

Óscar León, J.M.1, J. Quiroz2, A. Villalobos3,  
P. Prazeres3, J.A. Puntas4 y J. V. Delgado3

1 Centro Agropecuario Provincial, Diputación de Córdoba.  
Ctra. Alcolea, Km. 395. 14071. Córdoba.

2 INIFAP-México.

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

4 Asociación Nacional de Criadores de Ovino Segureño.  
Polígono Industrial "La Encantada", s/n 18830 Huéscar (Granada).  
E-mail: ancosh@terra.es



Asociación Nacional de Criadores  
de Ganado Ovino de Raza Segureña

# USO DE MODELOS NO LINEALES PARA EL AJUSTE DE LA CURVA DE CRECIMIENTO DE CORDEROS SEGUREÑOS A LA EDAD DE SACRIFICIO

## RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue estudiar el patrón de crecimiento de corderos segureños desde el nacimiento a la edad de sacrificio establecida, según los criterios del esquema de selección de la raza, a los 70 días de vida; todo ello con la finalidad de predecir algunas características de esos modelos para evaluar los desarrollos corporales de machos y hembras. Para el ajuste global de las curvas de crecimiento se utilizaron tres funciones matemáticas, que fueron la de Gompertz, Von Bertalanffy y la curva logística. La base de información utilizada constaba de un total de 25.483 pesadas realizadas en el Núcleo de control de rendimientos entre los años comprendidos entre 1998 y 2004. Para el ajuste de los modelos se utilizó el procedimiento NLIN de SAS. Los modelos utilizados independientemente del sexo del cordero nos proporcionaron una buena calidad de ajuste a los pesos para ambos sexos, indicando que las hembras alcanzan la madurez en edades más precoces, mientras que los machos, presentan un peso adulto más elevado. Para los controles efectuados en ambos sexos el modelo que obtuvo el mejor ajuste (menor valor de Cuadrado Medio del Error) fue el correspondiente a la curva Logística.

## INTRODUCCIÓN

El conocimiento y control del crecimiento y desarrollo de los rumiantes son parámetros de gran utilidad para los investigadores, dado que su caracterización permite que el manejo nutricional de los animales pueda ser manejado eficientemente (Webster y cols., 1982), además de posibilitar que los programas de selección sean diseñados para las características de crecimiento inherentes a cada raza (Fitzhugh, 1976).

Los parámetros de las funciones que describen el crecimiento de los animales son utilizados en modelos actuales de simulación para estimar la composición corporal del animal en cualquier punto del crecimiento, siendo necesarias únicamente las informaciones de crecimiento y composición corporal inicial del animal (Keele y cols., 1992; Williams y cols., 1992), permitiendo de este modo la predicción de las necesidades de energía y proteína del animal.

Por medio de estas funciones pueden ser seleccionados animales que presentan altas o bajas tasas de crecimiento relativo al peso adulto (conocidas como tasas de madurez). Los animales con mayores tasas de madurez son generalmente más precoces que los que presentan una tasa de madurez menor. Desde punto de vista del mejoramiento animal, este parámetro es de una importancia esencial (Brown y cols., 1972; Fitzhugh, 1976), dado que los animales con mayor crecimiento relativo pueden ser objeto de selección.

Los ajustes de los datos de pesos en función de la edad de cada animal o grupo de animales permiten obtener informaciones descriptivas de la curva de crecimiento, así como también la realización de pronósticos futuros para animales del mismo grupo racial explotados en iguales circunstancias ambientales. En base a lo expuesto la función de crecimiento se constituye en una herramienta de gran utilidad para describir el crecimiento del animal tanto para fines de exigencia nutricional como para actuaciones en selección genética.

Varias han sido las funciones utilizadas para modelizar el crecimiento animal. Moore (1985) desarrolló una función generalizada para estimar el peso de los animales desde la fase embrionaria hasta el peso adulto. Funciones con componentes logarítmicos, inversos y exponenciales fueron las utilizadas por Liski (1987), en tanto que los modelos multifásicos y los modelos factoriales fueron diseñados por Menchaca (1990, 1991a, 1991b, 1992) y Menchaca y cols. (1993), respectivamente.

Actualmente las funciones que más se utilizan son las funciones no lineales con componentes exponenciales. Estas funciones desarrollan una interpretación biológica del crecimiento y son fácilmente comparadas en diferentes condiciones de explotación. En la Tabla I se muestran las funciones no lineales más utilizadas para predecir y describir el crecimiento de animales (Tedeschi y cols., 2000).

Nombre de la función	Función
Brody	$A \cdot (1 - b \cdot e^{-k \cdot t})$
Brody modificada	$A - (A - PN) \cdot e^{-kt}$
Von Bertalanffy	$A \cdot (1 - b \cdot e^{-k \cdot t})^3$
Logística	$A \cdot (1 + b \cdot e^{-k \cdot t})^{-1}$
Gompertz	$A \cdot e^{-(b \cdot \exp(-k \cdot t))}$
Gompertz modificada	$PN \cdot e^{A \cdot (1 - \exp(-k \cdot t))}$
Richards	$A \cdot (1 - b \cdot e^{-k \cdot t})^m$

A: Peso adulto, b: Coeficiente de integración, k: Tasa de madurez, t: Tiempo, m: Coeficiente de inflexión, PN: Peso al nacimiento.

Tabla I. Funciones no lineales más utilizadas para describir el crecimiento animal.

La utilización del análisis de los residuos de la varianza para la selección de la mejor función de crecimiento, no es la opción ideal, debido a que los datos de tipo longitudinal (todas las pesadas son efectuadas en el mismo animal) presentan errores correlacionados entre las observaciones entre una y otra edad de control. Estos errores son ocasionados, principalmente, por las fluctuaciones del peso vivo a lo largo del tiempo, debido a varios factores que no son habitualmente reflejados en la curva.

Uno de los métodos recomendados para la selección de la mejor curva de ajuste es la evaluación del desvío entre el valor predicho y el observado en determinadas edades (Brown y cols., 1976), sin embargo, no siempre el peso a tales edades está a disposición del analista.

Los métodos más utilizados son: la menor suma de cuadrados residuales (Perotto y cols., 1992), desvíos de regresión, coeficiente determinativo (R<sup>2</sup>), porcentaje y dificultad de convergencia (Brown y cols., 1976), comportamiento de las curvas y evaluación de los parámetros por comparación gráfica de las mismas (Fitzhugh, 1976).

De forma general, los diferentes estudios realizados en terneros indican que la función de Richards ofrece la mejor modelización de las curvas de crecimiento y la función de Brody presenta un buen ajuste cuando se trata de animales con edades por encima de los seis meses (Brown y cols., 1976; DeNise y Brinks, 1985). Otros autores señalan que la función de Brody superestima el valor del peso adulto, en tanto que, la función Logística lo subestima cuando es comparada con las funciones de Richards y Von Bertalanffy (Duarte, 1975; Perotto y cols., 1992). En cambio, para el caso del ovino, la función de Gompertz fue la que mejor describió la curva de crecimiento en corderos de raza Suffolk, según los estudios realizados por Lewis y cols. (2002).

El objetivo de este estudio fue seleccionar la mejor función no lineal que mejor describiese el crecimiento de corderos segureños, en función del sexo, durante el período de tiempo transcurrido entre el nacimiento y la edad de sacrificio, establecido según criterios de mercado y así recogido en el esquema de selección de la raza, en los 70 días de edad (Delgado y cols., 2003).

## MATERIAL Y MÉTODOS

Como base de información se ha utilizado el archivo histórico de los controles realizados en el Núcleo de Control de Rendimientos perteneciente a la Asociación Nacional de Criadores de Ovino Segureño, durante los años comprendidos entre 1998 y 2004, lo que supone un total de 25.483 pesadas efectuadas sobre 14.520 animales, de los cuales 13.417 eran hembras y 1103 machos.

Para el estudio del ajuste de la curva de crecimiento se seleccionaron tres modelos empíricos en función del sexo del cordero (machos y hembras). En el ajuste de los modelos se utilizó el procedimiento NLIN del paquete estadístico SAS. En el cálculo de los parámetros de los modelos se utilizó el método de Gauss-Newton. Como criterio de decisión del ajuste de la bondad de los modelos se utilizó el menor valor de Cuadrado Medio del Error (C.M.E.) de la ecuación estudiada (Perotto y cols., 1992), acompañado del coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>) y el número de iteraciones que determina la mayor o menor dificultad de convergencia ((Brown y cols., 1976).

Los modelos utilizados fueron la función Logística (Fitzhugh, 1976)  $[A \cdot (1 + b \cdot e^{-k \cdot t})]^{-1}$ , la ecuación de Gompertz (Fitzhugh, 1976)  $[A \cdot e^{-b \cdot \exp(-k \cdot t)}]$  y la ecuación de Von Bertalanffy (Von Bertalanffy, 1938)  $[A \cdot (1 - b \cdot e^{-k \cdot t})]^3$ . Donde el parámetro A de los modelos representa el peso adulto del animal cuanto el tiempo tiende al infinito. El parámetro "b" es el factor de integración que ajusta los valores de peso inicial y generalmente está asociado con el peso al nacimiento (grado de madurez del animal al

nacimiento). Sin embargo, el parámetro k, tasa de madurez, es una función entre la máxima tasa de crecimiento y el peso adulto del animal (velocidad de crecimiento). El componente t de la función representa la edad del cordero en días.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En primer lugar indicar que tanto para el caso de los machos como para hembras, la función seleccionada para explicar el crecimiento de los mismos desde el nacimiento hasta la edad de sacrificio fue la Logística; debido a que presentó menor suma de cuadrados del error, establecido en 6.56 (Tabla I) para el caso de los machos y 4.80 (Tabla II) para hembras, así como también se consiguió un menor número de iteraciones para alcanzar la convergencia, que fue de 5 para ambos sexos. Para los tres modelos estudiados se obtuvo una buena calidad de ajuste con un R<sup>2</sup> de 0.96.

Tabla 1. Parámetros estimados para cada uno de los modelos estudiados en la curva de crecimiento de corderos segureños a la edad de sacrificio.

Modelo	Parámetros			CME	R <sup>2</sup>	Nº de Iteraciones
	A	b	k			
Función Logística	33.10 ± 0.81	7.69 ± 0.19	0.038 ± 0.0008	6.56	0.96	5
Ecuación de Gompertz	55.18 ± 3.44	2.69 ± 0.05	0.014 ± 0.0006	6.59	0.96	9
Ecuación de Von Bertalanffy	96.67 ± 12.35	0.66 ± 0.013	0.007 ± 0.0006	6.62	0.96	14

A: Peso adulto, b: Coeficiente de integración, k: Tasa de madurez, t: Tiempo, m: Coeficiente de inflexión, PN: Peso al nacimiento, CME: Cuadrado Medio del Error, R<sup>2</sup>: Coeficiente Determinativo

Tabla 2. Parámetros estimados para cada uno de los modelos estudiados en la curva de crecimiento de corderas segureñas a la edad de sacrificio.

Modelo	Parámetros			CME	R <sup>2</sup>	Nº de Iteraciones
	A	b	k			
Función Logística	26.31 ± 0.14	6.57 ± 0.04	0.0425 ± 0.0002	4.80	0.96	5
Ecuación de Gompertz	35.82 ± 0.44	2.34 ± 0.01	0.0193 ± 0.0002	4.84	0.96	8
Ecuación de Von Bertalanffy	46.61 ± 0.96	0.58 ± 0.002	0.011 ± 0.0002	4.87	0.96	12

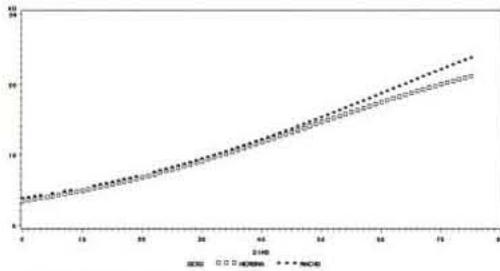
A: Peso adulto, b: Coeficiente de integración, k: Tasa de madurez, t: Tiempo, m: Coeficiente de inflexión, PN: Peso al nacimiento, CME: Cuadrado Medio del Error, R<sup>2</sup>: Coeficiente Determinativo

En el caso de los corderos machos, se obtuvo un peso adulto de 33.10 kg, determinado por el parámetro A de la curva Logística, algo superior a los máximos referenciados por Puntas y cols. (2003) que se establecieron en 28.73 kg. para corderos de 70 días. Los modelos de Gompertz y Von Bertalanffy ofrecieron pesos adultos de 55.18 y 96.67, respectivamente; parámetro claramente sobreestimado para los niveles productivos de la raza.

Para las hembras el peso adulto obtenido fue de 26.31 kg, para la curva Logística, más próximos a los máximos de la raza ofrecidos por Puntas y cols., (2003) y que se sitúan en 28.82 kg., a la edad de sacrificio. Topal y cols., (2004), utilizando los modelos de Gompertz, función Logística y modelo de Von Bertalanffy obtuvo unos pesos adultos de 40.6, 38.9 y 41.7 kg., respectivamente en el estudio de la curva de crecimiento de corderos de raza Awassi.

Es destacable la superior tasa de crecimiento ( $k$ ), obtenida para el caso de las hembras con un valor de 0.0425, frente a los machos con un nivel de 0.038; lo que es un indicativo de una mayor velocidad de crecimiento en el caso de las hembras. En la Figura 1, podemos observar las curvas de crecimiento de corderos machos y hembras ajustadas a la función Logística.

Figura 1. Curvas de crecimiento de corderos segureños ajustadas a la función Logística durante el período nacimiento-sacrificio.



## CONCLUSIONES

En función de los modelos no lineales estudiados podemos concluir que para los datos con los que hemos trabajado, el modelo de función Logística es el que mejor se ajusta a la curva de crecimiento de corderos segureños en período comprendido desde el nacimiento y la edad de sacrificio.

Con este estudio se ha tratado de establecer el punto de partida para profundizar en sucesivos estudios sobre el comportamiento en crecimiento del cordero segureño, que sin duda servirá de base para la toma de decisiones a la hora de planificar la alimentación del cordero a lo largo de su vida productiva, así como también ofrecerá una información valiosa para la proyección del peso al sacrificio a edades tempranas en función del sexo del animal.

## BIBLIOGRAFÍA

- 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.*, 34:525-32.
- BROWN, J.E., FITZHUGH H.A., CARTWRIGHT, T.C. 1976. A comparison of nonlinear models for describing weightage relationships in cattle. *J. Anim. Sci.*, 42(4):810-818.
- DELGADO J.V., C. BARBA, J.M. LEÓN, M. BENAVENTE, J.V. RODRÍGUEZ, J. PUNTAS. 2003. Esquema de Selección en la Raza ovina Segureña. *OVIS*, 85: 39-54.
- DeNISE, R.S.K., BRINKS, J.S. 1985. Genetic and environmental aspects of the growth curve parameters in beef cows. *J. Anim. Sci.*, 61(6):1431-1440.
- DUARTE, F.A.M. Estudo da curva de crescimento de animais da raça Nelore (*Bos taurus indicus*) através de cinco modelos estocásticos. Ribeirão Preto, 1975. 284p. Tese (Livro- Docência) - Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Univeridade de São Paulo.
- FITZHUGH, H.A. 1976. Analysis of growth curves and strategies for altering their shapes. *J. Anim. Sci.*, 42(4):1036-1051.
- KEELE, J.W., WILLIAMS, C.B., BENNETT, G.L. 1992. A computer model to predict the effects of level of nutrition on composition of empty body gain in beef cattle. I. Theory and development. *J. Anim. Sci.*, 70:841-857.
- LEWIS, R.M., EMMANS, G.C., DINGWALL, W.S., SIMM, G. 2002. A description of the growth of sheep and its genetic analysis. *Anim. Sci.* 74, 51-62.
- LISKI, E.P. 1987. A growth curve analysis for bulls tested at station. *Biometrical J.*, 29(3):331-343.
- MENCHACA, M.A. 1990. The use of stage models for describing animal growth curves. *Cuban J. Agric. Sci.*, 24(1):31-36.
- MENCHACA, M.A. 1991a. Modelling of the bovine weight growth. 1. An intrinsically linear model for growth representation. *Cuban J. Agric. Sci.*, 25(2):125-127.
- MENCHACA, M.A. 1991b. Modelling of the bovine weight growth. 2. Multiplicative model controlling the growth curve and other effects. *Cuban J. Agric. Sci.*, 25(5):494-501.
- MENCHACA, M.A. 1992. Modelling of the bovine weight growth. 3. Growth stage-multiplicative model. *Cuban J. Agric. Sci.*, 26(2):105-109.
- MENCHACA, M.A., VALDES, G., BRITO, M. 1993. A study on the performance of grazing animals through the use of a growth multiplicative model. *Cuban J. Agric. Sci.*, 27(1):11-6.
- MOORE, A.J. 1985. A mathematical equation for animal growth from embryo to adult. *Anim. Prod.*, 40(3):441-453.
- PEROTTO, D., CUE, R.I., LEE, A.J. 1992. Comparison of nonlinear functions for describing the growth curve of three genotypes of dairy cattle. *Can. J. Anim. Sci.*, 72(4):773-782.
- PUNTAS, J.; J.M. LEÓN, J.V. RODRÍGUEZ, M. BENAVENTE, J.V. DELGADO, C. BARBA. 2003. El Control de Rendimientos en la Raza ovina Segureña. *OVIS*, 85: 9-38.
- TEDESCHI, L.O.; C. BOIN, R. FERNANDES, P.R. LEME. 2000. Estudo da Curva de Crescimento de Animais da Raça Guzerá e seus Cruzamentos Alimentados a Pasto, com e sem Suplementação. 1. Análise e Seleção das Funções Não-Lineares. *Rev. bras. zootec.*, 29(2):630-637.
- TOPAL, M.; M. OZDEMIR, V. AKSAKAL, N. YILDIZ, U. DOGRU. 2004. Determination of the best nonlinear function in order to estimate growth in Morkaraman and Awassi lambs. *Small Ruminant Research* 55: 229-232.
- VON BERTALANFFY, L. 1938. A quantitative theory of organic growth. *Human Biology*, (10):181-213.
- WEBSTER, A.J.F., AHMED, A.A.M., FRAPPELL, J.P. 1982. A note of growth rates and maturation rates in beef bulls. *Anim. Prod.*, 35(2):281-286.
- WILLIAMS, C.B., KEELE, J.W., BENNETT, G.L.A. 1992. Computer model to predict the effects of level of nutrition on composition of empty body gain in beef cattle. II. Evaluation of the model. *J. Anim. Sci.*, 70:858-866.