MODELACIÓN DE CURVAS DE CRECIMIENTO COMERCIAL EN OVINO SEGUREÑO

Lupi T.M.^{1*}, Nogales S.², León J.M.³, Delgado J.V.²

¹Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Castelo Branco (Portugal). *tmlc@ipcb.pt.

²Departamento de Genética. Universidad de Córdoba. Campus Universitario de Rabanales, 14071-Córdoba (España).

³Centro Agropecuario Diputación de Córdoba, 14071-Córdoba (España).

RESUMEN

En el presente trabajo se analizaron modelos no lineales para describir la curva de crecimiento de corderos Segureña (raza autóctona española de producción cárnica) de ambos sexos, hasta la edad de sacrificio comercial (80 d). Se utilizaron datos del registro histórico de la Asociación Nacional de Criadores de Ovino Segureño (ANCOS), recogidos entre los años 2000 y 2014, incluyendo un total de 41325 corderos (23233 hembras y 18092 machos) con cuatro observaciones de pesos. Los modelos evaluados fueron: Von Bertalanffy, Verhulst, Logístico y Gompertz. En el ajuste de los modelos se utilizó el procedimiento NLIN del software estadístico SAS. Los parámetros de los modelos fueron estimados utilizando el algoritmo de Levenberg-Marquart. Posteriormente, se realizó una prueba-t para comparación entre pesos observados y estimados para cada individuo. En todos los modelos se consiguió una buena estimación de los pesos en las diferentes edades, siendo el modelo de Von Bertalanffy el que presentó peor capacidad para describir el crecimiento, por ajustarse a un bajo número de individuos y presentar una pseudo-R² más baja. El modelo de Verhulst fue el que se ajustó a un mayor número de corderos y presentó una pseudo-R² más elevada. En conclusión, el modelo de Verhulst es el más adecuado para modelizar el crecimiento comercial de esta raza.

Palabras clave: Cordero Segureño; Curvas de crecimiento; Sexo.

MODELLING OF COMMERCIAL GROWTH CURVES IN SEGUREÑO SHEEP

ABSTRACT

In this paper nonlinear models were analysed to describe the growth curve of Segureña lambs (Spanish local breed of meat production) of both sexes up to the age of commercial slaughter (80 d). Data from the historical records of the National Association of Sheep Breeders Segureño (ANCOS), collected between 2000 and 2014, including a total of 41325 lambs (23233 females and 18092 males) with four weight observations were used. Evaluated models were: Von Bertalanffy, Verhulst, Logistic and Gompertz. In the fitting of the models, the NLIN procedure of the SAS statistical software was used. Model parameters were estimated using the Levenberg-Marquart algorithm. Subsequently, it was performed a t-test to compare individual observed and estimated weights. It was achieved a good estimate of the weights at different ages with all models. Von Bertalanffy model presented the worst ability to describe the growth, by adjusting to a lower number of individuals and presenting the lowest pseudo-R². Verhulst was the model that adjusts to a highest number of lambs and presented a higher pseudo-R². In conclusion, Verhulst model is the best suited for modelling the commercial growth of this breed.

Keywords: Segureño lamb; Growth curve; Sex.

INTRODUCCIÓN

La raza Segureña es una de las tres razas ovinas españolas de más relevancia en la producción de carne de ovino en el país. Resalta, junto a este criterio, su capacidad como motor económico en las regiones en las que se encuentra, que además están entre las más deprimidas de Europa, como es el caso del altiplano de Granada, y las Sierras de Segura y las Villas. Por tanto, es el principal motivo de fijación de la población a la tierra.

El cordero Segureño es una raza de montaña, rústica y adaptada al medio. Está principalmente explotado en condiciones extensivas y semi-extensivas, y es uno de los componentes de equilibrio del ecosistema de las regiones que habitan, lo que lo hace uno de los pilares de la sostenibilidad ambiental y social. A pesar del difícil y desfavorecido entorno, la raza consigue, en estos ambientes tan duros y desfavorecidos, unos rendimientos competitivos en producción (Hernandez, 2004). El rendimiento de la canal oscila entre el 48 y 55% (Cano *et al.*, 2003), debido a una ligera piel que representa el 8% del cordero vivo (ANCOS, 2015). La diferencia de peso entre machos y hembras puede influir en la forma de la curva de

crecimiento, como ha sido reseñado por varios autores (Silva & Araújo, 2000; McManus *et al.*, 2003; Sarmiento *et al.*, 2006). Posee la Marca de Garantía de Calidad Agroalimentaria - Control de la Región de Murcia y para ser reconocidos sus miembros dentro de esta denominación deben cumplir una serie de requisitos contemplados en el pliego de condiciones aprobado por la Consejería de Agricultura y Agua de la Región de Murcia. Los corderos de esta raza son de alta calidad para el consumo humano y son sacrificados cuando su peso oscila entre los 24 y los 30 kg.

Según los objetivos y criterios de selección del programa de mejora genética, se persigue el progreso genético de la raza Segureña en relación a su eficiencia productiva en un contexto ambiental y sociocultural específico. Para ello se busca la mejora de la productividad individual por oveja en función de los ingresos generados en toda su vida, los cuales dependen del número de corderos por parto, del peso y ganancias registrado por estos, por el número de años de vida productiva (longevidad) de la oveja y por el precio alcanzado por las canales de los corderos. Para la consecución de estos objetivos, debe mejorarse la capacidad de crecimiento de los corderos; la productividad numérica; la longevidad productiva y la calidad de la carne y la canal.

El crecimiento puede definirse como el aumento de peso del animal hasta alcanzar el tamaño adulto. En las primeras etapas de la vida, dicho crecimiento se acelera y el aumento de peso es mayor que el que se produce al aproximarse a la edad adulta, observándose una curva de evolución sigmoidea ascendente. A medida en que el individuo se va desarrollando, la tasa de crecimiento se altera y presenta un cambio en la curvatura, donde se identifica el punto de mayor tasa de crecimiento. Después de este punto de inflexión, el crecimiento disminuye gradualmente y la tasa de crecimiento es cada vez más lenta. Esta tendencia continúa hasta que se estabiliza el crecimiento, hecho que, matemáticamente, coincide con la asíntota horizontal (Gómez *et al.*, 2008). Cuando se toma un conjunto de pesos, desde el nacimiento hasta la madurez, es posible modelar una curva de pesos en función de la edad para representar el crecimiento matemáticamente. Esta representación se denomina "curva de crecimiento" (Oliveira, 1995; Echeverri *et al.*, 2013). Estas curvas de crecimiento se pueden dividir en dos segmentos principales: el primero, de aumento de inclinación, que puede ser definido como una etapa de auto-aceleración del crecimiento, y el segundo, de disminución de pendiente, definido como una fase de desaceleración del crecimiento (Brody, 1945).

A través de los modelos empíricos no lineales se puede estudiar la relación entre la edad del animal, su velocidad de crecimiento y madurez. Esta información es importante a efectos de investigación y para establecer recomendaciones de orden productivo. De igual manera las estimativas de parámetros interpretables

biológicamente de una función de crecimiento, asociadas a las características productivas de los animales, pueden ser una alternativa para programas de selección, en relación a la búsqueda de precocidad con mayor peso y mejor calidad de la canal (Souza & Bianchini, 1994; Ulutas *et al.*, 2010). Las funciones más utilizadas son las no lineales con componentes exponenciales que desarrollan una interpretación biológica del crecimiento y son fácilmente comparadas en diferentes condiciones de explotación (León *et al.*, 2006). Los principales objetivos son describir y predecir el crecimiento, y hacen inferencias basadas en la interpretación de los parámetros. Una elección apropiada debe basarse en datos provenientes de diferentes poblaciones y rebaños, y deben evaluarse los efectos de diferentes factores ambientales sobre los parámetros de la función (León *et al.*, 2012). Son múltiples las funciones matemáticas que han sido utilizadas para representar las curvas de crecimiento en ovinos. Las que aparecen en mayor medida en la bibliografía son los modelos no lineales de von Bertalanffy, Verhulst, Logístico y Gompertz (Brown *et al.*, 1972; Topal *et al.*, 2004; Lobo *et al.*, 2005; Sarmiento *et al.*, 2006; Lambe *et al.*, 2006; Gómez *et al.*, 2008; Tjørve & Tjørve, 2010; Hamouda & Atti, 2011; Tariq *et al.*, 2013;). Esta importante herramienta se puede aplicar a varios aspectos del desarrollo de programa de cría de la raza. Los parámetros de la curva se pueden utilizar como nuevos criterios selectivos para mejorar el comportamiento productivo de la raza, por ejemplo, la precocidad puede deducirse de la pendiente de la curva, mientras que el mejor momento para el sacrificio puede inferirse a partir del punto de inflexión. Esta información también es útil para pronósticos de marketing y comerciales, dando información respecto a las predicciones de producción, así como para la creación de planes de alimentación.

El objetivo de este estudio fue determinar el modelo no lineal de mejor ajuste para la curva de crecimiento de la raza ovina Segureña.

MATERIAL Y MÉTODOS

Los datos de peso y edad utilizados en este estudio fueron obtenidos de 41325 individuos pertenecientes al archivo histórico de la Asociación Nacional de Criadores de Ovino Segureño (ANCOS) en los años comprendidos entre el 2000 y 2014. Cada individuo tuvo cuatro observaciones de peso: corderos pesados entre los 0 a 15 días (P0); corderos pesados entre los 16 a 35 días (P1); corderos pesados entre los 36 a 55 días (P2); corderos pesados entre los 56 a 80 días (P3). Este archivo tiene toda la información sobre los pesos de los corderos en las distintas edades de referencia (nacimiento -P0-, destete temprano -P1-, destete tardío -P2- y sacrificio -P3-) y la información que concierne a cada dato (ganadería, fecha de parto, filiación del cordero, etc.).

Utilizando el procedimiento NLIN del paquete estadístico SAS, se ajustaron los datos de cada animal a los modelos de von Bertalanffy, Verhulst, Gompertz y logístico. Las expresiones matemáticas utilizadas en el presente trabajo y que representan a cada uno de los modelos se muestran en la Tabla I. El parámetro A está definido como el valor asintótico de la función cuando el tiempo tiende al infinito; este valor representa el peso del animal a la edad adulta, independiente de problemas de fluctuación debido a efectos genéticos y ambientales. El parámetro B permite el cálculo de la edad al punto de inflexión. K representa la tasa relativa de crecimiento (tasa de crecimiento exponencial); valores elevados indican animales con maduración precoz, o sea, animales que tienden rápidamente para su peso a la madurez, y valores bajos indican animales con madurez tardía o que tienden a la madurez más lentamente. M da la forma a la curva de crecimiento y, consecuentemente, determina el punto de inflexión, en el cual se inicia la fase de auto desaceleración hasta que llega al tamaño adulto (Lambe *et al.*, 2006; Echeverri *et al.* 2013; Tariq *et al.*, 2013; Lupi *et al.*, 2015).

Según Blasco (1999) se pueden calcular los valores que caracterizan el crecimiento cuantitativo utilizando los parámetros de cada modelo (Brown *et al.*, 1972; Fitzhugh, 1976; Paz *et al.*, 2004; Hamouda & Atti, 2011). La tasa de crecimiento estima el incremento en el peso por cada unidad de tiempo (Freitas, 2005; Quirino *et al.*, 1999); el grado de madurez debe ser entendido como peso actual en relación al peso a la edad adulta, es decir, como indicador de la velocidad con que el animal se aproxima a su tamaño en el adulto (Carneiro *et al.*, 2009; Fitzhugh, 1976). Para la selección de la mejor curva fueron utilizados tres criterios de ajuste, mencionados por numerosos autores (Lambe *et al.*, 2006; Gbangboche *et al.*, 2011; Teixeira *et al.*, 2012; Tariq *et al.*, 2013; Echeverri *et al.* 2013; Lupi *et al.*, 2015): mayor coeficiente determinativo (R^2), menor coeficiente de información de Akaike (AIC) y coherencia biológica de los parámetros estimados. El coeficiente determinativo debe ser interpretado con cautela, una vez que los modelos pueden tener limitada capacidad de predicción y presentar altos valores de R^2 , razón por la cual este coeficiente no fue el único criterio a tener en cuenta para seleccionar los modelos de mejor ajuste (Noguera *et al.*, 2008). Este evaluador es utilizado para comparar la calidad del ajuste de los modelos con diferentes números de parámetros (Souza, 2010).

Todos los corderos que, en cada modelo, presentaban la estimación del parámetro A con valores anómalos ($10 > A > 60$) fueron retirados del estudio. Se analizó la homogeneidad de medias entre sexos en cada pesada, con la intención de decidir si era válido un ajuste único para la población, o si debería realizarse separadamente por sexos. Utilizando una prueba-t, se compararon los pesos estimados para cada individuo en cada edad con su peso observado.

Tabla I. Descripción matemática de los modelos de crecimiento (*Growth models mathematical expression*)

Modelo	Expresión matemática	Peso a la inflexión	Edad a la inflexión	Tasa de crecimiento	Edad a la madurez (y≈a)	Grado de madurez
Von Bertalanffy	$y=a*(1-b*\exp(-k*t))^{**3}$	$y_i = \frac{8a}{27}$	$t_i = \frac{\ln(3b)}{k}$	$v_c = 3ky \left[\left(\frac{a}{y}\right)^{1/3} - 1 \right]$	$-\frac{\ln\left(\frac{1 - \sqrt[3]{\frac{y}{a}}}{b}\right)}{k}$	$u = \frac{y}{a}$
Verhulst	$y=a/(1+b*\exp(-k*t))$	$y_i = \frac{a}{2}$	$t_i = \frac{\ln(b)}{k}$	$v_c = ky \left(1 - \frac{y}{a}\right)$	$-\frac{\ln\left(\frac{a-y}{y-b}\right)}{k}$	
Logistic	$y=a*(1+\exp(-k*t))^{**(-m)}$	$y_i = \frac{a}{2}$	$t_i = \frac{-\ln(2^{1/m} - 1)}{k}$	$v_c = mka \left(\frac{e^{-kt}}{1 + e^{-kt}}\right)$	$-\frac{\ln\left[\left(\frac{a}{y}\right)^{1/m} - 1\right]}{k}$	
Gompertz	$y=a*\exp(-b*\exp(-k*t))$	$y_i = \frac{a}{e}$	$t_i = \frac{\ln(b)}{k}$	$v_c = kyln\left(\frac{a}{y}\right)$	$-\frac{\ln\left(\frac{\ln\left(\frac{y}{a}\right)}{-b}\right)}{k}$	

y = peso, en kg, a la edad t; t = edad en días; a, b, k y m - parámetros

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con la prueba t de homogeneidad de medias se consideró que, aunque al nacimiento las diferencias no fueron significativas ($p=0.144$), las medias de los pesos para P1, P2 y P3 fueron heterogéneas entre sexos ($p<0.001$), lo que implicó la necesidad de inferir los ajustes por separado para cada sexo. Este comportamiento también fue observado por McManus *et al.* (2003), Ulutas *et al.* (2010), Gbangboche *et al.* (2011) entre otros. En la Tabla II se presentan los datos del número de observaciones y pesos promedios distribuidos por sexo y pesada.

Tabla II. Peso promedio (kg) y desviaciones típicas (DT) observadas, distribuidos por sexo y edades de referencia (*Observed weight averages (Media) and standard deviations (DT), distributed sex and reference ages*)

	Hembras		Machos	
	Media	DT	Media	DT
P0	3.604	0.300	3.583	0.299
P1	8.432	1.967	8.668	2.001
P2	12.928	2.684	13.384	2.866
P3	17.881	2.919	18.930	3.231

P0: corderos pesados entre los 0 a 15 días; P1: corderos pesados entre los 16 a 35 días; P2: corderos pesados entre los 36 a 55 días; P3: corderos pesados entre los 56 a 80 días.

Teniendo en cuenta los criterios de ajuste, todos los modelos fueron adecuados para describir el crecimiento de los animales de la raza ovina Segureña, en ambos sexos. Los modelos fueron validados en el 23.1, 73.5, 40.2 y 51.42% de los individuos para los modelos von Bertalanffy, Verhulst, Gompertz y Logístico, respectivamente, y los estadísticos para cada modelo se presentan en la Tabla III.

Los cuatro modelos estimaron los pesos en forma apropiada, presentando un p-value de 0.794, 0.958, 0.972 y 0.982 para los modelos de von Bertalanffy, Verhulst, Gompertz y Logístico respectivamente. En la Tabla IV se pueden observar los valores obtenidos para los parámetros estimados en cada modelo, así como los valores determinados para los respectivos criterios de ajuste.

Brown *et al.* (1972), McManus *et al.* (2003), Bathaei & Leroy (1998) y Carneiro *et al.* (2009) destacan que la relación biológica más importante para una curva de crecimiento está en la relación entre los parámetros A y K . La correlación negativa existente entre estos parámetros indica que los animales que presentan mayores tasas de crecimiento tienen menor probabilidad de alcanzar mayores pesos a la madurez que aquellos que crecen más lentamente en el inicio de vida.

Tabla III. Número de observaciones, pesos promedios y desviación típica de los corderos Segureño, validados en cada modelo, separados por sexo y edad (*Number of observations, average weight and standard deviation from Segureño lambs, validated for each model, by sex and age*)

Modelo	Hembras		Machos	
	Media	DT	Media	DT
von Bertalanffy (n=9532)				
P0	3.658	0.295	3.642	0.297
P1	9.749	1.729	10.013	1.812
P2	14.335	2.329	14.631	2.588
P3	18.208	2.830	18.563	3.162
Verhulst (n=30356)				
P0	3.612	0.301	3.592	0.301
P1	8.943	1.806	9.294	1.814
P2	13.722	2.315	14.355	2.451
P3	18.409	2.781	19.511	3.119
Gompertz (n=16635)				
P0	3.637	0.299	3.624	0.299
P1	9.476	1.761	9.839	1.819
P2	14.207	2.307	14.659	2.527
P3	18.390	2.858	18.993	3.224
Logístico (n=21236)				
P0	3.627	0.300	3.611	0.300
P1	9.298	1.764	9.696	1.796
P2	14.080	2.288	14.665	2.491
P3	18.465	2.831	19.307	3.211

P0: corderos pesados entre los 0 a 15 días; P1: corderos pesados entre los 16 a 35 días; P2: corderos pesados entre los 36 a 55 días; P3: corderos pesados entre los 56 a 80 días.

Al igual que lo aportado por otros trabajos sobre el crecimiento en ganado ovino (McManus *et al.*, 2003; Daskiran *et al.*, 2010) y basado en lo expuesto anteriormente, se puede afirmar que el modelo que mejor se ajustó a los datos observados para determinar la curva de crecimiento de los corderos segureños hasta los 80 días, en ambos sexos, fue el modelo de Verhulst, ya que presentó un pseudo- R^2 más elevado (0.995) y el valor de AIC más bajo (-5.803 para las hembras y -5.241 para los machos). Al aceptar este modelo como mejor modelo explicativo del crecimiento de esta raza desde el nacimiento a los 80 días está implícita la existencia de un punto de inflexión en esta curva, alrededor de 55 días para los machos y de 54 días para las hembras con unos pesos respectivos de 16.4 kg para los machos y 15.0 kg para las hembras.

Tabla IV. Parámetros estimados por cada uno de los modelos en estudio para corderos Segureños, hasta los 80 días, separados por sexo, y valores de los criterios para valorar la bondad de ajuste (*Estimated parameters for each studied model in Segureño breed lambs, until age of 80 days, by sex, and the values of the quality-of-fit criteria*)

Modelo	Hembras						Machos					
	a	k	b	m	Pseudo R ²	AIC	a	k	b	m	Pseudo R ²	AIC
Von Bertalanfy												
Media	37.227	0.015	0.530		0.993	-5.188	36.740	0.016	0.526		0.992	-4.547
DT	11.146	0.005	0.054		0.034	9.235	11.709	0.005	0.057		0.035	9.173
CV (%)	29.9	33.1	10.1		3.4	178.0	31.9	33.0	10.9		3.5	201.7
Verhulst												
Media	30.005	0.039	8.454		0.995	-5.803	32.709	0.040	8.323		0.995	-5.241
DT	9.256	0.029	136.814		0.011	9.014	10.300	0.033	22.005		0.013	9.052
CV (%)	30.8	74.9	1618.4		1.1	155.3	31.5	83.0	264.4		1.3	172.7
Gompertz												
Media	36.124	0.020	2.254		0.995	-5.426	36.412	0.022	2.278		0.994	-5.027
DT	11.448	0.008	0.442		0.010	9.060	12.291	0.008	2.457		0.010	9.270
CV (%)	31.7	37.6	19.6		1.0	167.0	33.8	38.7	107.9		1.0	184.4
Logístico												
Media	34.024	0.026		3.164	0.995	-5.665	35.329	0.027		3.223	0.995	-5.099
DT	10.996	0.009		0.568	0.009	9.108	11.905	0.010		2.211	0.010	9.078
CV (%)	32.3	34.8		17.9	0.9	160.8	33.7	36.2		68.6	1.0	178.0

Pseudo-R²: coeficiente determinativo no lineal; AIC – criterio de información de Akaike

En la Tabla V se pueden observar los pesos promedio observados y predichos con el modelo de Verhulst en las distintas edades de referencia, diferenciados por sexo, y se puede constatar la superioridad de los pesos de los machos sobre las hembras. El peso predicho para la edad de sacrificio es consistente con los datos presentados en la bibliografía, lo que es indicador de un modelo bien ajustado.

Tabla V. Pesos promedios (kg) observados y predichos por el modelo de Verhulst, en las distintas edades de referencia, según sexo [*Observed and estimated weight averages (kg), with Verhulst model, at different refence ages, by sex*]

Edad	Verhulst		Observados	
	H	M	H	M
0	3.637	3.661	3.612	3.592
15	6.427	6.736	6.792	7.207
30	8.807	9.127	8.840	9.211
45	12.743	13.429	12.614	13.276
60	15.896	17.214	15.931	17.237
80	19.963	20.775	19.945	20.782

H: Hembras; M: Machos

CONCLUSIONES

Los modelos considerados en el estudio, Von Bertalanffy, Verhulst, Gompertz y Logístico, son adecuados para describir el crecimiento de los corderos de raza Segureña, hasta los 80 días de edad.

La función de mejor ajuste para explicar el crecimiento de los corderos de raza Segureña, desde el nacimiento hasta los 80 días, fue la del modelo de Verhulst, tanto para el caso de los machos como para el de las hembras. Los parámetros de las curvas mostraron una ligera diferencia entre sexos, que nos hacen reconocer la existencia de dimorfismo sexual sobre el crecimiento. Este conocimiento además de mostrar importantes aplicaciones zootécnicas en cuanto al manejo de ambos sexos en cebo y en la toma de decisiones para el sacrificio, puede además ser una alternativa para apoyar programas de selección, ya que la aplicación de modelos no lineales puede ser utilizada para una selección más precoz.

BIBLIOGRAFÍA

ANCOS. 2015. Raza Segureña. <http://www.ancos.org/>. Accedido en Abril 2015.

Bathaei S.S. & Leroy P.L. 1998. Genetic and phenotypic aspects of the growth curve characteristics in Mehraban Iranian fat-tailed sheep. *Small Rumin. Res.* 29, 261–269.

Blasco A. 1999. La descripción del crecimiento. Informe Técnico Ocasional n°6

- Brody S. 1945. Bioenergetics and Growth with Special Reference to the energetic Efficiency Complex in Domestic Animals. Reinhold Publ., New York.
- Brown J.E., Brown C.J. & Butts W.T. 1972. A discussion of the genetic aspects of weight, mature weight and rate of maturing in Hereford and Angus cattle. *J. Anim. Sci.* 34, 525-537.
- Cano T.E., Peña B.F., Martos J.P., Domenech V.G., Alcalde M.J.A., García A.M., Herrera M.G., Rodero E.S. & Acero R.C. 2003. Calidad de la canal y de la carne en corderos ligeros de raza Segureña. *Arch. Zootec.* 52, 315-326.
- Carneiro P.L.S., Malhado C.H.M., Affonso P.R.A.M. Pereira D.G., Suzart J.C.C., Ribeiro Junior M. & Rocha J.L. 2009. Curva de crescimento em caprinos, da raça Mambrina, criados na caatinga. *Bras. Saúde Prod. An.* 10 (3), 536-545.
- Daskiran I., Koncagul S. & Bingol M. 2010. Growth characteristics of Indigenous Norduz female and male lambs. *J. Agric. Sci.* 16, 62-69.
- Echeverri A.M.L., Bergmann J.A.G., Toral F.L.B., Osorio J.P., Carmo A.S., Mendonça L.F., Moustacas V.S. & Henry M. 2013. Use of nonlinear models for describing scrotal circumference growth in Guzerat bulls raised under grazing conditions. *Theriogenology* 79, 751-759.
- Fitzhugh H.A. 1976. Analysis of growth curves and strategies for altering their shapes. *J. Anim. Sci.* 42 (4), 1036-1051.
- Freitas A.R. 2005. Curvas de Crescimento na Produção Animal. *Rev. Bras. Zoot.* 34 (3), 786-795.
- Gbangboche A.B., Alkoiret T.I., Salifou, S., Farnir, F., Leroy, P.L. & Abiola, F.A. 2011. Growth pattern of purebred West African Dwarf sheep and its crosses with the West African Long Legged. *Res. J. Anim. Sci.* 5 (1): 6-13.
- Gómez D.A.A., Muñoz M.F.C. & Betancur, L.F.R. 2008. Modelación de funciones de crecimiento aplicadas a la producción animal. *Rev Colomb Cienc Pecu.* 21:39-58.
- Hamouda M.B. & Atti, N. 2011. Comparison of growth curves of lamb fat tail measurements and their relationship with body weight in Babarine sheep. *Small Ruminant Res.* 95, 120-127.
- Hernandez J.V.R. 2004. Evaluación fenotípica y genotípica de los caracteres de crecimiento en el esquema de selección del ovino Segureño. UCO.
- Lambe N.R., Navajas E.A., Simm G. & Bünger, L. 2006. A genetic investigation of various growth models to describe growth of lambs of two contrasting breeds. *J. Anim. Sci.* 84, 2642-2654.
- León J.M.O., Quiroz J., Villalobos A., Prazeres P., Puntas J.A. & Delgado J.V. 2006. Uso de modelos no lineales para el ajuste de la curva de crecimiento de corderos Segureños a la edad de sacrificio. *Asociación Nacional de Criadores de Ganado Ovino de Raza Segureña.* 101-104.
- León J.M., Macciotta N.P.P., Gama L.T., Barba C. & Delgado J.V. 2012. Characterization of the lactation curve in Murciano-Granadina dairy Goats. *Small Ruminant Res.* 107, 76 - 84.
- Lobo R.N.B., Villela L.C.V., Lobo A.M.B.O. Passos J.R.S., Oliveira A.A. & Almeida S.A. 2005. Avaliação da curva de crescimento de ovinos da raça Santa Inês in Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 42.

- 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*, available on CJO2015. doi:10.1017/S1751731115000567.
- McManus C., Evangelista C., Fernandes L.A.C., Miranda R.M., Moreno-Bernal F.E. & Santos N.R. 2003. Curvas de Crescimento de Ovinos Bergamácia Criados no Distrito Federal. *R. Bras. Zootec.*, 32 (5), 207-1212.
- Noguera R.R., Pereira R.L. & Solarte C.E. 2008. Comparación de modelos no lineales para describir curvas de crecimiento en cuyes (*Cavia porcellus*) desde el nacimiento hasta la edad de sacrificio. *Livestock Research for Rural Development*. Volume 20, Article #79.
- Oliveira H.N. 1995. Análise genética-quantitativa da curva de crescimento de fêmeas da raça Guzerá. 73 p. Tese de doutoramento. Faculdade de Medicina Veterinária, USP. Ribeirão Preto. Brazil.
- Paz C.C.P., Packer I.U., Freitas A.R., Tambasco-Talhari D., Regitano L.C.A., Alencar M.M. & Cruz G.M. 2004. Ajuste de modelos não lineares em estudos de associação entre polimorfismos genéticos e crescimento em bovinos de corte. *R. Bras. Zootec.*, 33 (6), 1416-1425.
- Quirino C.R., Bergman J.A.G., Vale Filho V.R. & Pereira J.C.C. 1999. Evaluation of four mathematical functions to describe scrotal circumference maturation in Nellore bulls. *Theor. Appl. Genet.* V. 52, p. 25-34.
- Sarmiento J.L.R., Regazzi A.J., Sousa W.H. de, Torres R.A., Breda F.C. & Menezes G.R.O. 2006. Estudo da curva de crescimento de ovinos Santa Inês. *R. Bras. Zootec.*, 35 (2), 435-442.
- Silva F.L.R. & Araújo, A.M. 2000. Características de reprodução e de crescimento de ovinos mestiços Santa Inês, no Ceará. *Rev. Bras. Zoo.* 29 (6), 1712-1720.
- Souza L.A. 2010. Avaliação do crescimento de ovinos da raça Morada Nova sob modelos não lineares convencionais e alternativos. 53 p. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Itapetinga. Brazil.
- Souza J.C. & Bianchini Sobrinho E. 1994. Estimativa do peso de bovinos de corte, aos 24 meses, da raça Nelore, usando curvas de crescimento in *Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia* 23: 85-91.
- Tariq M.M., Iqbal F., Eydurán E., Bajwa M.A., Huma Z. & Waheed, A. 2013. Comparison of Non-Linear Functions to Describe the Growth in Mengali Sheep Breed of Balochistan in Pakistan. *J. Zool.*, vol. 45(3), pp. 661-665.
- Teixeira M.C., Villarroel A.B., Pereira E.S., 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 in *Ciências Agrárias, Londrina*, v. 33, n. 5, p. 2011-2018, set./out. 2012.
- Tjørve K.M.C. & Tjørve, E. 2010. Shapes and functions of bird-growth models: how to characterise chick postnatal Growth. *Zoology* 113, 326-333.
- Topal M., Ozdemir M., Aksakal V., Yildiz N. & Dogru U. 2004. Determination of the best nonlinear function in order to estimate growth in Morkaraman and Awassi lambs. *Small Ruminant Research* 55, 229-232.
- Ulutas Z., Sezer M., Aksoy Y., Sirin E., Sen U., Kuran M. & Akbas, Y. 2010. The effect of birth types on growth curve parameters of Karayaka lamb in *J. Anim. Vet. Adv.*, 9 (9): 1384-1388.