

Comparación de modelos no lineales para describir curvas de crecimiento en cuyes (*Cavia porcellus*) desde el nacimiento hasta la edad de sacrificio

R R Noguera, R L Pereira* y C E Solarte*

Universidad de Antioquia, Facultad de Ciencias Agrarias – Grupo de Investigación en Ciencias Agrarias
ricardonoguera@agronica.udea.edu.co

* *Universidad de Nariño – Facultad de Ciencias Pecuarias*

Resumen

El presente trabajo tuvo por objetivo estudiar las curvas de crecimiento de cuyes machos y hembras. Para esto, fue evaluada la capacidad de ajuste de cuatro modelos de crecimiento: Brody, Von Bertalanffy, Gompertz y Logístico a los datos de peso de cuyes de diferente sexo al nacimiento, 14, 30, 45, 56 y 84 días después del nacimiento. La estimativa de los parámetros fue realizada por el método de cuadrados mínimos generalizado para modelos de regresión no lineal con errores autocorrelacionados. Diferentes criterios de capacidad de ajuste fueron considerados para la escogencia de los modelos.

Todos los modelos presentaron valores muy próximos con respecto a los criterios de capacidad de ajuste, indicando que pueden ser utilizados indistintamente para describir el crecimiento de los cuyes.

Palabras clave: Curva de crecimiento, cuyes, modelos no lineales

Comparison of non-linear models to describe growth curves in guinea pigs (*Cavia Porcellus*) from birth to slaughter age

Abstract

The objective of this work was study the growth curves in guinea pigs, male and female. For this, the capacity of adjustment of four models was evaluated (Brody, Von Bertalanffy, Gompertz and Logistic models). To evaluate the capacity of adjustment of the models to data of growth of guinea pigs of different sex, were used the weight to the birth, 14, 30, 56 and 84 days. The parameters were estimated by the generalized least squares method using nonlinear regression models with autocorrelated errors. Models were compared by using some indicators of goodness fit and biological interpretation of parameters.

All the models presented similar values for indicators of goodness fit, indicating that they can be used indistinctly to describe the growth of guinea pigs.

Key words: growth curve, guinea pigs, nonlinear models

Introducción

Diferentes modelos matemáticos han sido utilizados para describir el crecimiento animal. Dado que el crecimiento animal no sigue una tendencia lineal es necesario explorar modelos empíricos no lineales que permitan estudiar la relación entre la edad del animal, su velocidad de crecimiento y madurez. Esta información es importante para efectos de investigación y 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, buscando precocidad con mayor peso y mejor calidad de la canal (Souza et al 1994).

Los modelos matemáticos utilizados para modelar el crecimiento animal tienen forma sigmoideal y en ellos pueden ser diferenciadas las siguientes fases: 1. *Fase de aceleración* esta fase idealmente debe tener su origen en el punto (0,0) y se caracteriza porque la velocidad de crecimiento es muy rápida y positiva llegando al máximo en el punto de inflexión de la curva. 2. *Fase de desaceleración* a partir del punto de inflexión la tasa de crecimiento comienza a disminuir en virtud de una serie de factores fisiológicos que frenan el crecimiento. 3. *Fase lineal* cuando el animal deja de crecer o el crecimiento puede ser considerado para la reposición de tejidos.

Los modelos Gompertz, Logístico, Richards, Bertalanffy y Brody son las funciones de crecimiento más frecuentemente utilizadas para describir el crecimiento de plantas animales y órganos. Estos modelos presentan tres parámetros con interpretación biológica y uno definido como constante matemática. El parámetro “*A*” corresponde al peso asintótico o peso adulto, representa la estimativa del peso a la madurez. El parámetro “*K*” corresponde al índice de madurez o a la estimativa de precocidad de madurez (Nobre et al 1987). Cuanto mayor sea el valor de este parámetro más precoz es el animal y viceversa (Brown et al 1976). El parámetro “*B*” es denominado parámetro de integración y no posee significado biológico.

El objetivo de este trabajo fue evaluar los modelos matemáticos Brody, logístico, Von Bertalanffy, Gompertz y Richards en cuanto a su capacidad para describir el crecimiento y desarrollo de cuyes (*Cavia porcellus*).

Materiales y métodos

Origen de los datos

La base de datos analizada en el presente estudio provino del programa cuyícola, localizado en la Granja Experimental Botana propiedad de la Universidad de Nariño - Colombia. Fueron utilizados los registros de 218 animales de los cuales 140 eran machos y 78 hembras, nacidos durante el año 2003. Los animales fueron pesados al nacimiento, a los 14, 30, 45, 56 y 84 días después del nacimiento, edad a la cual las explotaciones comerciales de esta especie consideran que los animales alcanzan el peso ideal para ser sacrificados.

Los animales en la Granja Experimental fueron alimentados con pasto raygrass (*lolium sp*) y suplemento concentrado a voluntad desde el nacimiento hasta que alcanzaron el peso para el sacrificio (84 días de

edad).

Modelos matemáticos

El análisis de la información y el ajuste matemático de los datos fue realizado en la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Antioquia. Los modelos utilizados para describir el crecimiento de los animales fueron Brody, Gompertz, Logístico y Von Bertalanffy. Las expresiones matemáticas que representan a cada uno de los modelos y su número de parámetros son presentados en la tabla 1.

Tabla 1. Descripción matemática de los modelos de crecimiento

Modelo	No. de parámetros	Expresión matemática*
Brody	3	$yt = A (1 - B \exp(-K t))$
Gompertz	3	$yt = A \exp(-B \exp(-K t))$
Logístico	3	$yt = A / (1 + B \exp(-K t))$
Von Bertalanffy	3	$yt = A (1 - B \exp(-K t))^3$

* yt = peso del animal en el tiempo t ; A = estimativa del peso a la madurez; B = parámetro de integración, no posee significado biológico; K = índice de madurez o estimativa de precocidad de madurez

Análisis estadístico

Los modelos fueron ajustados a las series de peso por edad de cada animal utilizando el procedimiento para modelos no lineales PROC NLIN de SAS (1999). Para distinguir la capacidad de ajuste de cada uno de los modelos en estudio fueron utilizados los siguientes criterios:

- convergencia o no del modelo (el proceso iterativo converge en la j -ésima iteración cuando $(SQR_{j-1} - SQR_j) / (SQR_j + 10^{-6}) < 10^{-8}$);
- coeficiente de determinación dado por $1 - SQR/SQT$ donde SQR y SQT representan la suma de cuadrados del residuo y del total corregida, respectivamente;
- Criterio de información de Akaike (AIC). Permite determinar que tan bien los modelos se ajustan a una base de datos. El método combina teoría de máxima verosimilitud, información teórica y entropía de información (Motulsky y Christopoulos 2003). El criterio es definido por la siguiente ecuación:

$$AIC = -2 * \log Lik + 2N$$

donde:

N representa el número de parámetros estimados por el modelo y $\log Lik$ corresponde al logaritmo de máxima verosimilitud.

El mejor modelo es aquel que posea menor valor de AIC;

- coherencia biológica de los parámetros estimados.

Resultados y discusión

Los valores de las sumas cuadrados de los residuos (SQE), los coeficientes de determinación (R^2) y el criterio de información de Akaike (AIC) de los modelos en estudio, son presentados en la tabla 2.

Tabla 2. Valores de las sumas cuadrados de los residuos (SQE), coeficientes de determinación (R^2) y el criterio de información de Akaike (AIC) de los modelos en estudio

Modelo	Sexo	Parámetro	Estimado
Brody	Macho	R ²	0,898166
	Hembra		0,919707
	Macho	SQE	13065,3
	Hembra		9605,2
	Macho	AIC	8623,909
	Hembra		4686,085
Von Bertalanffy	Macho	R ²	0,896284
	Hembra		0,914646
	Macho	SQE	13306,8
	Hembra		10210,7
	Macho	AIC	8636,727
	Hembra		4709,923
Gompertz	Macho	R ²	0,894803
	Hembra		0,91152
	Macho	SQE	13496,8
	Hembra		10584,7
	Macho	AIC	8646,651
	Hembra		4723,953
Logístico	Macho	R ²	0,889511
	Hembra		0,901794
	Macho	SQE	14175,7
	Hembra		11748,1
	Macho	AIC	8681,005
	Hembra		4764,626

Los valores de R^2 encontrados tanto para animales machos y hembras fueron altos, con valores que variaron entre 88.95% y 91.97%. Independientemente del sexo todos los modelos presentaron altos coeficientes de determinación, estos coeficientes deben ser interpretados 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 puede ser el único criterio de escogencia entre modelos (Noguera et al 2004).

En la evaluación estadística del modelo es importante recordar que la suma cuadrado total (SQT) es siempre la misma para un determinado conjunto de datos. La SQT en el análisis de varianza de la regresión no lineal es dividida en dos partes, una parte llamada suma cuadrado de la regresión (o modelo) (SQM) y otra llamada suma cuadrado del residuo (o error) (SQE). Como la SQT es siempre la misma para un conjunto de datos el valor de la SQE depende exclusivamente del modelo. De esta forma modelos que representan mejor un conjunto de datos ofrecen menores SQE constituyendo así un adecuado criterio de evaluación entre modelos.

Para animales machos, la menor SQE fue observada para el modelo Brody con 13065,3 y la mayor para el modelo Logístico con 14175,7, respectivamente. En el caso de las hembras la SQE fue menor cuando comparada con los valores observados para los machos. Los valores de SQE para las hembras fluctuaron

entre 9605,2 y 11748,1 para los modelos Brody y Logístico, respectivamente. La pequeña variación en los valores de las SQE entre modelos indica que independientemente del sexo, todos los modelos se ajustan de forma adecuada a las curvas de crecimiento de cuyes.

El AIC permite determinar que tan bien los modelos se ajustan a una base de datos, el mejor modelo es aquel que posea menor valor de AIC. Para animales machos y hembras el menor valor de AIC fue observado para el modelo Brody con 8623,9 y 4686,08, respectivamente. A pesar de que este modelo presentó los menores valores para este criterio de evaluación, la variación entre modelos para el ajuste de los datos fue muy estrecha, indicando un adecuado ajuste de los modelos a los datos en estudio.

En las figuras 1 y 2, se presentan las curvas de crecimiento observadas y predichas por los modelos para animales machos y hembras respectivamente.

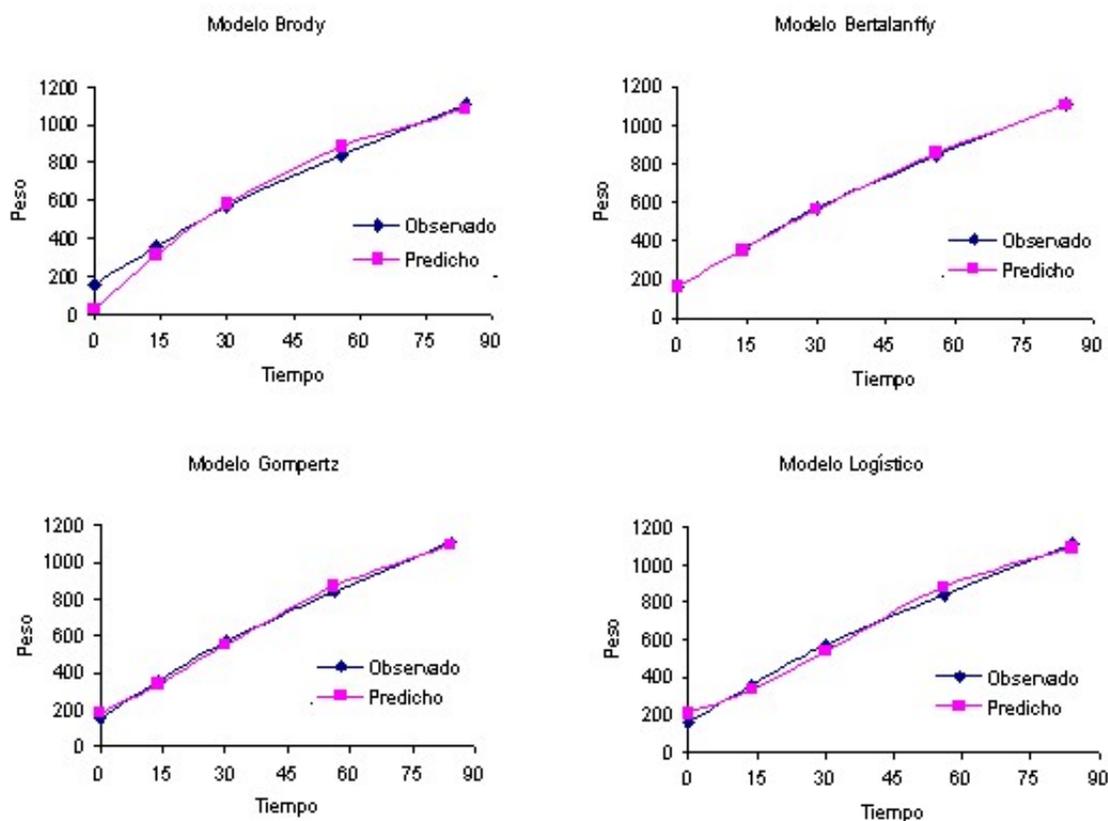


Figura 1. Curvas de crecimiento observadas y predichas para animales machos

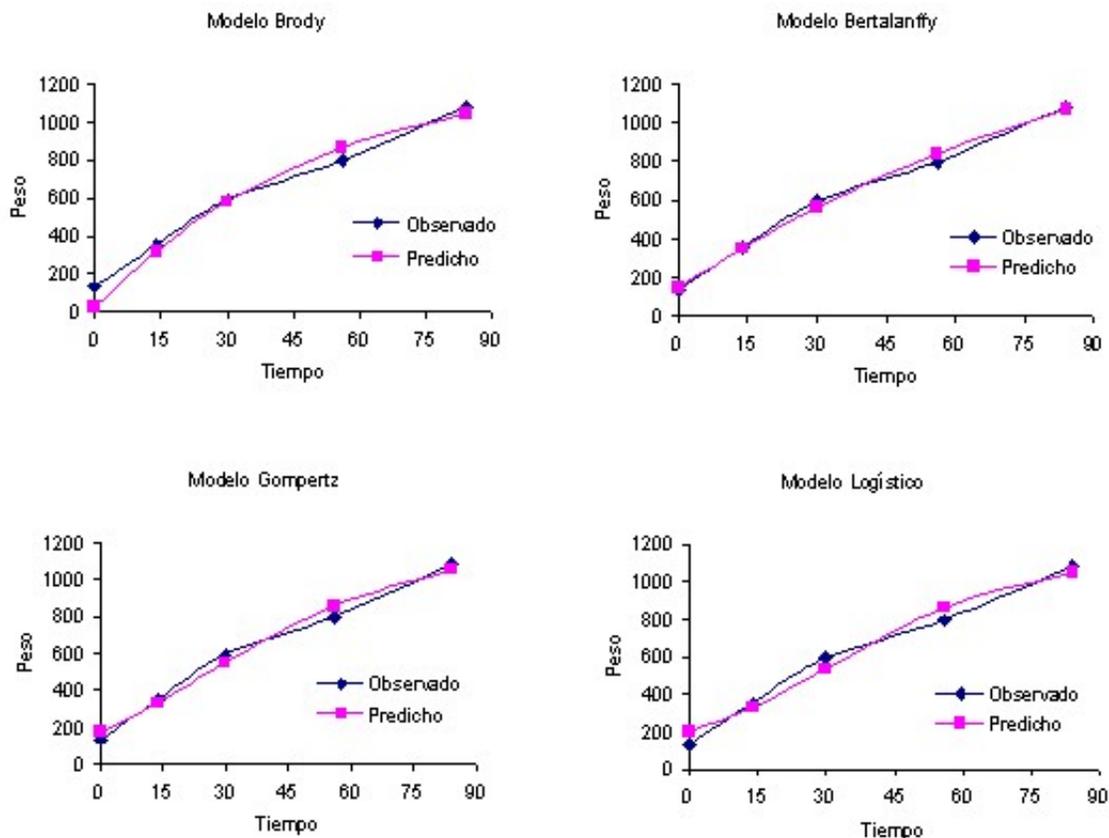


Figura 2. Curvas de crecimiento observadas y predichas para animales hembras

Puede observarse que el modelo Brody subestima el peso al nacimiento independientemente del sexo de los animales, por el contrario los modelos Bertalanffy, Gompertz y Logístico hacen predicciones bastante aproximadas del peso de los animales a través del tiempo.

Además de los criterios matemáticos que permiten determinar cual es la capacidad de ajuste de un modelo frente a otro, es necesario tener en cuenta como parámetro de evaluación la coherencia biológica de los parámetros estimados del modelo. Este criterio de evaluación depende del conocimiento que tenga el investigador del fenómeno biológico en estudio.

En la tabla 3 se presenta la amplitud de la variación de los parámetros de las curvas individuales de crecimiento para cuyes machos y hembras, después de su ajuste a los modelos Brody, Von Bertalanffy, Gompertz y Logístico.

Tabla 3. Estimativa de los parámetros de las funciones de crecimiento Brody, Von Bertalanffy, Gompertz y Logística para cuyes (*Cavia porcellus*) machos y hembras

Modelo	Sexo	Parámetros	Valor estimado
Brody	Macho	A(g)	2124,3
	Hembra		1715,6
	Macho	B	0,9315
	Hembra		0,9253
	Macho	K(g día ⁻¹)	0,0079
	Hembra		0,0106

Von Bertalanffy	Macho	A(g)	1435,1
	Hembra		1303,8
	Macho	B	0,5144
	Hembra		0,5109
	Macho	K(g día ⁻¹)	0,0214
	Hembra		0,0241
Gompertz	Macho	A (g)	1331,3
	Hembra		1232,4
	Macho	B	2,0368
	Hembra		2,0153
	Macho	K(g día ⁻¹)	0,028
	Hembra		0,0306
Logístico	Macho	A(g)	1198,8
	Hembra		1140,3
	Macho	B	5,0568
	Hembra		4,858
	Macho	K(g día ⁻¹)	0,0471
	Hembra		0,0486

Independientemente del modelo la estimativa del peso maduro (parámetro A) fue mayor para los machos que para las hembras en todos los casos. El mayor valor de A fue verificado en el modelo Brody con 2124.3 g para machos y 1715.6 g para hembras, los valores estimados por los modelos Von Bertalanffy, Gompertz y Logístico fueron 1435.1 y 1303.8, 1331.3 y 1232.4, 1198.8 y 1140.3 para machos y hembras, respectivamente. Estos resultados concuerdan con las observaciones de Brown et al (1976) y Perotto et al (1992). En estos estudios, el modelo Brody presentó las mayores estimativas del peso asintótico y el modelo Logístico, valores consistentemente por debajo de los demás modelos testados.

Chauca (1997) reporta que el peso adulto de cuyes mejorados debe oscilar entre 1100 a 1300 gramos a las 13 semanas de edad. De acuerdo con estos valores el modelo Brody sobreestima el peso adulto para machos y hembras, estando este valor muy por encima de los valores utilizados para el ajuste de los modelos. Los modelos Von Bertalanffy, Gompertz y Logístico hacen predicciones del peso adulto mas certeras a los valores reportados en la literatura para cuyes mejorados. Todos los modelos revelaron que los machos presentan un mayor peso maduro que las hembras.

El parámetro K representa la tasa de madurez del animal e indica la velocidad de crecimiento en el sentido de alcanzar el peso asintótico a partir del peso inicial. Las tasas de crecimiento estimadas por los modelos mostraron que las hembras crecen a una tasa mayor que los machos, alcanzando el peso adulto a una menor edad. Las tasas de crecimiento expresadas en gramos día⁻¹, estimadas por los modelos, para machos variaron entre 0.0079 y 0.0471, en tanto que para las hembras fluctuaron entre 0.0106 y 0.0486, respectivamente. El modelo Brody estimó las menores tasas de crecimiento para machos y hembras, cuando comparado con los modelos Von Bertalanffy, Gompertz y Logístico. Las diferencias en las tasas de crecimiento entre machos y hembras fueron bastante estrechas, siempre a favor de las hembras.

Cuanto mayor el valor de K, mas rápidamente el animal va a alcanzar su peso adulto. Animales con un alto valor de K presentan madurez precoz en comparación con individuos de valores más bajos de K y de peso inicial semejante. Con una variación relativamente pequeña en el peso inicial, la variación entre los valores

de K representa, con precisión, las variaciones en la velocidad relativa con que el animal crece.

Consideraciones finales

El modelo Brody tiende a sobrestimar el peso maduro de los animales y a subestimar las tasas de crecimiento tanto para machos como para hembras. A pesar de esta situación, los criterios de bondad de ajuste muestran que este modelo puede ser utilizado para describir curvas de crecimiento en cuyes. Todos los modelos testados presentaron valores muy próximos en cuanto a los criterios de bondad de ajuste, lo que impidió realizar una clasificación de los modelos y permitió concluir que pueden ser utilizados para estudiar la cinética del crecimiento de cuyes.

Una vez que los registros de pesaje de estos animales solo se llevaron hasta los 84 días después del nacimiento, edad en la cual alcanzan el peso ideal para ser sacrificados, fue imposible establecer con claridad la fase asintótica de la curva.

Bibliografía

- Brown J E, Fitzhugh H A, Cartwright T C 1976** A comparison of nonlinear models for describing weight-age relationships in cattle. *Journal of Animal Science* 42: 810-818 <http://jas.fass.org/cgi/reprint/42/4/810>
- Chauca L 1997** Producción de cuyes. Estudio FAO producción y sanidad animal 138. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, from <http://www.fao.org/docrep/W6562s/w6562s00.HTM>
- Motulsky H, Christopoulos A 2003**. Fitting models to biological data using linear and nonlinear regression. Versión 4. San Diego CA: GraphPad PRISM®. 2003. URL: www.graphpad.com 351 p.
- Nobre P R C, Rosa A, Silva L O, Evangelista S R 1987** Curvas de crescimento de gado Nelore ajustadas para diferentes frequências de pesagens. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 22: 1027-1037 http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-204X1999000700003&script=sci_arttext
- Noguera RR, Saliba EO, Mauricio RM 2004** Comparación de modelos matemáticos para estimar los parámetros de degradación obtenidos a través de la técnica de producción de gas. *Livestock Research for Rural Development*. Volume 16, Article #86. Retrieved December 3, 2004, from <http://www.lrrd.org/lrrd16/11/nogu16086.htm>
- Perotto D 1992** Additive and nonadditive genetic effects on growth and milk production traits in Holstein x Ayrshire crossbreeding experimental data. Ph.D. thesis, Faculty of Graduate Studies and Research, McGill University, Montréal, PQ.
- SAS Institute 1999** SAS/STAT™ guide for personal computers, version 6. 387p.
- Souza J C e Bianchini Sobrinho E 1994** Estimativa do peso de bovinos de corte, aos 24 meses, da raça Nelore, usando curvas de crescimento. *Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia* 23: 85-91

Received 30 January 2008; Accepted 30 March 2008; Published 1 May 2008

[Go to top](#)