



Artículo de investigación

Descripción de la curva de crecimiento de pavos locales usando modelos no lineales

Aureliano Juárez-Caratachea¹ Ph.D; Iván Delgado-Hurtado¹ Ph.D;
Ernestina Gutiérrez-Vázquez¹ Ph.D; Guillermo Salas-Razo² Ph.D; Ruy Ortiz-Rodríguez² Ph.D;
José C. Segura Correa² Ph.D.

¹Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, Tarímbaro, Morelia, México.

²Universidad Autónoma de Yucatán, Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Mérida, México.

*Correspondence: jose.segura52@hotmail.com

Recibido: Febrero 2018; Aceptado: Octubre 2018; Publicado: Enero 2019.

RESUMEN

Objetivo. Determinar el modelo no lineal que mejor ajuste la curva de crecimiento de pavos locales criados en confinamiento. **Material y métodos.** Veinticuatro y 43 pavos hembras y machos, respectivamente, criados en confinamiento fueron alimentados con dietas comerciales. Cada animal se pesó desde el nacimiento hasta la semana 29 de edad. Los modelos de Gompertz, Brody, Richards, von Bertalanffy y Logístico fueron elegidos para describir la relación edad-peso. El mejor modelo se seleccionó con base en el coeficiente de determinación (R^2), el criterio de información de Akaike (AIC) y el análisis visual de las curvas observadas y predichas. **Resultados.** El mejor ajuste (machos y hembras) correspondió al modelo von Bertalanffy. El más alto valor del parámetro A (edad a la madurez), para hembras y machos correspondió al modelo von Bertalanffy, seguido de Gompertz y Logístico. El estimador A fue mayor para machos que hembras. El mayor valor del parámetro k (tasa de madurez), para hembras y machos, variaron según el modelo utilizado. Los valores de k fueron más altos para hembras que para machos. La edad al punto de inflexión (T_1) y peso vivo al punto de inflexión (W_1) también variaron de un modelo a otro. Los valores más altos de T_1 y W_1 correspondieron al modelo Logístico. Entre sexos, los valores mayores de T_1 y W_1 correspondieron a los machos. **Conclusiones.** El mejor modelo que describió la curva de crecimiento de los pavos locales fue el de von Bertalanffy.

Palabras clave: Gompertz, Logistic, pavos, peso vivo, von Bertalanffy (*Fuente: CAB*).

ABSTRACT

Objective. Determine the best non-linear model to fit the growth curve of local turkeys managed under confinement in Michoacan, Mexico. **Material and methods.** Twenty-four and 43 female and male turkeys, reared under commercial conditions were given commercial feed. Birds were weighed weekly from hatch to 29 weeks of age. The Gompertz, Brody, Richards, von Bertalanffy and Logistic models were chosen to describe the age-weight relationship. **Results.** The best fitting model was selected based on the multiple determination coefficient (R^2), the Akaike information criterion (AIC) and visual analysis of the observed and predicted curves. In both female and male, von Bertalanffy was the best model. The highest estimates of parameter A (mature weight) for both females and males were obtained with the von Bertalanffy model followed by the Gompertz and Logistic. The estimates of A were higher for males than for females. The highest estimates of parameter k (rate of maturity) for both females and males were, in decreasing order, for the Logistic, Gompertz, and von Bertalanffy models. k values for female turkeys was higher than for males. The age at the point of inflection (T_1) and body weight at the age of point of inflection (W_1) varied with the model used. The largest values of T_1 and W_1 corresponded to the Logistic model. Between sexes, the largest T_1 and W_1 values corresponded to males. **Conclusions.** The best models to describe turkey growth was the von Bertalanffy because it present the highest R^2 and lowest AIC values.

Keywords: Body weight, Gompertz, Logistic, von Bertalanffy (*Source: CAB*).

Como citar (Vancouver).

Juárez-Caratachea A, Delgado-Hurtado I, Gutiérrez-Vázquez E, Guillermo-Salas R, Ortiz-Rodríguez R, Segura Correa J. Descripción de la curva de crecimiento de pavos locales usando modelos no lineales. Rev MVZ Córdoba. 2019; 24(1):7104-7107. DOI: <https://doi.org/10.21897/rmvz.1149>



©El (los) autor (es), Revista MVZ Córdoba 2018. Este artículo se distribuye bajo los términos de la licencia internacional Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>), que permite el uso sin restricciones, la distribución y la reproducción en cualquier medio, siempre que se otorgue el crédito apropiado al autor o autores originales y la fuente.

INTRODUCCIÓN

Los pavos son de origen norteamericano, presumiblemente de México, los cuales fueron llevados a Europa (1). El pavo comercial es el resultado de la selección genética y el manejo mejorado, mientras que los pavos (*Meleagris gallopavo*) de origen nativo (local) se han mantenido sin seleccionar en condiciones de manejo en los sistemas de traspatio. El pavo local es un recurso genético importante que debe evaluarse para identificar sus ventajas y desventajas para fines de comerciales o de conservación. El rendimiento productivo de esas aves, así como el conocimiento de su curva de crecimiento, son aspectos importantes para tomar decisiones sobre prácticas de manejo que podrían mejorar su potencial productivo. Se han usado algunos modelos no lineales para describir el cambio en el peso de los pavos en función del tiempo y una serie de parámetros que pueden tener una interpretación biológica. Los modelos no lineales más frecuentemente utilizados son los de Brody, von Bertalanffy, Gompertz, Logistic y Richards (2).

Estas curvas comienzan en un punto fijo y aumentan su tasa de crecimiento hasta un punto de inflexión, después de lo cual la tasa de crecimiento disminuye asintóticamente hasta un valor final. Además, según los parámetros de esos modelos de crecimiento, podrían derivarse otros indicadores como la edad y el peso en el punto de inflexión (3). La curva de crecimiento de las aves podría verse afectada por la raza, el sexo, el programa de alimentación y otros factores (4,5), por lo que es importante determinar el mejor modelo de crecimiento en condiciones específicas. Según el conocimiento de los autores, sólo un artículo ha descrito la curva de crecimiento de los pavos locales pero utilizando el modelo no lineal de Richards (6).

El objetivo de este estudio fue determinar el modelo no lineal que mejor se adapte a la curva de crecimiento del pavo local mantenido en confinamiento en Michoacán, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Animales y manejo. Se obtuvieron 67 pavos locales (24 hembras y 43 machos) del apareamiento de 36 pavas locales y 12 machos locales alojados en instalaciones de la "Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo", en Morelia, Michoacán, México. Todas las aves se identificaron al nacer, utilizando bandas numeradas en las alas. Se criaron en un sistema de cama profunda desde el nacimiento hasta las veintinueve semanas de edad. Desde la eclosión hasta la semana 10, recibieron una dieta comercial con 18% de proteína cruda y 2800 kcal ME. Desde la semana 11 hasta la 29 la proteína cruda fue de 16% y 2850 kcal ME. Las aves recibieron alimento y agua *ad libitum*. Cada ave se pesó cada semana desde el nacimiento hasta la semana veintinueve.

Modelos no lineales. Los modelos no lineales utilizados para describir las curvas de crecimiento de los pavos en este estudio fueron:

- Brody: $y = A * (1 - b * \exp(-k * t))$
- Gompertz: $y = A * \exp(-b * \exp(-k * t))$
- Logística: $y = A / (1 + b * \exp(-k * t))$
- von Bertalanffy: $y = A * (1 - b * \exp(-k * t))$
- Richards: $y = A * (1 - b * \exp(-k * t))^m$

Dónde
 y = peso predicho en el momento (t)
 A = peso maduro o asintótico
 b = constante de integración relacionada con el peso a la eclosión

k = tasa de madurez relacionada con la tasa de crecimiento máxima a la talla madura-
 t = edad del ave
 m = parámetro de forma que determina el tiempo y el peso en el punto de inflexión.

La edad y el peso en el punto de inflexión (T_1 y W_1) se estimaron como: $\ln(b) / k$ y A / e ; $\ln(b) / k$ y $A / 2$; y $\ln(3b) / k$ y $A * 8/27$ para las funciones Gompertz, Logistic y von Bertalanffy, respectivamente (7); donde "e" es la base del logaritmo natural (2.71828).

Criterios para elegir el mejor modelo. El mejor modelo de ajuste, que describió mejor la curva de crecimiento, se eligió con base en tres criterios: coeficiente de determinación múltiple $R^2 = (1 - (SSE / SST))$, estimado con base en la suma de los cuadrados del error (SSE) y la suma de cuadrados total corregida (SST). El criterio de información de Akaike (AIC), se calculó como $AIC = N * \ln(SSE / N) + (2p + 1)$ y estimado según el SSE, el número de observaciones (N) y el número de parámetros (p) en el modelo. Finalmente, también basado en el análisis visual de las curvas observadas y estimadas. El modelo con el valor AIC más bajo y el R^2 más alto se consideró el mejor.

Procedimientos estadísticos y criterio de convergencia. El procedimiento no lineal (NLIN) con el algoritmo de iteración de Marquardt, se utilizó para la estimación de parámetros (8). El criterio de convergencia fue 1.0E-08.

RESULTADOS

Los resultados de las curvas de Brody y Richards no se muestran aquí, porque esos modelos no convergieron (SAS no proporcionó resultados). Las curvas por sexo de los datos observados se muestran en la figura 1, donde está claro que los machos pesaron más que las hembras. Las curvas de crecimiento del modelo no lineal y la de los pesos corporales observados para hembras y machos se muestran en las figuras 2 y 3.

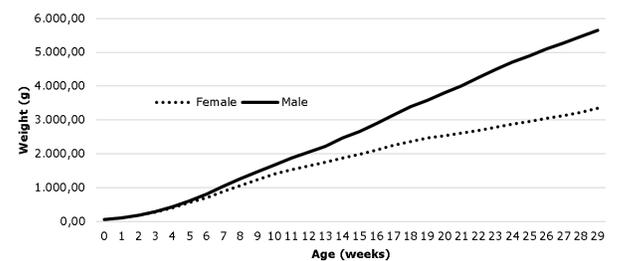


Figura 1. Curva de crecimiento del pavo macho y hembra local en México.

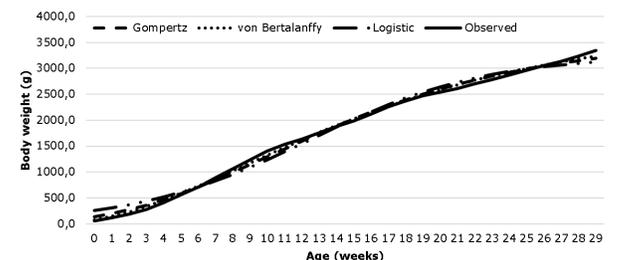


Figura 2. Curvas de crecimiento para el peso corporal previsto y observado de pavo hembra local en México.

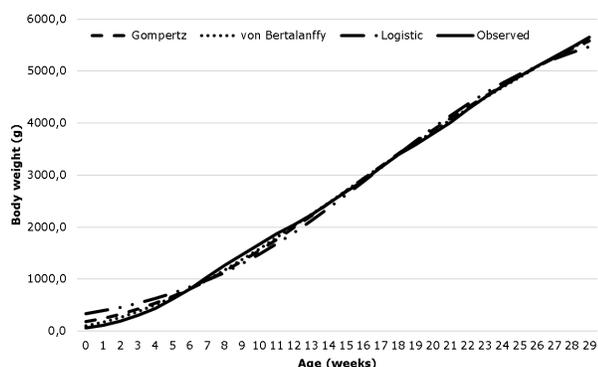


Figure 3. Curva de crecimiento para el peso corporal previsto y observado de pavo local macho en México.

El mejor modelo de ajuste. El modelo de von Bertalanffy se ajustó mejor a los datos de los pavos en ambos sexos, seguido de los modelos Gompertz y Logístico (Figuras 2 y 3). Sin embargo, los tres modelos sobrestimaron el peso al nacimiento, siendo peor el modelo logístico. En cuanto a los gráficos y en función de los criterios de R^2 y AIC, el mejor ajuste elegido fue el modelo de von Bertalanffy.

Estimaciones de los parámetros. Las estimaciones de los parámetros de la curva de crecimiento de los pavos machos y hembras se muestran en la tabla 1. Las estimaciones más altas del parámetro A (peso maduro) para hembras y machos se obtuvieron con el modelo von Bertalanffy seguido de los modelos Gompertz y Logístico. Sin embargo, lo contrario fue cierto para el parámetro b. El modelo logístico estimó el valor k más alto para hembras y machos (0.196 y 0.171, respectivamente) y el modelo de von Bertalanffy (0.089 y 0.055) el más bajo. Los puntos de inflexión de las curvas se alcanzaron a una edad temprana (T_i) y a un peso inferior (W_i) en hembras que en machos, como se muestra en la tabla 1.

Table 1. Estimaciones de parámetros de los modelos de crecimiento para pavos machos y hembras en confinamiento en Michoacán, México.

Parameter	Model		
	Gompertz	Logistic	von Bertalanffy
Female			
A (g)	3570	3246	3829
b	3.238	11.516	0.725
k (g/week)	0.116	0.196	0.089
T_i (weeks)	10.13	12.47	8.73
W_i (g)	1313.2	1623.0	1134.4
R^2	0.9852	0.9857	0.9833
AIC	-1970.8	-1994.9	-1881.7
Male			
A (g)	7670	6141	9351
b	3.740	17.392	0.777
k (g/week)	0.085	0.171	0.055
T_i (weeks)	15.52	16.72	15.30
W_i (g)	2821.5	3070.4	2770.6
R^2	0.9890	0.9893	0.9876
AIC	-2793.1	-2832.2	-2638.0

*A= Body weight at maturity; b= integration constant; k= relative growth coefficient or maturity index; T_i = age at inflection point; W_i =body weight at age of inflection point.

DISCUSIÓN

Bajo las condiciones de este estudio, el modelo von Bertalanffy fue el mejor, lo que indica que se podría usar para describir la curva de crecimiento del pavo local criado en confinamiento y alimentado con dietas comerciales. Estos resultados concuerdan con los hallazgos para pavos comerciales en México (2), utilizando los mismos cinco modelos. Sin embargo, otros autores (3) obtuvieron que el modelo de Richards describía mejor los datos de peso corporal de los pavos Bronceados, en comparación con los modelos Gompertz, Logistic y von Bertalanffy. En pavas, se encontró (9) que el modelo de Morgan se ajustó mejor a los datos de crecimiento, seguido de los modelos de von Bertalanffy y Gompertz. Las diferencias entre los modelos podrían explicarse, en parte, por la especie, la raza, el programa de alimentación y la duración del período de cría. Por ejemplo, algunos autores estudiaron pavos blancos grandes entre 0 y 18 semanas de edad (10); pavos mexicanos locales de 0 a 55 semanas de edad (6); pavas híbridas "Large White" de 0 a 30 semanas de edad (10) y pavos de tipo Bronceado de 11 a 24 semanas de edad (3).

Los valores más altos del parámetro "A" en ambos sexos cuando se usó el modelo de von Bertalanffy, coincidieron con los resultados reportados previamente en pavos comerciales (2). Además, en pavos, Segul y Kiraz (10) encontraron un valor A bajo con el modelo logístico en comparación con el modelo Gompertz. Estos resultados indicaron que diferentes modelos predicen diferentes pesos corporales maduros en pavos; aquí radica la importancia de elegir el mejor modelo.

Las diferencias de sexo entre las estimaciones del parámetro "b" se deben probablemente a su dependencia de la relación entre el peso a la eclosión y el peso de la madurez en cada modelo, y por lo tanto, parece estar más influenciado por el modelo utilizado que por la diferencia entre los sexos.

El parámetro "k" corresponde a la tasa de maduración, que es la tasa de crecimiento para alcanzar el peso maduro. Cuanto más alto sea el valor "k", más rápido alcanzará el animal su peso maduro. El mayor peso asintótico (A) y las estimaciones de "k" bajo para los machos en comparación con las hembras, indicaron que los pavos machos maduraron más lentamente y tardaron más tiempo en alcanzar el peso maduro que las pavas (Tabla 1). Otros autores (10), en pavos "Large White", también obtuvieron valores de "k" más altos, utilizando el modelo logístico (-0.27 y -0.26 para hembras y machos, respectivamente) en comparación con los modelos Gompertz y Richards. En pavos Bronceados, los machos y hembras, se obtuvieron valores de "k" de 0.39 y 0.24 kg / semana, respectivamente (4); mientras que en pavos comerciales blancos, se reportaron valores en condiciones tropicales de 0.29 y 0.26 (2).

Independientemente del modelo utilizado, el punto de inflexión, en el que la tasa de crecimiento fue máxima, se produjo a una edad más temprana (T_i) y a un peso inferior (W_i) en hembras que en machos (Tabla 1). En consecuencia, bajo las condiciones del presente estudio, los pavos machos alcanzaron un peso maduro a una edad tardía y con pesos corporales más pesados que las hembras. Estos resultados son similares a los de los pavos Bronce Americano (3), los pavos locales (6) y los pavos comerciales (2). Sin embargo, en pavos "Large

White", se observaron valores de "A" más altos para hembras que para machos (10), utilizando el modelo de Gompertz, situación que no tiene ningún sentido biológico para los pavos comerciales. Se sabe que los machos son normalmente más pesados que las hembras a la madurez. Esto también significa que la edad fisiológica es diferente en machos y hembras, lo cual es un aspecto relevante en el manejo de la reproducción. Además, el conocimiento de la curva de crecimiento también es de importancia económica porque, podría utilizarse para determinar la edad óptima al momento del sacrificio e identificar cambios en la tasa de crecimiento para ajustar las dietas de alimentación.

En conclusión, basándose en los criterios de R^2 y AIC y en la observación de las curvas de crecimiento, el modelo que mejor se ajustó a los datos fue von Bertalanffy. Esta información puede respaldar decisiones relacionadas con la cría y manejo de pavos locales.

Conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflictos de interés

Agradecimientos

A CONACYT y a la "Coordinación de Investigación Científica de la UMSNH" por el apoyo económico.

REFERENCIAS

1. Crawford RD. Introduction to Europe and the diffusion of domesticated turkeys from the Americas. *Arch Zootec.* 1992; 41:307-314. URL Disponible en: http://www.uco.es/organiza/servicios/publica/az/php/img/web/17_09_55_congreso_307_314.pdf
2. Segura-Correa JC, Santos-Ricalde H, Palma-Avila I. Nonlinear model to describe growth curves of commercial turkey in the tropics of Mexico. *Braz J Poult Sci.* 2017; 19(1):27-32. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9061-2016-0246>
3. Ersoy EI, Mendes M, Aktan S. Growth curve establishment for American Bronze turkeys. *Arch Anim Breed.* 2006; 49(3):293-299. DOI: <https://doi.org/10.5194/aab-49-293-2006>
4. Thornley JHM, France J. Mathematical models in agriculture: Quantitative methods for the plant, animal and ecological sciences. 2nd ed. CABI; Wallingford, UK: 2007. DOI: <https://doi.org/10.1079/9780851990101.0000>
5. Mendes M, Karaabayir A, Ersoy IE, Atasoglu C. Effects of three different lighting programs on live weight change of bronze turkeys under semiintensive conditions. *Arch Anim Breed.* 2005; 48(1):86-93. DOI: <https://doi.org/10.5194/aab-48-86-2005>
6. Pérez-Lara E, Camacho-Escobar MA, García-López JC, Machorro-Samano S, Ávila-Serrano NY, Arroyo-Ledezma J. Mathematical modeling of the native Mexican turkey's growth. *Open J Anim Sci.* 2013; 3(4):305-310. DOI: <https://doi.org/10.4236/ojas.2013.34045>
7. Goshu AT, Koya PR. Derivation of inflection points of nonlinear regression curves - implications to statistics. *Am J Theor Appl Stat.* 2013; 2(6):268-272. DOI: <https://doi.org/10.11648/j.ajtas.20130206.25>
8. SAS. SAS/STAT. Version 9.3. 4th ed. SAS Institute: Cary, USA; 2010.
9. Porter T, Kebreab E, Darmani K H, López S, Strathe AB, France J. Flexible alternatives to the Gompertz equation for describing growth with age in turkey hens. *Poult Sci.* 2010; 89(2):371-378. DOI: <https://doi.org/10.3382/ps.2009-00141>
10. Sengul T, Kiraz S. Non-linear models for growth curves in Large White turkeys. *Turk J Vet Anim Sci.* 2005; 29(2):331-337. URL Disponible en: <http://journals.tubitak.gov.tr/veterinary/issues/vet-05-29-2/vet-29-2-22-0306-39.pdf>