

## Modelos no lineales para la descripción del crecimiento de cuyes (*Cavia porcellus*) de saca temprana

Nonlinear models for the description of the growth of early culling  
guinea pigs (*Cavia porcellus*)

Jaime Fernando Vega-Vilca<sup>1\*</sup>, Rufino Maximo Maguiña-Maza<sup>1</sup>,  
Johnny Gregorio Cipriano Bautista<sup>2</sup>, Claudio Andrés Vega-Cadillo<sup>3</sup>

### RESUMEN

El objetivo del estudio fue evaluar los modelos no lineales Gompertz, logístico, Von Bertalanffi y Richards para hallar el modelo que mejor describa el crecimiento de cuyes de saca temprana. La investigación se desarrolló en una granja comercial de cuyes de raza Perú ubicada en la provincia de Huaura, Perú. Se utilizaron 10 machos y 12 hembras que fueron pesados periódicamente desde el nacimiento hasta los 69 días. La alimentación fue básicamente con forraje verde (maíz chala). El grado de ajuste de los modelos no lineales del peso y edad de los animales fue evaluado a través del cuadrado medio del error (CME) y los criterios Akaike (AIC) y Bayesiano (BIC). El modelo no lineal logístico fue el que mejor describió el crecimiento de los cuyes alimentados con forraje verde y permitió elaborar el estándar de crecimiento a la saca temprana.

**Palabras clave:** Gompertz, logístico, Von Bertalanffi, Richards, modelo ajustado, predicción

<sup>1</sup> Departamento Académico de Zootecnia, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Lima, Perú

<sup>2</sup> Departamento Académico de Matemática y Estadística, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Lima, Perú

<sup>3</sup> Facultad de Arte y Ciencias, Universidad de Puerto Rico, Mayagüez, Puerto Rico

\* E-mail: [jvegavi@unjfsc.edu.pe](mailto:jvegavi@unjfsc.edu.pe)

Recibido: 29 de diciembre de 2022

Aceptado para publicación: 25 de junio de 2023

Publicado: 25 de agosto de 2023

©Los autores. Este artículo es publicado por la Rev Inv Vet Perú de la Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad Mayor de San Marcos. Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0) [<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>] que permite el uso, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada de su fuente original

## ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the non-linear Gompertz, logistic, Von Bertalanffí and Richards models to find the model that best describes the growth of early culling guinea pigs. The research was carried out in a commercial farm of Peru breed guinea pigs located in the province of Huaura, Peru. Ten males and 12 females were used, which were periodically weighed from birth to 69 days. The feeding was basically with green fodder. The degree of adjustment of the non-linear models of the weight and age of the animals was evaluated through the mean square of the error (CME) and the Akaike (AIC) and Bayesian (BIC) criteria. The logistic non-linear model was the one that best described the growth of the guinea pigs fed with green forage and allowed the elaboration of the growth standard for early culling.

**Key words:** Gompertz, logistic, Von Bertalanffí, Richards, adjusted model, prediction

## INTRODUCCIÓN

El cuy (*Cavia porcellus*) es un roedor ampliamente difundido en los países andinos como Perú, Colombia, Ecuador y Bolivia (Sánchez-Macías *et al.*, 2018), y utilizado como fuente de alimento que se ha introducido en el mercado gastronómico en forma de plato típico exótico (Avilés *et al.*, 2014).

En la campiña de Huaura (Lima, Perú), existe una creciente demanda de los restaurantes campestres por cuyes tiernos con pesos vivos alrededor de 650 g. La provisión constante de cuyes de esas características se torna dificultosa debido a que los criadores mayormente alimentan a los cuyes solo con forraje verde y sin aplicar prácticas de manejo que les permita realizar sacas tempranas para satisfacer la demanda de los restaurantes campestres.

Un modelo de crecimiento que se ajuste a los registros de peso puede describir características importantes del crecimiento (Lupi *et al.*, 2016), tales como la precocidad, la ganancia diaria, el peso adulto y el intervalo de tiempo entre el nacimiento y la madurez (Casas *et al.*, 2010). Se han utilizado diversos modelos matemáticos para la evaluación

de las características de crecimiento animal (Agudelo *et al.*, 2008) y en cuyes se han utilizado con relativo éxito el modelo Gompertz (Noguera *et al.*, 2008), Von Bertalanffí (Pinto, 2020) y logístico (Martínez-González *et al.*, 2015; Cayo, 2021), incluyendo modelos polinómicos de naturaleza cuadrática (Quispe *et al.*, 2021); sin embargo, los coeficientes de estos modelos no tienen un claro significado biológico (Seber y Wild, 1989). La elección y uso del modelo matemático para caracterizar su crecimiento y desarrollo depende del tipo de animal y sistema de crianza (Burgos-Paz *et al.*, 2010).

El objetivo del estudio fue evaluar cinco modelos matemáticos no lineales para hallar el modelo que mejor describa el crecimiento de cuyes, alimentados con maíz chala como forraje, destinados a una saca temprana y elaborar su estándar de crecimiento.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló en una granja comercial de cuyes del distrito de Santa María, provincia de Huaura, Perú. La crianza fue en jaula bajo un sistema de alimentación *ad libitum* básicamente con forraje ver-

Cuadro 1. Modelos no lineales utilizados y su expresión matemática

Modelo	Expresión matemática
Brody	$y = a(1 - b \cdot \exp(-c \cdot x))$
Gompertz	$y = a \cdot \exp(-b \cdot \exp(-c \cdot x))$
Logístico	$y = a / (1 + b \cdot \exp(-c \cdot x))$
Von Bertalanffy	$y = a(1 - b \cdot \exp(-c \cdot x))^3$
Richards	$y = a(1 + b \cdot \exp(-c \cdot x))^d$

$y$  = peso;  $x$  = edad;  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  = coeficientes

de de maíz chala, variedad marginal 28, disponible en la zona de estudio. Se utilizaron 10 machos y 12 hembras de raza Perú de 1 a 3 días de edad. Los cuyes fueron sexados recién al destete (21 días de edad) como lo establecía el manejo de la granja. Al destete los cuyes fueron separados en jaulas por sexo. Se registró el peso de los animales a los 2, 9, 16, 27, 34, 41, 48, 55, 62 y 69 días de edad utilizando una balanza digital SF-400 (China) de 5 kg ( $\pm 1$  g).

Se evaluaron los modelos no lineales Brody, Gompertz, logístico, Von Bertalanffy y Richards (Cuadro 1). El ajuste de los modelos a los pesos fue evaluado a través del cuadrado medio del error (CME) y los criterios Akaike (AIC) y Bayesiano (BIC) (Posada y Rosero, 2007). Se utilizó la primera derivada de la función con el modelo de mejor ajuste para calcular la ganancia de peso diaria (tasa de crecimiento) a intervalos de siete días durante el periodo de estudio. La máxima ganancia de peso diaria fue hallada por la segunda derivada de la función (punto de inflexión). Se empleó el programa estadístico Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2017) para el análisis de los datos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los pesos registrados hasta los 69 días de edad muestran una tendencia sigmoideal del crecimiento, con un claro dimorfismo sexual a favor de los machos, acentuándose conforme avanzan en edad luego del destete (Figura 1).

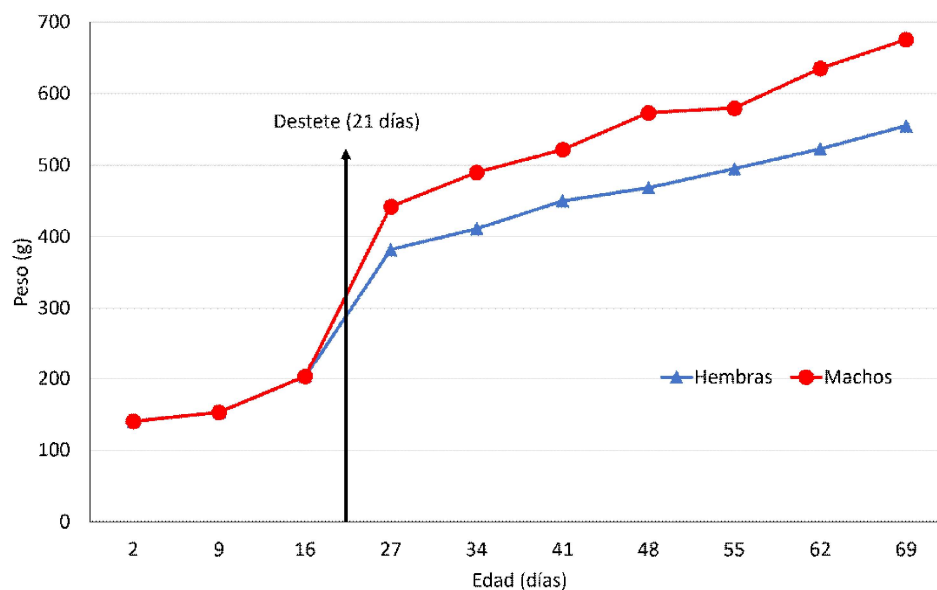


Figura 1. Evolución del peso corporal de cuyes raza Perú alimentados solo con forraje verde (Huaura, Perú)

Cuadro 2. Parámetros de los modelos matemáticos no lineales para cuyes raza Perú machos y hembras (Huaaura, Perú)

Modelo	Sexo	Coefficiente	Estimación	Valor-P
Brody	Hembra	a	17.72	0.9644
		b	-10.39	0.9672
		c	-0.02	0.3881
	Macho	a	18.49	0.9666
		b	-10.90	0.9691
		c	-0.02	0.3655
Gompertz	Hembra	a	585.64	<0.0001
		b	1.86	<0.0001
		c	0.05	0.0008
	Macho	a	704.59	<0.0001
		b	2.20	0.0001
		c	0.05	0.0011
Logístico	Hembra	a	548.12	<0.0001
		b	4.35	0.0007
		c	0.07	0.0002
	Macho	a	655.65	<0.0001
		b	5.96	0.0033
		c	0.08	0.0003
Von Bertalanffi	Hembra	a	5.20	0.9701
		b	-2.40	0.9363
		c	-0.01	0.7214
	Macho	a	4.61	0.9728
		b	-2.64	0.9403
		c	-0.01	0.7140
Richards	Hembra	a	583.27	0.0004
		b	-0.05	0.9858
		c	0.05	0.2492
		d	38.23	0.9861
	Macho	a	500.000	0.0196
		b	0.001	>0.9999
		c	0.090	>0.9999
		d	0.001	>0.9999

Los modelos Gompertz y logístico mostraron coeficientes altamente significativos ( $p < 0.01$ ), mientras que la mayoría de los coeficientes en los otros modelos resultaron no significativos ( $p > 0.05$ ) (Cuadro 2). Con relación al grado de ajuste obtenido por los cinco modelos, el modelo logístico mostró menores valores en CME, AIC y BIC en ambos sexos,

por lo que fue el que mejor se ajustó a los pesos de los cuyes y permitió modelar el crecimiento de los cuyes de saca temprana bajo una alimentación de forraje verde (Cuadro 3). Estos resultados contrastan con los hallazgos de Noguera *et al.* (2008), quienes mencionan que los modelos que mejor se ajustan para cuyes alimentados con balanceado

Cuadro 3. Criterios para evaluar el ajuste de cinco modelos matemáticos al peso corporal de cuyes raza Perú hasta los 69 días de edad

Sexo	Modelo	Expresión matemática	CME	AIC	BIC
H	Brody	$y = 17.72(1 - (-10.39) * \exp(-(-0.02) * x))$	4657.26	117.27	118.48
	Gompertz	$y = 585.64 * \exp(-1.86 * \exp(-0.05 * x))$	701.49	98.34	99.55
	Logístico	$y = 548.12 / (1 + 4.35 * \exp(-0.07 * x))$	<b>621.05</b>	<b>97.13</b>	<b>98.34</b>
	Von Bertalanffi	$y = 5.20(1 - (-2.40) * \exp(-(-0.01) * x))^3$	4802.94	117.58	118.79
	Richards	$y = 583.27(1 + (-0.05) * \exp(-0.05 * x))^{38.23}$	837.67	100.58	102.09
M	Brody	$y = 18.49(1 - (-10.90) * \exp(-(-0.02) * x))$	8208.96	122.94	124.15
	Gompertz	$y = 704.79 * \exp(-2.20 * \exp(-0.05 * x))$	1343.18	104.84	106.05
	Logístico	$y = 655.65 / (1 + 5.96 * \exp(-0.08 * x))$	<b>1218.41</b>	<b>103.87</b>	<b>105.08</b>
	Von Bertalanffi	$y = 4.61(1 - (-2.64) * \exp(-(-0.01) * x))^3$	8443.43	123.22	124.43
	Richards	$y = 500(1 + 0.001 * \exp(-0.09 * x))^{0.001}$	66873.83	144.38	145.89

CME: cuadrado medio del error; AIC: criterio Akaike; BIC: criterio Bayesiano

son el Brody y Gompertz. La menor ganancia de peso bajo una alimentación con solo forraje comparado a una alimentación con balanceado y forraje (Flores *et al.*, 2018) puede afectar la pendiente de la curva de crecimiento lo que explicaría esta diferente respuesta.

La raza es otro factor que pudo condicionar este ajuste. Martínez-González *et al.* (2015) y Cayo (2021) indican que el modelo logístico es el que mejor se ajusta a cuyes de raza Andina, que tienen menor velocidad de crecimiento en comparación a los cuyes de raza Perú (Burgos-Paz *et al.*, 2010). Los cuyes de raza Perú del presente estudio alimentados con forraje verde tuvieron una menor velocidad de crecimiento, similar a la raza Andina, lo que permitió que el modelo logístico sea el de mejor ajuste.

Las curvas de crecimiento utilizando la expresión matemática del modelo logístico se muestran en la Figura 2. Utilizando las propiedades matemáticas del modelo se puede estimar el peso y la ganancia de peso diaria (tasa de crecimiento) semanal para machos y hembras. Se observa que el macho llega alrededor de los 650 g a los 69 días de edad, peso requerido por el mercado de la zona,

Cuadro 4. Peso promedio estimado (g) de cuyes raza Perú de saca temprana alimentados con forraje verde

Machos		Hembras	
Edad (días)	Peso (g)	Edad (días)	Peso (g)
21	310.6	21	274.0
28	401.1	28	339.9
35	481.2	35	398.5
42	543.2	42	445.6
49	586.3	49	480.4
56	614.2	56	504.6
63	631.3	63	520.6
70	641.5	70	530.9

mientras que la hembra necesitará más días para lograr ese mismo peso. Al hallar la primera derivada de la función logística para cada semana y obtener la ganancia de peso diaria, se aprecia que va en aumento desde la primera semana de vida, llega a un máximo y luego empieza a disminuir (Figura 3). Con la segunda derivada de la función (punto de inflexión) se obtuvo la máxima ganancia de peso diaria (machos: 13.11 g/d a los 22.3

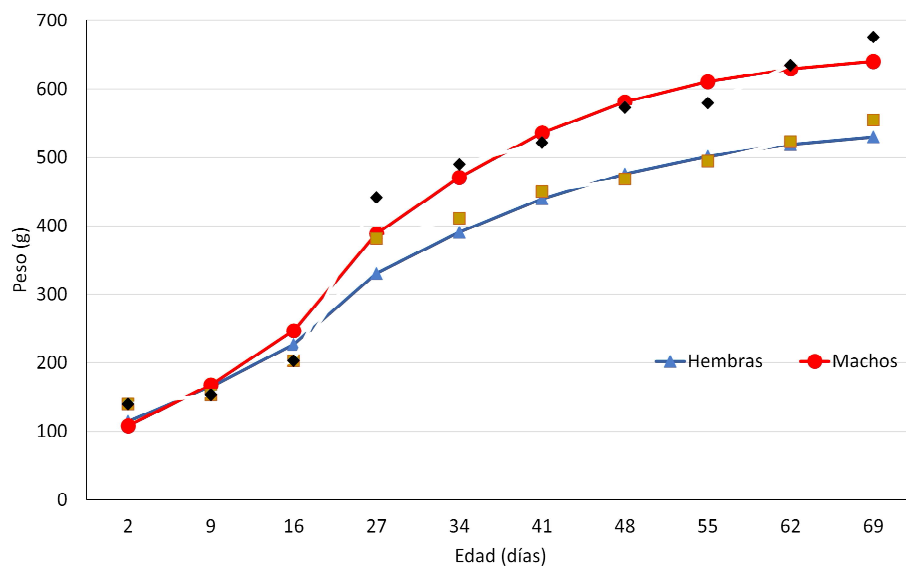


Figura 2. Curvas de crecimiento de cuyes raza Perú alimentados solo con forraje verde según el modelo logístico (Huaaura, Perú)

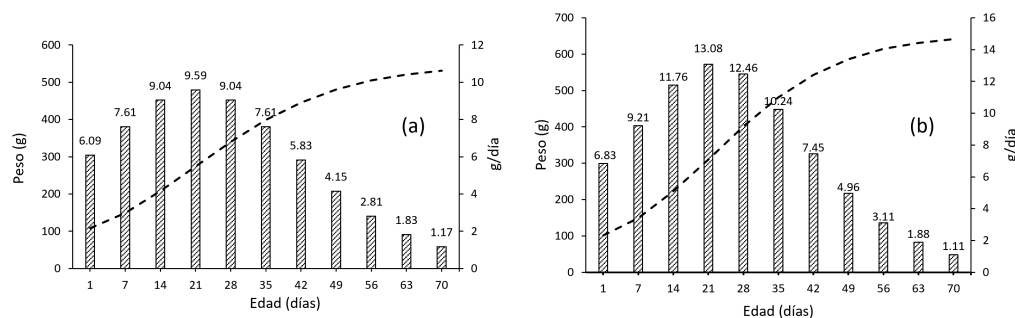


Figura 3. Peso y ganancia de peso diaria semanal estimados en cuyes raza Perú hembras (a) y machos (b) alimentados con forraje verde según el modelo logístico (Huaaura, Perú)

días; hembras: 9.59 g/d a los 21.0 días). La ganancia de peso diaria máxima en ambos sexos se encuentra alrededor de los 21 días, periodo que coincide con el tiempo de destete utilizado en la zona. El estándar de peso estimado de los cuyes de saca temprana alimentados con forraje verde desde el destete hasta los 70 días utilizando el modelo logístico se muestra en la Cuadro 4.

## CONCLUSIONES

El modelo logístico fue el de mejor ajuste y sirvió para describir las características del crecimiento del destete a la saca temprana de cuyes alimentados con forraje verde y permitió elaborar su curva de crecimiento.

## LITERATURA CITADA

1. **Agudelo DA, Cerón MF, Restrepo LF. 2008.** Modelación de las funciones de crecimiento aplicadas a la producción animal. *Rev Colomb Cienc Pec* 21: 39-58.
2. **Avilés DF, Landi V, Delgado JV, Martínez AM. 2014.** El pueblo ecuatoriano y su relación con el cuy. *AICA* 4: 38-40.
3. **Burgos-Paz W, Solarte-Portilla C, Cerrón-Muñoz M. 2010.** Efecto del tamaño de camada y número de parto en el crecimiento de cuyes (*Cavia porcellus* Rodentia: caviidae). *Rev Lasallista Investig* 7: 47-55.
4. **Casas GA, Rodríguez D, Afanador G. 2010.** Propiedades matemáticas del modelo de Gompertz y su aplicación al crecimiento de los cerdos. *Rev Colomb Cienc Pec* 23: 349-358.
5. **Cayo PI. 2021.** Determinación de la curva de crecimiento morfológico para la medición de la edad en el cuy (*Cavia porcellus*) tipo A1 en el Centro Experimental Uyumbicho. Tesis de Médico Veterinario y Zootecnista. Quito: Univ. Central del Ecuador. 50 p.
6. **Di Rienzo JA, Casanoves F, Balzarini MG, Gonzalez L, Tablada M, Robledo CW. 2017.** InfoStat versión 2017. Argentina, Universidad Nacional de Córdoba. <https://www.infostat.com.ar/>
7. **Flores LM, Moscoso JE, Camero J, Angulo-Tisoc J, Jeri JC, Del Solar JM. 2018.** Momento óptimo de sacrificio comercial de cuyes (*Cavia porcellus*) criados bajo distintos sistemas de alimentación. *Compend Cienc Vet* 8: 7-15. doi: 10.18004/compend.cienc.-vet.2018.08.01.07-15
8. **Lupi TM, León JM, Nogales S, Barba C, Delgado JV. 2016.** Genetic parameters of traits associated with the growth curve in Segureña sheep. *Animal* 10: 729-735. doi: 10.1017/S175173-1115002773
9. **Martínez-González S, Peña-Parra B, Moreno-Flores LA, Macías-Coronel H. 2015.** Método de tipificación de la curva de crecimiento del cuy raza andina con el modelo logístico. *Rev Investig Agropecu* 2: 647-653.
10. **Noguera RR, Pereira RL, Solarte CE. 2008.** Comparación de modelos no lineales para describir curvas de crecimiento en cuyes (*Cavia porcellus*) desde el nacimiento hasta la edad de sacrificio. *Livest Res Rural Dev* 20(5). [Internet]. Disponible en: <http://www.lrrd.org/lrrd20/5/nogu20079.htm>
11. **Pinto P. 2020.** Comparación de dos modelos matemáticos en la evaluación del crecimiento de cuyes *Cavia porcellus* de las razas Andina y Perú en la irrigación San Camilo Arequipa. 2019-2020. Tesis de Médico Veterinario y Zootecnista. Arequipa, Perú: Univ. Católica de Santa María. 99 p.
12. **Posada SL, Rosero R. 2007.** Comparación de modelos matemáticos: una aplicación en la evaluación de alimentos para animales. *Rev Colomb Cienc Pec* 20: 141-148.
13. **Quispe D., Sarmiento R, Huamán D, Huayhua J, Tapasco J. 2021.** Determinación del momento óptimo de saca de reproductores en cuyes criollos (*Cavia porcellus*). *Rev Inv Vet Perú* 32: e21348. doi: 10.15381/rivep.v32i5.21348
14. **Sánchez-Macías D, Barba-Maggi L, Morales-De la Nuez A. 2018.** Guinea pig for meat production: a systematic review of factors affecting the production, carcass and meat quality. *Meat Sci* 143: 165-176. doi: 10.1016/j.meatsci.2018.05.004
15. **Seber GAF, Wild CJ. 1989.** Nonlinear regression. New York: John Wiley. 768 p.