

Growth modeling of pasture or confinement-raised broiler chickens

Modelación del crecimiento de pollos de engorda criados en pastoreo o confinamiento

González-Cerón, Fernando^{1*}; Olaiz-González, Pablo René¹; Mata-Estrada, Anely²; Pro-Martínez, Arturo²; Sosa Montes, Eliseo¹; Fernández-de la O, Monserrat¹; Calzada-Marín, Jesús Miguel²; Rivas-Jacobo, Marco Antonio³

¹Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Estado de México, México. C. P. 56230. ²Programa de Ganadería. Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Texcoco, Estado de México, México. C. P. 56230. ³Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Soledad de Graciano Sánchez, S. L. P., México. C. P. 78321.

*Autor para correspondencia: fgceron@colpos.mx

ABSTRACT

Objective: To evaluate the growth of pasture or confinement-raised broiler chickens, using the Gompertz, Logistic and Richards models, and identify the most appropriate.

Methodology: One hundred ten straight-run broilers Ross 308 were distributed in two systems: pasture or confinement. Birds were weighed every week until 56 d of age. Three growth models (Gompertz, Logistic and Richards) were considered and compared based on three goodness of fit criteria (coefficient of determination, Akaike information criterion and Bayesian information criterion).

Results: The initial (L) and exponential (K) growth rates of the Gompertz and Logistic models, respectively, were higher in confined birds (L=0.1232, K=0.0779) compared to those raised in pasture (L=0.0944, K=0.0657). The maximum relative growth (K) of the Richards model was lower in chickens in confinement (0.0129) than in pasture system (0.0153). With the three models, higher asymptotic weights (WA) were estimated for confined chickens (3,967.1 to 9,095.5) compared to pasture birds (2,461.7 to 5,192.6). According to the criteria considered, the Richards model had the best fit.

Implications of study: The results are only valid for straight-run Ross 308 broiler chickens and under the specified management conditions.

Findings: The growth of pasture or confinement-raised broiler chickens can be described with the Gompertz, Logistic and Richards models, however, the latter has a better fit.

Keywords: broiler, growth curve, pasture.

RESUMEN

Objetivo: Evaluar el crecimiento de pollos de engorda criados en pastoreo o confinamiento, mediante los modelos Gompertz, Logístico y Richards, e identificar el más adecuado.



Agroproductividad: Vol. 12, Núm. 8, agosto. 2019, pp. 41-46.

Recibido: marzo, 2019. Aceptado: julio, 2019.

Metodología: Ciento diez pollos de engorda mixtos Ross 308 se distribuyeron en dos sistemas de crianza: pastoreo o confinamiento. Semanalmente se obtuvo el peso corporal de cada ave, hasta los 56 d de edad. Tres modelos de crecimiento (Gompertz, Logístico y Richards) fueron considerados y se compararon con base en tres criterios de bondad de ajuste (coeficiente de determinación, criterio de información de Akaike y criterio de información Bayesiano).

Resultados: Las tasas de crecimiento inicial (L) y exponencial (K) de los modelos Gompertz y Logístico, respectivamente, fueron mayores en las aves en confinamiento (L=0.1232, K=0.0779) respecto a las criadas en pastoreo (L=0.0944, K=0.0657). El máximo crecimiento relativo (K) del modelo Richards fue menor en pollos en confinamiento (0.0129) que en pastoreo (0.0153). Con los tres modelos, se estimaron mayores pesos asintóticos (WA) para los pollos en confinamiento (3,967.1 a 9,095.5) respecto a las aves en pastoreo (2,461.7 a 5,192.6). De acuerdo a los criterios considerados, el modelo Richards es el que tiene un mejor ajuste.

Implicaciones del estudio: Los resultados obtenidos sólo son válidos para pollos de engorda mixtos Ross 308 y bajo las condiciones de manejo especificadas.

Conclusión: El crecimiento de pollos de engorda criados en confinamiento o pastoreo, puede describirse con los modelos Gompertz, Logístico y Richards, sin embargo, este último tiene un mejor ajuste.

Palabras clave: pollo de engorda, curva de crecimiento, pastoreo.

manejo (confinamiento, semi-confinamiento, pastoreo, etc.) sobre dicha variable, es su modelación mediante funciones matemáticas (Wellok *et al.*, 2004). Aunque existen amplios antecedentes sobre el desarrollo de curvas de crecimiento del pollo de engorda (Aggrey, 2002; Roush *et al.*, 2006; Rizzi *et al.*, 2013), las investigaciones bajo el modelo de producción en pastoreo son limitadas (Dottavio *et al.*, 2007; Eleroglu *et al.*, 2014; Michalczyk *et al.*, 2016) y más aún en México. La crianza de aves para carne en condiciones de pastoreo puede ser de interés para el pequeño productor, dada la posible reducción del uso de alimento concentrado para generar un producto que contribuya a satisfacer sus necesidades de proteína y, eventualmente, dirigir los excedentes a mercados que demandan carne de pollo producida en sistemas alternativos.

El presente trabajo tiene por objetivos evaluar el crecimiento de pollos de engorda criados en confinamiento o pastoreo, mediante los modelos Gompertz, Logístico y Richards, e identificar el mejor.

MATERIALES Y MÉTODOS

Animales y manejo

Ciento diez pollos de engorda mixtos de cero d de edad, fueron alojados en 10 corrales de 1.08×1.65 m cada uno (11 aves/corral y 6.2 aves/m²) dentro de una caseta de ambiente natural de 39.1 m², con cama de viruta de madera de 2.5 cm de espesor. La temperatura de recepción fue de 32 °C y ésta se fue disminuyendo a razón de 2 °C por semana hasta alcanzar la temperatura ambiente a los 28 d de edad de las aves. Se elaboraron dos dietas en forma de harina que se administraron a los animales de acuerdo

INTRODUCCIÓN

De las carnes disponibles para consumo humano, la de pollo es de las más demandadas a nivel global (OECD-FAO, 2016) y en México (SIAP, 2018). En nuestro país, casi la totalidad de este producto pecuario es generado bajo las condiciones del sistema intensivo. Éste se caracteriza por el uso de aves especializadas, con máxima ganancia de peso y reducida conversión alimenticia, que son alojadas en instalaciones diseñadas para procurar un ambiente que garantice la expresión del potencial productivo del pollo de engorda (North y Bell, 1990).

En el sistema de producción intensivo de pollo de engorda se busca maximizar la producción de carne por unidad de superficie, lo que significa manejar una alta densidad de población. Esta característica del sistema y el crecimiento rápido del pollo de engorda moderno, se asocian a la incidencia de problemas metabólicos en las aves (Julian, 1998). Frente a este dilema, y por el interés del consumidor por adquirir productos pecuarios de calidad y generados bajo condiciones de bienestar animal, en años recientes han surgido sistemas alternativos de carne de pollo, como es la producción en pastoreo (Mikulski *et al.*, 2011).

La variable crecimiento no pierde relevancia aún bajo sistemas alternativos. Una forma de evaluar objetivamente el efecto de diferentes estrategias de

a su edad: iniciación (22% proteína cruda/3,025 kcal EM kg⁻¹) de 0 a 21 d de edad y finalización (19% proteína/3,200 kcal EM kg⁻¹) de 22 a 56 d de edad. De cero a 21 d de edad, todas las aves consumieron alimento a libertad, posteriormente se implementó un programa de restricción para prevenir problemas metabólicos, de manera que las aves consumieron alimento a libre acceso pero sólo por un periodo de 10 h al día, de 8:00 a 18:00 h. A partir de los 28 d de edad los pollos fueron separados en dos grupos de 55 aves cada uno y el alimento concentrado les fue ofrecido de acuerdo al sistema de producción [confinamiento (SPC) o pastoreo (SPP)] en el que continuaron su crianza. Las aves asignadas al SPC continuaron con la estrategia de alimentación implementada a partir de los 21 d de edad. En contraste, los pollos del SPP permanecieron en el interior de la caseta cada día por un periodo de 16 h (00:00 a 9:00 h y 17:00 a 00:00 h), durante las 8 h restantes (9:00 a 17:00 h) las aves eran colocadas en corrales móviles (1.08×1.65 m cada uno) ubicados en una pradera de trébol blanco (*Trifolium repens* L.) donde pastoreaban el forraje. Los corrales móviles permanecían por un periodo de siete días en la misma sección de la pradera y posteriormente eran trasladados a una sección nueva que no había sido pastoreada por 45 d. Desde los 28 d de edad y hasta el fin del estudio, a los pollos del SPP se les ofreció sólo el 50% del alimento concentrado consumido por las aves en el SPC, al cual podían acceder por dos horas al día (8:00 a 9:00 h y 17:00 a 18:00 h), con el fin de estimular el consumo de forraje. El agua se ofreció *ad libitum* durante todo el periodo de observación, de 0 a 21 d de edad en bebederos

de iniciación con capacidad de 0.5 l y de 22 a 56 d en bebederos tipo vitrolero de 5 l de capacidad.

Datos

Los 55 pollos de cada sistema de producción (SPC y SPP) fueron pesados individualmente cada semana a partir de los 28 d de edad, por lo que al final del periodo de evaluación (56 d de edad) se obtuvieron 550 observaciones de peso vivo (PV), entre ambos sistemas, que fueron utilizadas para la estimación de parámetros de modelos de crecimiento.

Modelos de crecimiento

Tres modelos de crecimiento fueron evaluados: Gompertz-Laird (Laird et al., 1965), Logístico (Robertson, 1923) y Richards (Richards, 1959). La expresión correspondiente al modelo Gompertz-Laird fue $W_t = W_0 \exp[(L/K)(1 - \exp(-Kt))]$, donde W_t es el PV del ave en el tiempo t , W_0 es el PV al nacimiento, L es la tasa de crecimiento instantáneo por día y K es la tasa de decaimiento exponencial. El peso asintótico W_A fue estimado como $W_A = W_0 \exp(L/K)$ (Aggrey, 2002). El modelo logístico se evaluó de acuerdo a $W_t = W_A / [1 + \exp(-K(t-t_i))]$, donde W_t es el PV del ave en el tiempo t , W_A es el peso asintótico, K es la tasa de crecimiento exponencial y t_i es la edad en el punto de inflexión. El modelo Richards fue estudiado bajo la ecuación $W_t = W_A [1 - (1-m)\exp[-K(t-t_i)/m^{m(1-m)}]]^{1/(1-m)}$, donde W_t es el PV del ave en el tiempo t , W_A es el peso asintótico, K es el máximo crecimiento relativo por día, t_i es la edad a la máxima tasa de crecimiento y m es el parámetro de forma.

Análisis estadístico

Los datos de PV fueron analizados mediante un ANOVA a través del procedimiento MIXED del programa estadístico SAS V.9.3 (SAS, 2011). Los parámetros de los modelos de crecimiento evaluados fueron estimados utilizando el procedimiento NLIN (algoritmo de Marquat) del programa citado. Los criterios de bondad de ajuste considerados fueron el coeficiente de determinación (R^2), el criterio de información de Akaike (AIC) y el criterio de información Bayesiano (BIC).

RESULTADOS

En el Cuadro 1 se observa que las aves criadas en confinamiento tuvieron un PV mayor ($P < 0.05$) durante todo el periodo de evaluación, sin embargo los PV de los pollos en ambos sistemas de producción fueron menores a los valores estándar establecidos para la estirpe (Aviagen, 2014).

La base de datos con 550 observaciones de peso vivo (275 observaciones por sistema de producción) permitió el ajuste de curvas de crecimiento con los tres modelos evaluados: Gompertz, Logístico y Richards (Cuadro 2). El modelo Gompertz, que es el único que estima directamente el peso al nacimiento (W_0), generó valores sobreestimados en ambos sistemas de producción (77.6 y 108.8 g, para los sistemas de crianza en confinamiento y pastoreo, respectivamente), dado que el peso promedio observado fue de 40 g y el estándar para la estirpe es de 42 g (Aviagen, 2014).

Las tasas de crecimiento inicial (L) y exponencial (K) de los modelos Gompertz y Logístico, respectivamente, fueron mayores para las aves en confinamiento (L=0.1232, K=0.0779) respecto a las aves criadas en pastoreo (L=0.0944, K=0.0657). Por otro lado, el máximo crecimiento relativo (K) estimado por el modelo Richards, fue menor en las aves criadas en confinamiento (0.0129) que en los pollos en pastoreo (0.0153).

Las edades estimadas (ti) al punto de inflexión y al máximo crecimiento, de los modelos Logístico y Richards, respectivamente, fueron menores en los pollos de pastoreo (42.6 y 48.3, respectivamente) que en los pollos criados en confinamiento (45.5 y 53.7, respectivamente).

Los tres modelos de crecimiento evaluados estimaron mayores pesos asintóticos (WA) para los pollos criados en confinamiento (3,967.1 a 9,095.5) respecto a las aves en sistema de pastoreo (2,461.7 a 5,192.6). Dentro de cada sistema de producción, el menor peso asintótico fue estimado por el modelo Logístico (pastoreo = 2,461.7 y confinamiento = 3,967.1). Por otro lado, el mayor peso asintótico dentro del sistema de producción en confinamiento fue estimado por el modelo Gompertz (9,095.5) y para el sistema de pastoreo por el modelo Richards (5,192.6).

De acuerdo a los valores estimados de los criterios de bondad de ajuste para los modelos evaluados (Cuadro 3), el modelo Richards resulta ser el que mejor describe el crecimiento de pollos de engorda criados en confinamiento o pastoreo (valores de R² de mayor magnitud y valores de AIC y BIC de menor magnitud). La única excepción a

Cuadro 1. Peso vivo (± EE) de pollos de engorda criados en dos sistemas de producción.

Edad (semanas)	Confinamiento	Pastoreo
4	768±77	734±80
5	1219±122 ^a	936±155 ^b
6	1788±172 ^a	1204±117 ^b
7	2200±179 ^a	1446±122 ^b
8	2808±227 ^a	1853±192 ^b

^{a,b} Medias con literal diferente dentro de la misma fila son significativamente diferentes (P<0.05).

este patrón de comportamiento se da en el AIC del modelo Richards para aves en pastoreo.

DISCUSIÓN

Las aves de ambos sistemas de producción obtuvieron PV menores a los valores estándar establecidos para la estirpe y esta tendencia fue de mayor magnitud en los pollos de engorda del SPP. Esto se explica por los

programas de restricción alimenticia utilizados en ambos sistemas de producción, que reducen el consumo de alimento concentrado y en consecuencia el peso corporal de los pollos (Yu y Robinson, 1992).

La sobreestimación del peso al nacimiento (W₀) con el modelo Gompertz, para ambos sistemas de producción, coincide con estudios donde éste ha sido utilizado para describir el crecimiento de pollos de engorda (Nahashon *et al.*, 2006; Ahmadi y Golian, 2008; Rizzi *et al.*, 2013).

Un mismo modelo de crecimiento puede variar en sus especificaciones de acuerdo al autor que lo utiliza y esto hace que los parámetros estimados no sean directamente comparables. Los resultados del presente trabajo difieren de lo encontrado por Aworetan y Oseni

(2018) quienes hallaron que el índice de maduración (K), indicado en la versión de los modelos Gompertz y Logístico que ellos utilizaron, tiende a ser de mayor magnitud cuando las aves son criadas en pastoreo en comparación con crianza en confinamiento. En el presente caso, los parámetros que se refieren a la tasa de crecimiento en los modelos Gompertz y Logístico (L y K, respectivamente) son de menor magnitud en las aves en SPP respecto a SPC. La diferencia puede deberse al genotipo

Cuadro 2. Parámetros estimados de los modelos Gompertz, Logístico y Richards, que describen el crecimiento de pollos de engorda criados en dos sistemas de producción.

Modelo	Sistema de Producción	
	Confinamiento (n=55)	Pastoreo (n=55)
Gompertz		
Peso al nacimiento (W ₀)	776	108.8
Peso asintótico (W _A)	9,095.5	4,220.7
Tasa de crecimiento inicial (L)	0.1232	0.0944
Tasa de decaimiento (K)	0.0257	0.0258
Logístico		
Peso asintótico (W _A)	3,967.1	2,461.7
Tasa de crecimiento exponencial (K)	0.0779	0.0657
Edad al punto de inflección (t _i)	45.5	42.6
Richards		
Peso asintótico (W _A)	5,872.0	5,192.6
Máximo crecimiento relativo (K)	0.0129	0.0153
Edad al máximo crecimiento (t _i)	53.7	48.3
Parámetro de forma (m)	1.3282	1.4717

Cuadro 3. Criterios de bondad de ajuste de los modelos Gompertz, Logístico y Richards, que describen el crecimiento de pollos de engorda criados en dos sistemas de producción.

Sistema de Producción	Modelo	R ²	AIC	BIC
Confinamiento	Gompertz	0.98261	3499.99	1517.29
	Logístico	0.98243	3532.29	1534.05
	Richards	0.98826	2710.25	1188.35
Pastoreo	Gompertz	0.96596	1712.71	6012.56
	Logístico	0.96075	1712.71	6012.56
	Richards	0.97697	4355.74	1879.74

R²=coeficiente de determinación; AIC=criterio de información de Akaike; BIC=criterio de información Bayesiano.

de las aves en cada estudio, mientras que en este trabajo se empleó una estirpe especializada para producción de carne (Ross 308), Aworetan y Oseni (2018) utilizaron aves locales de Nigeria.

Las edades al punto de inflexión en este trabajo son cercanas a los valores estimados por Michalczuk et al. (2016) [40.9 a 46 d] con los modelos Logístico y Richards utilizando aves de crecimiento moderado en semiconfinamiento, pero difieren de los resultados de Eleroglu et al. (2014) quienes reportan edades de entre 73 y 87 d para aves criadas en sistema orgánico, sin embargo, los genotipos utilizados fueron de crecimiento lento. De manera que las diferencias en la edad al punto de inflexión pueden explicarse por la naturaleza de los genotipos utilizados en cada caso.

Pesos asintóticos de pollos de engorda con acceso a praderas para su pastoreo (sistemas orgánico o semi-confinamiento), han variado de 2,133 a 6,496 g cuando se estiman con los modelos Gompertz o Logístico (Dottavio et al., 2007; Eleroglu et al., 2014) que es un rango dentro del que se encuentran los valores estimados para las aves en SPP del presente estudio con los modelos Gompertz, Logístico y Richards (2,461.7 a 5,192.6 g). Por otro lado, pesos asintóticos estimados para las aves en SPC (3,967.1 a 9,095.5 g) son superiores a los reportados para aves con vocación cárnica (1,693.6 a 2,505.8 g) pero provenientes de una población bajo apareamiento aleatorio (Aggrey, 2002).

A diferencia de otros estudios con pollos de engorda criados en pastoreo, donde se ha encontrado que los modelos Gompertz (Michalczuk et al., 2016; Aworetan y Oseni, 2018) y Logístico (Eleroglu et al., 2014) resultaron los mejores para describir el crecimiento de las aves, en el presente caso los valores de los criterios de bondad de ajuste sugieren que el modelo Richards es la fun-

ción más adecuada para analizar el crecimiento de los pollos en SPP y SPC. Esto puede obedecer a la mayor flexibilidad de éste modelo de cuatro parámetros, que le permitiría corresponder al patrón de crecimiento del pollo de engorda (Aggrey, 2002; Wellock et al., 2004; Grimm y Ram, 2009).

CONCLUSIONES

El crecimiento de pollos de engorda criados en confinamiento y pastoreo puede ser descrito mediante los modelos Gompertz, Logístico y Richards. La función de Richards es el modelo más adecuado para describir el crecimiento de los pollos criados en confinamiento o pastoreo, bajo las condiciones del presente estudio.

LITERATURA CITADA

- Aggrey, S.E. (2002). Comparison of three nonlinear and spline regression models for describing chicken growth curves. *Poultry Science*, 81, 1782-1788.
- Ahmadi, H. y Golian, A. (2008). Non-linear hyperbolic growth models for describing growth curve in classical strain of broiler chicken. *Research Journal of Biological Sciences*, 3, 1300-1304.
- Aviagen. (2014). Broiler 308: Objetivos de Rendimiento 2014. Disponible en: http://es.aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Foreign_Language_Docs/Spanish_TechDocs/Ross-308-Broiler-PO-2014-ES.pdf. Consultado el 1 de febrero de 2019.
- Aworetan, A.R. y Oseni, S.O. (2018). Modelling the growth curve of Nigerian Fulani ecotype chicken under two production systems. *Proc. 43rd Annual Conference of the Nigerian Society for Animal Production*, March 18th – 22nd 2018. Owerri, Nigeria. p. 99-102.
- Dottavio, A.M., Álvarez, M., Canet, Z.E., Font, M.T. y Di Masso, R.J. (2007). Patrón de crecimiento de híbridos experimentales para la producción de pollo campero. *Revista Argentina de Producción Animal*, 27, 75-82.
- Eleroglu, H., Yildirim, A., Sekeroglu, A., Çoksöyler, F.N. y Duman, M. (2014). Comparison of growth curves by growth models in slow-growing chicken genotypes raised the organic system. *International Journal of Agriculture and Biology*, 16, 529-535.
- Grimm, K.J. y Ram, N. (2009). Non-linear growth models in Mplus and SAS. *Structural Equation Modeling*, 16, 676 - 701.
- Julian, R.J. (1998). Rapid growth problems: ascites and skeletal deformities in broilers. *Poultry Science*, 77, 1773-1780.
- Laird, A. K., Tyler, S.A. y Barton, A.D. (1965). Dynamics of normal growth. *Growth*, 29, 233-248.
- Michalczuk, M., Damaziak, K. y Goryl, A. (2016). Sigmoid models for the growth curves in medium-growing meat type chickens, raised under semi-confined conditions. *Annals of Animal Science*, 16, 65-77.
- Mikulski, D., Celej, J., Jankowski, J., Majewska, T. y Mikulska, M. (2011). Growth performance, carcass traits and meat quality of slower-

- growing and fast-growing chickens raised with and without outdoor access. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 24, 1407-1416.
- Nahashon, S.N., Aggrey, S.E., Adefope, N.A. y Amenyenu, A. (2006). Modeling growth characteristics of meat-type guinea fowl. *Poultry Science*, 85, 943-946.
- North, M.O. y Bell, D.D. (1990). *Commercial chicken production manual*. 4th ed. USA: Van Nostrand Reinhold.
- OECD/FAO. (2016). *OECD-FAO Agricultural Outlook 2016-2025*. France: OECD Publishing.
- Richards, F.J. (1959). A flexible growth function for empirical use. *Journal of Experimental Botany*, 10, 290-300.
- Rizzi, C., Contiero, B. y Cassandro, M. (2013). Growth patterns of Italian chicken populations. *Poultry Science*, 92, 2226-2235.
- Robertson, T.B. (1923). *The chemical basis of growth and senescence*. Philadelphia: J.B. Lippincott Cie.
- Roush, W.B., Dozier III, W.A. y Branton, S.L. (2006). Comparison of Gompertz and neural network models of broiler growth. *Poultry Science*, 85, 794-797.
- SAS Institute Inc. (2011). *Base SAS® 9.3 Procedures Guide*. USA: SAS Institute.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2018). *Atlas agroalimentario 2012-2018*. Ciudad de México: SIAP.
- Wellock, I.J., Emmans, G.C. y Kyriazakis, I. (2004). Describing and predicting potential growth in the pig. *Animal Science*, 78, 379-388.
- Yu, M.W. y Robinson, F.E. (1992). Restriction to broiler chicken production: a review. *Journal of Applied Poultry Research*, 1, 147-153.

