






## Modelación del crecimiento de aves Criollas Mexicanas, Rhode Island Red y Hy-Line Brown

### Growth modelling of Mexican Creole, Rhode Island Red and Hy-Line Brown birds

Leonardo Osio-Orihuela<sup>1</sup> ,  
Diego Zárate-Contreras<sup>2</sup> ,  
Francisco Antonio Cigarroa-  
Vázquez<sup>3</sup> ,  
Paulina Vazquez-Mendoza<sup>4</sup> ,  
Fernando González-Cerón<sup>1\*</sup> 

<sup>1</sup>Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5, Carretera México - Texcoco. CP. 56230. Chapingo, Texcoco, Estado de México, México.

<sup>2</sup>Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco, Km. 36.5. CP. 56230. Montecillo, Texcoco, Estado de México, México.

<sup>3</sup>Escuela de Estudios Agropecuarios Mezcalapa, Universidad Autónoma de Chiapas, Chiapas. Carretera Chicoasén - Malpaso Km. 24.3, San Miguel El coccal. CP. 29625. Copainalá, Chiapas, México.

<sup>4</sup>Centro Regional de Educación Superior de la Costa Chica, Universidad Autónoma de Guerrero. Carretera Cruz Grande-Ayutla, CP. 41800. Cruz Grande, Guerrero, México.

\* Autor de correspondencia: fgceron@colpos.mx

#### Artículo científico

Recibido: 18 de febrero 2022

Aceptado: 28 de septiembre 2022

**Como citar:** Osio-Orihuela L, Zárate-Contreras D, Cigarroa-Vázquez FA, Vazquez-Mendoza P, González-Cerón F (2022) Modelación del crecimiento de aves criollas mexicanas, Rhode Island Red y Hy-Line Brown. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 9(3): e3287. DOI: 10.19136/era.a9n3.3287

**RESUMEN.** El objetivo fue caracterizar el crecimiento de aves Criollas Mexicanas (CMX), Hy-Line Brown (HLB) y Rhode Island Red (RIR) mediante los modelos Gompertz-Laird (MNGL), Logístico (MNL), Richards (MNR) y Von Bertalanffy (MNVB). Se utilizaron 70 pollitas de cada genotipo. Cada ave fue identificada para registrar su peso de 7 a 210 d de edad. Los parámetros de los modelos se estimaron con el procedimiento NLIN (algoritmo de Marquardt) de SAS. Se calculó el coeficiente de determinación ajustado, criterio de información de Akaike y criterio de información Bayesiana, para cada caso. La tasa de crecimiento inicial ( $d^{-1}$ ) en aves CMX fue menor (0.047 15) que en aves RIR (0.071 69) y HLB (0.052 16). Con los cuatro modelos, la tasa de decaimiento en aves CMX fue menor, respecto a los otros genotipos. Asimismo, la edad al máximo crecimiento (d) en las aves CMX, RIR y HLB, varió de 49.4 a 87.9, de 60.7 a 81.6 y de 58.7 a 87.8, respectivamente. Por otro lado, el peso asintótico (g), estimado con los cuatro modelos varió de 2 068.5 a 2 644.3, de 1 902.4 a 2 250.9 y 2 096.3 a 2 464.5, en las aves CMX, RIR y HLB, respectivamente. Con el MNVB se obtuvo el mejor ajuste para los datos de las aves RIR y HLB, en contraste, el MNR fue mejor para las aves CMX, seguido del MNVB. El MNVB sería el más adecuado para el estudio simultáneo del crecimiento de aves CMX, RIR y HLB.

**Palabras clave:** Curva de crecimiento, modelos no lineales, aves Criollas, aves de postura.

**ABSTRACT.** The objective was to characterize the growth of Mexican Creole (MXC), Hy-Line Brown (HLB) and Rhode Island Red (RIR) birds through non-linear models: Gompertz-Laird (NLMGL), Logistic (NLML), Richards (NLMR) and Von Bertalanffy (NLMVB). Seventy birds of each genotype were used. Each bird was identified to record its weight from 7 to 210 d of age. Parameters of each model were estimated through NLIN procedure (Marquardt's algorithm) of SAS. The next goodness-of-fit criteria were calculated: adjusted determination coefficient, Akaike information criterion and Bayesian information criterion. Growth initial rate ( $d^{-1}$ ) was lower in MXC birds (0.047 15) than in RIR (0.071 69) or HLB (0.052 16) chickens. Rate of decay was lower in MXC birds with all the four models. Likewise, age of maximum growth (d) of MXC, RIR and HLB birds ranged from 49.4 to 87.9, 60.7 to 81.6, and from 58.7 to 87.8, respectively. On the other hand, the asymptotic weight (g) ranged from 2 068.5 to 2 644.3, 1 902.4 to 2 250.9, and from 2 096.3 to 2 464.5 in MXC, RIR and HLB birds, respectively. The best adjustment of RIR and HLB data was obtained with NLMVB, in contrast, NLMR was a better model for MXC birds, followed by NLMVB. The NLMVB would be the most suitable model for the simultaneous analysis of growth of MXC, RIR and HLB birds.

**Key words:** Growth curve, nonlinear models, Creole birds, Layer birds.

## INTRODUCCIÓN

México destaca a nivel global por ser uno de los países líderes en producción de huevo para plato, asimismo es la nación con mayor consumo per cápita de dicho producto (UNA 2021). Se reconocen tres sistemas de producción de huevo para consumo humano: intensivo, semi-intensivo y familiar o de patio (Cuca-García *et al.* 2015, Ahmad *et al.* 2019). Las diferencias entre ellos van desde el nivel tecnológico utilizado hasta el mercado objetivo (Jiménez-Jiménez *et al.* 2019). Uno de los mayores distintivos de cada sistema, es el ave con el que se produce el huevo. Mientras que en los sistemas intensivo y semi-intensivo se trabaja con estirpes de aves especializadas, producto de complejos programas de selección y cruzamiento (Kumar *et al.* 2018), en el sistema familiar o de patio, la base de la producción es la gallina Criolla (*Gallus gallus domesticus*) y en algunos casos, también se utilizan razas de gallinas como la Rhode Island Red y la Plymouth Rock Barrada (González-Cerón *et al.* 2020). Independientemente del genotipo del ave productora de huevo, su proceso de crianza influirá en el desempeño productivo (Estrada y Restrepo 2015). La crianza de la polla implica por sí mismo un proceso de crecimiento desde el nacimiento, hasta la edad en la que se espera tenga un peso corporal adecuado para ser susceptible de ser estimulada, a través de programas de luz y de alimentación, con el fin de iniciar la producción de huevo (Jácome *et al.* 2014).

El crecimiento puede definirse como el aumento de masa corporal en determinado tiempo, éste puede estudiarse mediante modelos cuyos parámetros tienen una interpretación biológica (Aggrey 2002), algunos de los parámetros estimados en ellos son: peso al nacimiento ( $W_0$ ), tasa de crecimiento inicial (L), tasa de decaimiento (K), edad al máximo crecimiento ( $t_i$ ) y peso asintótico ( $W_A$ ). Los modelos utilizados para el estudio del crecimiento de aves de interés zootécnico son: Gompertz-Laird, Logístico, Richards y Von Bertalanffy (Narinç *et al.* 2017). En este sentido, Norris

*et al.* (2007) describieron el crecimiento de aves nativas Venda y aves con cuello desnudo, de 1 a 147 días de edad, con los modelos Gompertz, Logístico y Richards, concluyen que el modelo Gompertz fue el más apropiado. En contraste, Galeano-Vasco y Cerón-Muñoz (2013), reportaron en pollas Lohmann LSL, hasta 196 días de edad, que el modelo Von Bertalanffy fue el que mejor ajustó los datos de crecimiento. Respecto al modelaje del crecimiento de aves Rhode Island Red, Kausar *et al.* (2016) encontraron en aves de 0 a 84 días de edad, que con el modelo Gompertz se obtenía un mejor ajuste de los datos. Silva *et al.* (2016), utilizaron el modelo Gompertz para estudiar el crecimiento de hembras Hy-Line Brown, de 0 a 126 d de edad. En cuanto al estudio del crecimiento de aves Criollas Mexicanas, se ha encontrado que el modelo Von Bertalanffy es el que mejor ajustó a la curva de crecimiento de aves CMX (Mata-Estrada *et al.* 2020). No obstante lo anterior, no existen antecedentes de estudios simultáneos del crecimiento de aves de estirpe comercial, Criollas Mexicanas y Rhode Island Red.

Como ya se señaló, aunque cada sistema de producción de huevo se caracteriza por utilizar genotipos específicos de aves, hoy en día existen iniciativas que buscan impulsar la producción avícola de huevo en sistemas familiares con base no sólo en aves Criollas sino también con aves de estirpes especializadas (Juárez *et al.* 2000). Lo anterior, aunado al limitado conocimiento que aún se tiene sobre el proceso de crecimiento de aves Criollas Mexicanas, hace necesario el estudio de ello, considerando de manera simultánea dicho recurso genético avícola de nuestro país y estirpes especializadas de aves. En el presente trabajo se parte de la hipótesis de que aves Criollas Mexicanas y aves de estirpes especializadas describen un crecimiento diferenciado. Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue caracterizar el crecimiento de aves Criollas Mexicanas (CMX), Hy-Line Brown (HLB) y Rhode Island Red (RIR) mediante los modelos Gompertz-Laird, Logístico, Richards y Von Bertalanffy, determinar cuál de ellos es el más adecuado para cada caso y para un análisis conjunto.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Lugar y periodo

El trabajo se desarrolló en la Granja Avícola Experimental del Departamento de Zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Estado de México, México, de marzo a septiembre de 2021. El clima de la región es templado subhúmedo, el más seco de los subhúmedos, con temperatura media anual de 15.2 °C, precipitación media anual de 636.5 mm, y lluvias en verano de junio a octubre (García 2004).

### Animales y manejo

Se obtuvieron 70 pollitas CMX al nacimiento, a partir de 20 gallos y 80 gallinas de una población experimental (Mata-Estrada *et al.* 2020) bajo apareamiento aleatorio (inseminación artificial de cuatro hembras por cada macho). Por otro lado, se adquirieron 70 pollitas RIR y 70 HLB de una planta incubadora comercial. Cada animal fue individualmente etiquetado para llevar el registro de su peso vivo de 7 a 210 días de edad. Las aves fueron alojadas hasta los 35 días de edad en criadoras eléctricas de batería con una temperatura de recepción de 32 °C que fue disminuyendo 2 °C por semana hasta alcanzar la temperatura ambiente. Posteriormente, las aves continuaron su crianza en piso cubierto con cinco centímetros de cama de viruta de madera, a razón de cinco aves por metro cuadrado, en una caseta de ambiente natural con cortinas laterales móviles. El agua y alimento se ofrecieron *ad libitum*. Se utilizaron tres tipos de alimento elaborados a base de maíz y pasta de soya: iniciación (2 955 kcal de energía metabolizable (EM) kg<sup>-1</sup> de alimento, 19.1% proteína cruda (PC) kg<sup>-1</sup> de alimento), del nacimiento a 42 días de edad; crecimiento-desarrollo (2 851 kcal de EM kg<sup>-1</sup> de alimento, 16.3% PC kg<sup>-1</sup> de alimento), de 43 a 126 días de edad y producción (2 880 kcal de EM kg<sup>-1</sup> de alimento, 17.9% PC kg<sup>-1</sup> de alimento), de 127 a 210 días de edad. Cada ave fue pesada semanalmente en una báscula Ohaus Ranger Count 3000 (OHAUS Corporation, USA) con capacidad de 15 kg y resolución de 5 g. Al final del

período de observación se obtuvieron 1 918, 1 106 y 2 016 datos de peso vivo de las aves CMX, RIR y HLB, respectivamente. Las diferencias en el número de observaciones de aves RIR respecto a CMX y HLB se debieron a la baja de algunos individuos por el ataque de un depredador.

### Modelos de crecimiento

Con cada conjunto de datos, se estimaron los parámetros de crecimiento y criterios de bondad de ajuste [coeficiente de determinación ajustado (AR<sup>2</sup>), criterio de información de Akaike (AIC) y criterio de información Bayesiana (BIC)] de los modelos Gompertz-Laird, Logístico, Richards, y Von Bertalanffy.

### Modelo Gompertz-Laird (MNGL)

El modelo describe la curva de crecimiento de Gompertz-Laird:

$$W_t = W_0 \exp \left[ (L/K) (1 - \exp(-Kt)) \right]$$

Donde:  $W_t$  es el PV del ave a un tiempo  $t$ ;  $W_0$  es el PV al nacimiento (g),  $\exp$  es la función exponencial [ $\exp(1) = e^1 = 2.718\ 281\ 83$ ],  $L$  es la tasa específica de crecimiento inicial [(g día<sup>-1</sup>) g<sup>-1</sup> = día<sup>-1</sup>],  $K$  es la tasa específica de crecimiento de maduración [(g día<sup>-1</sup>) g<sup>-1</sup> = día<sup>-1</sup>] (Laird *et al.* 1965, Aggrey 2002). La edad al máximo crecimiento o en el punto de inflexión ( $t_i$ , d) y el peso asintótico ( $W_A$ , g) se estimaron de la siguiente manera:

$$t_i = \left( \frac{1}{K} \right) \ln \left( \frac{L}{K} \right) \text{ y } W_A = W_0 \exp \left( \frac{L}{K} \right)$$

### Modelo Logístico (MNL)

La ecuación describe de crecimiento logístico fue:

$$W_t = W_A / [1 + \exp - K (t - t_i)]$$

Donde:  $W_t$  es el PV a determinado tiempo  $t$ ,  $W_A$  es el peso asintótico o peso a la madures,  $K$  es la tasa específica de crecimiento de maduración [(g día<sup>-1</sup>) g<sup>-1</sup> = día<sup>-1</sup>],  $t_i$  es la edad al punto de inflexión (Robertson 1923, Aggrey 2002).

### Modelo Richards (MNR)

Ecuación del modelo de crecimiento de Richards es la siguiente:

$$W_t = W_A \left[ 1 - (1 - m) \exp\left[-K(t - t_i)/m^{m(1-m)}\right] \right]^{1/(1-m)}$$

Donde:  $W_t$  es el PV del ave a determinado tiempo  $t$ ,  $W_A$  es el peso asintótico o peso maduro,  $K$  es la tasa específica de crecimiento de maduración en  $t_i$ , con respecto a  $W_A$  [(g día<sup>-1</sup>) g<sup>-1</sup> = día<sup>-1</sup>],  $t_i$  es la edad a la tasa de crecimiento máxima o en el punto de inflexión (d), y  $m$  es un parámetro de forma, con la propiedad de que  $m^{1/(1-m)}$  es la relación de peso en  $t_i$  a  $W_A$  (Richards 1959, Aggrey 2002).

### Modelo Von Bertalanffy (MNVB)

La ecuación del modelo de crecimiento de Von Bertalanffy es la siguiente:

$$W_t = W_A * (1 - B * \exp^{-K*t})^3$$

Donde:  $W_t$  es el BW del ave en el tiempo  $t$ ,  $W_A$  es el peso asintótico o peso maduro,  $K$  es la tasa específica de crecimiento de maduración [(g día<sup>-1</sup>) g<sup>-1</sup> = día<sup>-1</sup>] y  $B$  es una constante de integración. La edad a la tasa máxima de crecimiento o la edad en el punto de inflexión ( $t_i$ ) y PV en la edad del punto de inflexión ( $WI$ ), se estiman de la siguiente manera:  $t_i = \ln(3B)/K$  y  $WI = W_A * 8/27$  (Bertalanffy 1957, Goshu y Koya 2013).

### Análisis estadístico

Los datos fueron analizados usando el procedimiento PROC NLIN (algoritmo de Marquardt) de SAS version 9.3 (SAS 2011). Tres criterios fueron utilizados para seleccionar el mejor modelo en cada genotipo: 1) coeficiente de determinación ajustado,  $R^2$  ajustado =  $1 - [(n-1)(1-R^2)]/(1-q)$ ; 2) criterio de información Akaike,  $AIC = n \cdot \ln(SCE/n) + 2q$ ; y 3) criterio de información Bayesiana,  $BIC = n \cdot \ln(SCE/n) + q \cdot \ln(n)$ . De acuerdo con el criterio de bondad de ajuste correspondiente,  $R^2$  es el coeficiente de determinación,  $q$  es el número de parámetros del modelo,  $n$  es el número de observaciones,  $SCE$  es la suma del cuadrado del error y  $\ln$  es el logaritmo natural. Cuanto mayor sea el  $AR^2$  y menor sean los valores

de AIC y BIC, mejor se considerará el modelo (Leeb y Pötscher 2009).

## RESULTADOS

Los pesos iniciales observados variaron entre genotipos, los valores registrados en aves CMX fueron inferiores en 8.6 y 16.4 g en comparación con las aves RIR y HLB, respectivamente (Tabla 1). Asimismo, el peso vivo final de las aves CMX fue superior (40.2 g) al de las aves HLB e inferior (103.6 g) al peso de las aves RIR.

**Tabla 1.** Medias y desviaciones estándar de peso vivo de aves Criollas, Rhode Island Red y Hy-Line Brown de 7 a 210 días de edad.

Edad (días)	Peso vivo (g)		
	Aves Criollas (n = 70)	Rhode Island Red (n = 70)	Hy-Line Brown (n = 70)
7	58.3 ± 8.8	66.9 ± 12.1	74.7 ± 6.1
14	183.3 ± 18.7	103.4 ± 18.1	138.1 ± 11.7
21	241.4 ± 24.7	155.3 ± 27.1	217.7 ± 16.6
28	318.8 ± 32.4	229.8 ± 40.1	316.8 ± 24.5
35	392.6 ± 53.0	300.7 ± 59.6	395.4 ± 25.1
42	494.8 ± 55.0	408.4 ± 80.6	486.0 ± 35.4
49	587.0 ± 55.0	484.9 ± 86.0	582.9 ± 36.1
56	672.8 ± 55.6	585.5 ± 92.0	663.8 ± 54.4
63	762.4 ± 64.4	696.9 ± 97.6	702.0 ± 55.9
70	856.1 ± 81.0	823.1 ± 112.5	851.4 ± 73.4
77	962.7 ± 121.2	921.0 ± 106.9	963.6 ± 86.1
84	985.8 ± 162.0	1013.6 ± 128.5	1066.1 ± 84.4
91	1 075.8 ± 156.4	1 044.0 ± 114.7	1 155.6 ± 89.9
98	1 214.9 ± 171.1	1 112.3 ± 142.4	1 207.6 ± 96.0
105	1 273.5 ± 162.3	1 233.3 ± 143.8	1 329.0 ± 83.4
112	1 344.8 ± 162.8	1 322.7 ± 138.5	1 359.0 ± 89.2
119	1 398.9 ± 176.2	1 400.0 ± 143.6	1 380.0 ± 112.4
126	1 482.9 ± 196.9	1 466.7 ± 142.6	1 393.3 ± 95.0
133	1 534.8 ± 205.9	1 556.0 ± 156.1	1 518.0 ± 131.9
140	1 571.5 ± 212.1	1 606.7 ± 172.7	1 731.2 ± 167.3
147	1 643.2 ± 189.1	1 696.0 ± 197.9	1 751.1 ± 149.4
154	1 730.3 ± 217.5	1 774.7 ± 203.3	1 830.2 ± 124.5
161	1 796.0 ± 224.9	1 850.7 ± 191.4	1 822.3 ± 163.5
168	1 808.0 ± 336.6	1 937.3 ± 200.6	1 894.2 ± 119.8
175	1 901.4 ± 234.9	1 970.7 ± 249.7	1 921.0 ± 123.0
182	1 919.1 ± 266.3	2 014.3 ± 213.8	1 971.3 ± 166.6
189	1 946.0 ± 286.6	2 071.4 ± 202.1	1 976.3 ± 180.8
196	1 999.8 ± 255.2	2 141.4 ± 231.1	2 049.1 ± 206.4
203	2 015.5 ± 272.3	2 148.6 ± 236.6	2 021.7 ± 141.3
210	2 076.3 ± 253.2	2 179.9 ± 236.0	2 036.1 ± 152.8

$n$  = número de aves.

El MNGL sobreestimó el peso al nacimiento en las aves CMX y HLB (Tabla 2). La tasa de crecimiento inicial en aves CMX fue menor (0.047 15 d<sup>-1</sup>) que en aves RIR (0.071 69 d<sup>-1</sup>) y HLB (0.052 16 d<sup>-1</sup>). Con los cuatro modelos estudiados, se observó una

**Tabla 2.** Parámetros estimados para el modelo Gompertz-Laird, Logístico, Richards, y Von Bertalanffy en la curva de crecimiento de aves Criollas (n = 70), Rhode Island Red (n = 70) y Hy-Line Brown (n = 70).

Modelo	Aves Criollas (N = 1918)	Rhode Island Red (N = 1106)	Hy-Line Brown (N = 2016)
Gompertz-Laird			
Peso al nacimiento PV ( $W_0$ , g)	111.5	50.2	95.3
Tasa específica de crecimiento inicial ( $L$ , día <sup>-1</sup> )	0.04715	0.07169	0.05216
Tasa de decaimiento o de maduración ( $K$ , día <sup>-1</sup> )	0.01563	0.01922	0.01642
Edad de crecimiento máximo ( $t_i$ , día)	70.6	68.5	70.4
Peso asintótico ( $W_A$ , g)	2 274.6	2 091.2	2 286.3
AR <sup>2</sup>	0.91988	0.88532	0.96704
AIC	25 286.2	13 700.5	24 923.8
BIC	25 308.4	13 720.5	249 46.3
Logístico			
Tasa de decaimiento o de maduración ( $K$ , día <sup>-1</sup> )	0.02625	0.03413	0.02728
Edad de crecimiento máximo ( $t_i$ , día)	87.9	81.6	87.8
Peso asintótico ( $W_A$ , g)	2 068.5	1 902.4	2 096.3
AR <sup>2</sup>	0.91500	0.87892	0.96278
AIC	25 408.7	13 931.7	25 168.8
BIC	25 431.0	13 951.7	25 191.3
Richards			
Tasa de decaimiento o de maduración ( $K$ , día <sup>-1</sup> )	0.00492	0.00637	0.00556
Edad de crecimiento máximo ( $t_i$ , día)	49.4	60.9	58.7
Peso asintótico ( $W_A$ , g)	2 644.3	2 245.1	2 464.5
Parámetro de forma ( $m$ )	0.41601	0.67557	0.61751
AR <sup>2</sup>	0.92110	0.88589	0.96759
AIC	25 253.7	13 726.6	24 890.9
BIC	25 281.5	13 751.6	24 918.9
Von Bertalanffy			
Tasa de decaimiento o de maduración ( $K$ , día <sup>-1</sup> )	0.01199	0.01429	0.01267
Edad de crecimiento máximo ( $t_i$ , día)	60.6	60.7	60.5
Peso asintótico ( $W_A$ , g)	2 434.7	2 250.9	2 434.2
Constante de integración ( $B$ )	0.68976	0.79302	0.71738
PV a la edad del punto de inflexión ( $W_I$ , g)	721.4	666.9	721.3
AR <sup>2</sup>	0.92087	0.88599	0.96760
AIC	25 259.7	13 653.2	24 889.6
BIC	25 282.0	13 673.2	24 912.0

n = tamaño de la muestra; N = número total de datos; PV = peso vivo; AR<sup>2</sup> = coeficiente de determinación ajustado; AIC = Criterio de información Akaike; BIC = criterio de información Bayesiana. Cuanto mayor sea el AR<sup>2</sup>, y cuanto menor sean los valores de AIC y BIC, mejor se consideró el modelo.

menor tasa de decaimiento en aves CMX, respecto a los otros genotipos (Tabla 2).

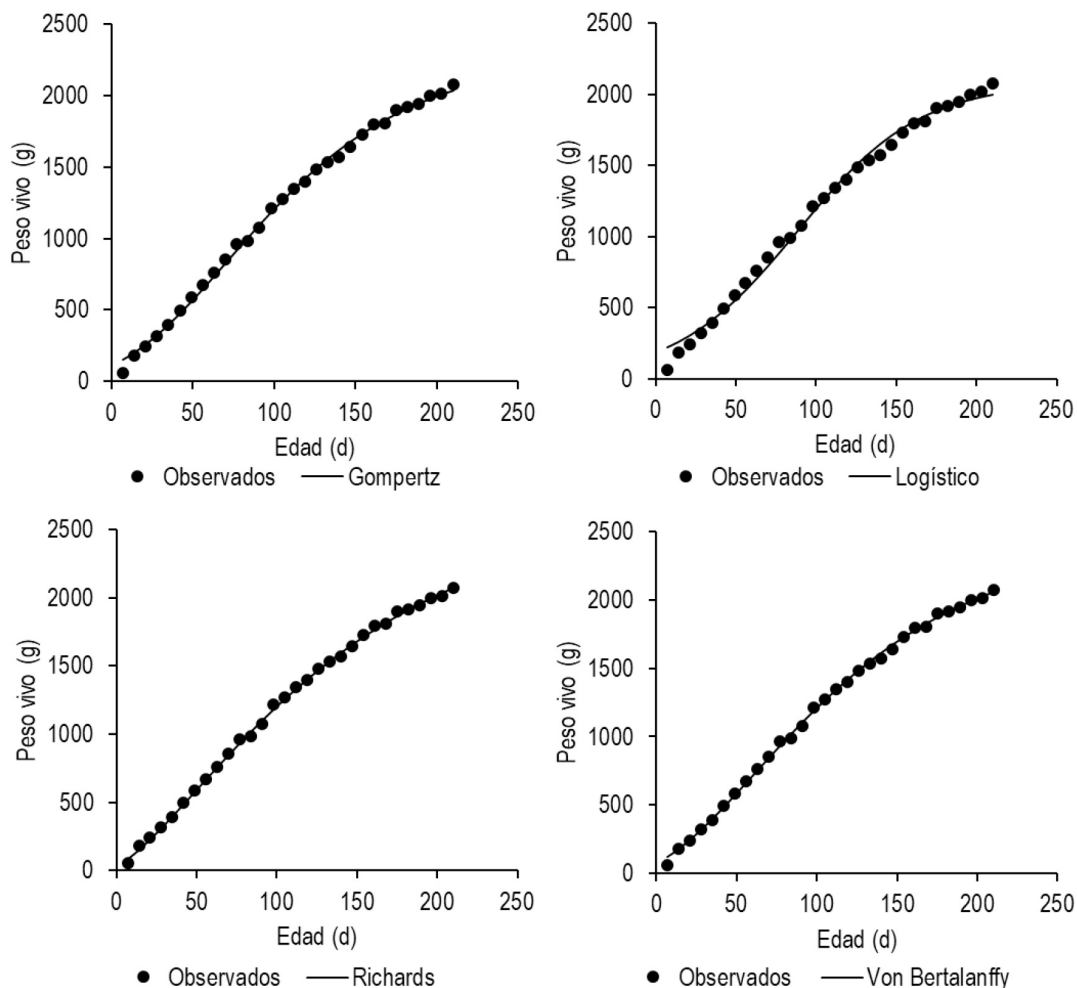
Observando los cuatro modelos, la edad al máximo crecimiento en las aves CMX, RIR y HLB, varió de 49.4 a 87.9 días, de 60.7 a 81.6 días y de 58.7 a 87.8 días, respectivamente. El MNR estimó el menor valor de  $t_i$ , en las aves CMX y HLB, mientras que lo correspondiente para las aves RIR se obtuvo con el MNVB. En contraste, con el MNL se obtuvieron los estimadores más altos de  $t_i$ , para los tres genotipos de aves estudiadas.

Por otro lado, el peso asintótico ( $W_A$ ), estimado con los cuatro modelos varió de 2 068.5 a 2 644.3 g, de 1 902.4 a 2 250.9 y 2 096.3 a 2 464.5 g, en las aves CMX, RIR y HLB, respectivamente. El MNL

generó los estimadores más bajos de  $W_A$  para los tres genotipos de aves, mientras que con el MNR se obtienen los estimadores más altos para aves CMX y HLB, y con el MNVB se observó el mayor valor de  $W_A$  para aves RIR.

Con base en los tres criterios de bondad de ajuste utilizados (AR<sup>2</sup>, AIC, y BIC), se observó que con el MNVB se obtuvo el mejor ajuste de los datos de las aves RIR y HLB (Tabla 2), en contraste, esto se observó con el MNR para el caso de las aves CMX. Sin embargo, para el caso de este último genotipo de aves, el MNVB es el segundo con el que se obtiene el mejor ajuste, después del MNR, por lo que en un estudio simultáneo del crecimiento de aves CMX, RIR y HLB, probablemente el MNVB sería el más conve-





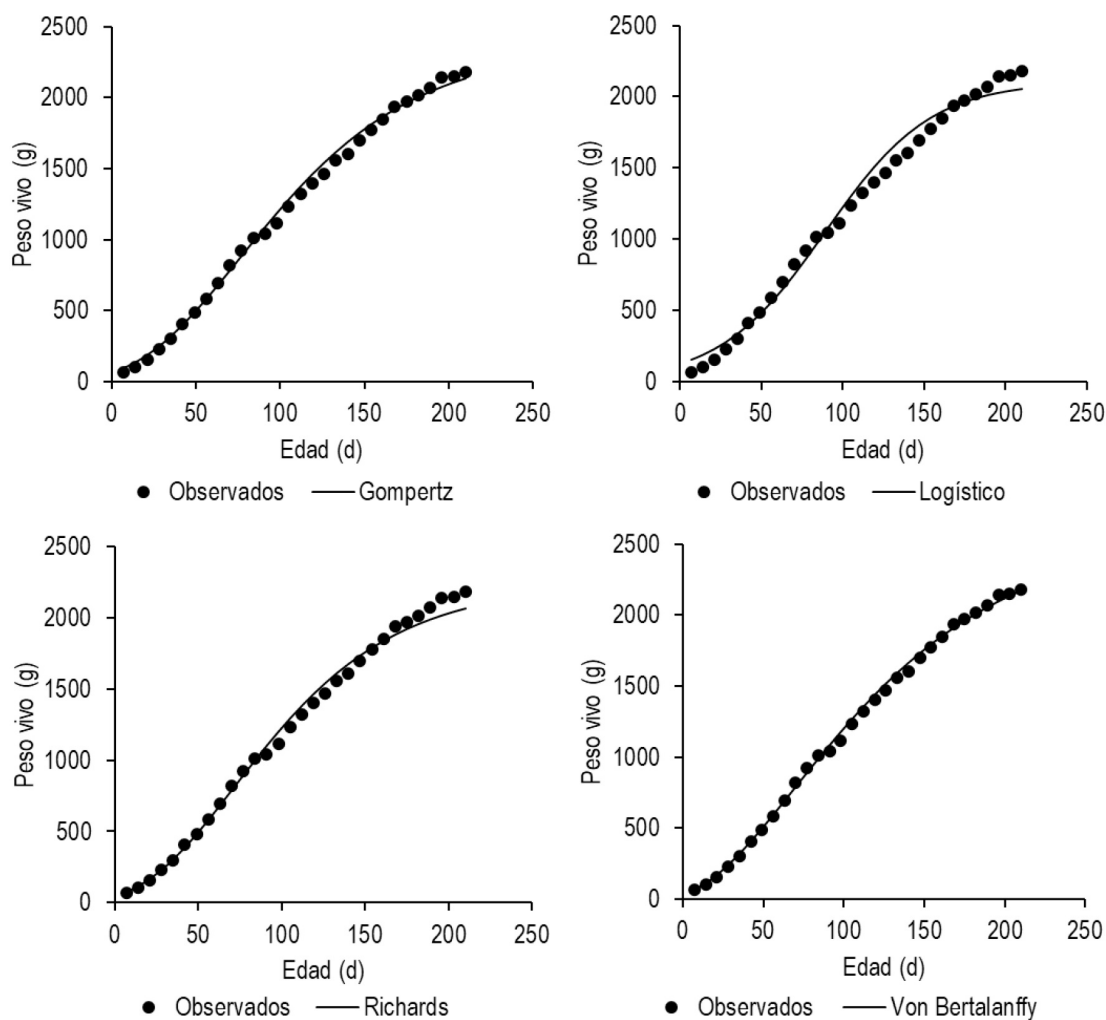
**Figura 1.** Curvas de crecimiento observadas y predichas para aves Criollas Mexicanas, con cuatro modelos no lineales.

niente (Figura 1, 2 y 3).

## DISCUSIÓN

No hay antecedentes del estudio simultáneo del crecimiento de los genotipos de aves considerados en el presente trabajo, además de que el estudio individual de cada uno de ellos también ha sido limitado. En este sentido, sólo el trabajo de Mata-Estrada *et al.* (2020) muestra resultados del crecimiento de aves CMX, los cuales difieren de los presentes, dado que en este caso el MNR resultó con el mejor ajuste, seguido del MNVB. Otras diferencias con dicho estudio se ob-

servan en los parámetros estimados para estos dos últimos modelos mencionados (Tabla 2). Respecto al MNR, estos autores obtuvieron mayores valores de máximo crecimiento relativo ( $0.0068 \text{ días}^{-1}$ ) y edad al máximo crecimiento (54.4 días), pero menor peso asintótico (2 012.8 g), mientras que con relación al MNVB, ellos estimaron valores menores para los parámetros  $t_i$ ,  $W_A$  y  $W_I$  (54.4 días, 2 011.6 y 596 g, respectivamente) y un valor mayor en el parámetro  $K$  ( $0.0152 \text{ día}^{-1}$ ), en comparación con los del presente trabajo (Tabla 2). Estas diferencias pueden explicarse por la naturaleza de las poblaciones de aves CMX de cada estudio, así como las condiciones de manejo y ambientales.



**Figura 2.** Curvas de crecimiento observadas y predichas para aves Rhode Island Red, con cuatro modelos no lineales.

Los resultados obtenidos con aves RIR, contrastan con Kausar *et al.* (2016), quienes estimaron en aves RIR, de 0 a 84 días de edad, un peso asintótico superior (2 443.8 g) al del presente caso con el MNVB y un valor inferior (1 829.2 g) con el modelo Gompertz. Pero, las tasas de maduración correspondientes fueron superiores ( $0.087$  y  $0.148 \text{ día}^{-1}$ ), en ambos modelos en comparación con los estimados en la presente investigación. De acuerdo a los criterios de bondad de ajuste ( $AR^2$  y AIC), considerados por Kausar *et al.* (2016), concluyeron que con el modelo Gompertz se obtiene un mejor ajuste de los datos, hecho que difiere de los presentes resulta-

dos, que indican un mejor ajuste por parte del MNVB (Tabla 2). Al respecto, Grossman *et al.* (1985) y Grossman y Bohren (1985) estimaron en hembras RIR, con el MNL, edades al punto de inflexión (105.7 y 109.2 días de edad, respectivamente) superiores a los observados en este estudio. La revisión de literatura realizada no arrojó resultados sobre antecedentes de la aplicación del MNR en estudios de crecimiento con aves RIR.

En relación con las aves HLB, son escasos los estudios disponibles dirigidos a la evaluación de su crecimiento con modelos no lineales. Un estudio es el de Silva *et al.* (2016), quienes estudiaron

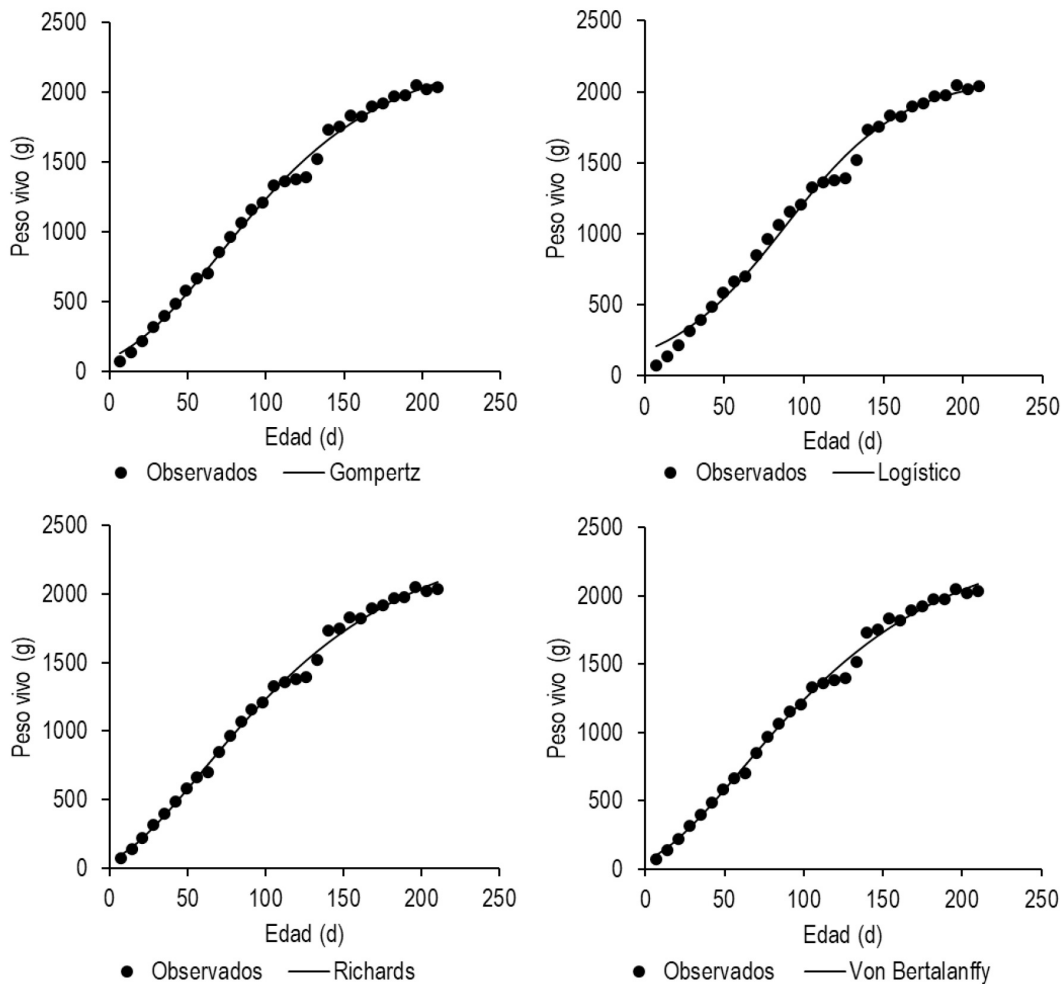


Figura 3. Curvas de crecimiento observadas y predichas para aves Hy-Line Brown, con cuatro modelos no lineales.

el crecimiento de hembras HLB, de 0 a 126 días de edad, con el modelo Gompertz y estimaron valores inferiores para los parámetros peso inicial, peso a la madurez y edad al punto de inflexión (26.7 g, 1 770.0 g, y 60.3 días, respectivamente) y un valor superior en la tasa de maduración ( $0.0238 \text{ día}^{-1}$ ), en comparación con el presente estudio (Tabla 2). Este patrón en los valores de los estimadores, también fue observado por Alves *et al.* (2019), al estudiar el crecimiento de pollas de Dekalb y Lohmann, de 0 a 126 días de edad, con el modelo Gompertz (peso inicial de 33.5 a 40.2 g, peso a la madurez de 1 253 a 1 872 g, edad al punto de inflexión de 51.9 a 57.8 días y tasa de maduración de  $0.023$  a  $0.025 \text{ día}^{-1}$ ).

De manera similar al estudio de Galeano-Vasco y Cerón-Muñoz (2013), en el presente trabajo se encontró que el MNVB es el que mejor se ajusta a los datos de peso vivo de aves productoras de huevo para plato (RIR y HLB), aunque para el caso de aves CMX, dicho modelo fue el segundo con mejor ajuste. No obstante esto último, si se busca estudiar de manera simultánea el crecimiento de aves CMX, RIR y HLB. Los resultados obtenidos (Tabla 2) indican que el MNVB sería el mejor para tal fin. Por lo anterior y con base en el MNVB, se encontró que los tres genotipos tienen valores cercanos de edad al máximo crecimiento. Este comportamiento de similitud también se observó entre las aves CMX y HLB para los



parámetros peso asintótico y peso vivo a la edad del punto de inflexión, mientras que para aves RIR dichos valores fueron ligeramente menores. Dado lo anterior, se podría implementar una misma estrategia de manejo, particularmente en términos nutricionales y de alimentación, durante la crianza de pollas CMX, RIR y HLB hasta llevarlas a producción.

### CONCLUSIONES

Con el modelo MNVB se obtuvo el mejor ajuste para los datos de peso vivo de las aves RIR y HLB, en contraste, el MNR fue mejor para las aves CMX, seguido del MNVB. El MNVB sería el más adecuado para el estudio simultáneo del crecimiento de aves

CMX, RIR y HLB. Dada la similitud de los estimadores de los parámetros del MNVB, obtenidos con los datos de los genotipos estudiados, se podría implementar una misma estrategia de manejo durante la crianza de dichas aves.

### AGRADECIMIENTOS

Los resultados son parte del proyecto de investigación "Producción, macroestructura y calidad sensorial del huevo de gallina Criolla Mexicana y Rhode Island Red", financiado por la Universidad Autónoma Chapingo A través de su Dirección General de Investigación y Posgrado, y forman parte de la tesis de licenciatura del primer autor.

### LITERATURA CITADA

- Aggrey SE (2002) Comparison of three nonlinear and spline regression models for describing chicken growth curves. *Poultry science* 81: 1782-1788.
- Ahmad S, Mahmud A, Hussain J, Javed K (2019) Productive performance, egg characteristics and hatching traits of three chicken genotypes under free-range, semi-intensive, and intensive housing systems. *Brazilian Journal of Poultry Science* 21: 1-10. DOI: 10.1590/1806-9061-2018-0935
- Alves W J, Malheiros EB, Sakomura NK, Silva EPD, Viana GDS, Reis MP, Gonçalves CA, Suzuki RM (2019) In vivo description of body growth and chemical components of egg-laying pullets. *Livestock Science* 220: 221-229.
- Bertalanffy VL (1957) Quantitative laws in metabolism and growth. *The Quarterly review of biology* 32: 217-231.
- Cuca-García JM, Gutiérrez-Arenas DA, López-Pérez E (2015) La avicultura de traspatio en México: Historia y caracterización. *Agro Productividad* 8: 30-36.
- Estrada PMM, Restrepo BLF (2015) Caracterización de parámetros productivos para líneas genéticas de ponedoras, ubicadas en zona de trópico alto. *Revista Lasallista de Investigación* 12: 46-57.
- Galeano-Vasco L, Ceron-Muñoz M (2013) Modelación del crecimiento de pollitas Lohmann LSL con redes neuronales y modelos de regresión no lineal. *Revista MVZ Córdoba* 18: 3851-3860.
- García ME (2004) Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 5ª edición. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 97p.
- González-Cerón F, Padilla-Jiménez MA, Pro-Martínez A, Alejos de la Fuente JI, Rodríguez-Ortega LT, Sosa-Montes E (2020) Egg production by hens fed with homemade or commercial concentrate in a cage-free system. *Agro Productividad* 13: 45-49.
- Goshu AT, Koya PR (2013) Derivation of inflection points of nonlinear regression curves-implications to statistics. *American Journal of Theoretical and Applied Statistics* 2: 268-272.

- Grossman M, Bohren BB (1985) Logistic growth curve of chickens: heritability of parameters. *Journal of Heredity* 76: 459-462.
- Grossman M, Bohren BB, Anderson VL (1985) Logistic growth curve of chickens: a comparison of techniques to estimate parameters. *The Journal of heredity* 76: 397-399.
- Jácome IMTD, Rossi LA, Borille R (2014) Influence of artificial lighting on the performance and egg quality of commercial layers: a review. *Brazilian Journal of Poultry Science* 16: 337-344.
- Jiménez-Jiménez RA, Rendón-Rendón MC, Chávez-Pérez LM, Soler Fonseca DM (2019) La polarización de los sistemas de producción pecuaria en México: The polarization of livestock production systems in Mexico. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 4: 31-39.
- Juárez CA, Manríquez AJA, Segura CJC (2000) Rasgos de apariencia fenotípica en la avicultura rural de los municipios de la Ribera del Lago de Pátzcuaro, Michoacán, México. *Livestock Research for Rural Development* 12: 1-6.
- Kausar H, Verma MR, Das AK, Kumar S, Sharma VB, Dilliwar L (2016) Modelling of Rhode Island Red chicken strains. *Indian Journal of Animal Sciences* 86: 612-615.
- Kumar SV, Kolluri G (2018) Selection methods in poultry breeding: from genetics to genomics. In: Liu X (ed) *Application of genetics and genomics in poultry science*. IntechOpen. London, United Kingdom. pp: 21-32.
- Laird AK, Tyler SA, Barton AD (1965) Dynamics of normal growth. *Growth* 29: 233-248.
- Leeb H, Pötscher BM (2009) Model Selection. In: Mikosch T, Kreiß JP, Davis R, Andersen T (eds) *Handbook of financial time series*. Springer. Berlin, Heidelberg. pp: 889-925.
- Mata-Estrada A, González-Cerón F, Pro-Martínez A, Torres-Hernández G, Bautista-Ortega J, Becerril-Pérez CM, Vargas-Galicia AJ, Sosa-Montes E (2020) Comparison of four nonlinear growth models in Creole chickens of Mexico. *Poultry Science* 99: 1995-2000.
- Nariç D, Öksüz NN, Aygün A (2017) Growth curve analyses in poultry science. *World's Poultry Science Journal* 73: 395-408.
- Norris D, Ngambi JW, Benyi K, Makgahlele ML, Shimelis HA, Nesamvuni EA (2007) Analysis of growth curves of indigenous male Venda and Naked Neck chickens. *South African Journal of Animal Science* 37: 21-26.
- Richards FJ (1959) A flexible growth function for empirical use. *Journal of Experimental Botany* 10: 290-300.
- Robertson TB (1923) *The chemical basis of growth and senescence*. Monographs of experimental biology. J. B. Lippincott Cie. Philadelphia, PA. 389p.
- SAS (2011) SAS/STAT<sup>®</sup> 9.3 User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc. pp: 5056-5146.
- Silva EPD, Sakomura NK, Dorigam JCP, Malheiros EB, Peruzzi NJ (2016) Adjustment of growth parameters for the major body components of pullets. *Revista Ciência Agronômica* 47: 572-581.
- UNA (2021) *Compendio de Indicadores Económicos del Sector Avícola 2020*. Dirección de Estudios Económicos. Unión Nacional de Avicultores México. <https://una.org.mx/indicadores-economicos/>. Fecha de consulta: 15 de enero de 2021.