

## Análisis y selección de modelos para ajuste de crecimiento y rendimientos de canal para pollos Broiler Cobb 500 en Cañita, Chepo

### Analysis and selection of models to fitting growth curves and carcass yield to Broiler Cobb 500 chickens in Cañita, Chepo

\*Roberto Saavedra. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Panamá. [roberto-r.saavedra-f@up.ac.pa](mailto:roberto-r.saavedra-f@up.ac.pa) <https://orcid.org/0000-0002-4531-6434>

Héctor Cedeño. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Panamá. [hector.cedenov@up.ac.pa](mailto:hector.cedenov@up.ac.pa) <https://orcid.org/0000-0001-8400-4276>

José Binns. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Panamá. [jose.binns@up.ac.pa](mailto:jose.binns@up.ac.pa) <https://orcid.org/0009-0005-2803-942X>

Richard Mudarra. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Panamá. [richard.mudarra@up.ac.pa](mailto:richard.mudarra@up.ac.pa) <https://orcid.org/0000-0002-4927-1202>

Marilys Quintero. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Panamá. [marilys.quintero@up.ac.pa](mailto:marilys.quintero@up.ac.pa) <https://orcid.org/0000-0001-8660-9113>

Kelly Bordones. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Panamá. [kelly.bordones@up.ac.pa](mailto:kelly.bordones@up.ac.pa) <https://orcid.org/0009-0003-0717-3473>

Mélida Quintero. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Panamá. [melida.quintero-m@up.ac.pa](mailto:melida.quintero-m@up.ac.pa) <https://orcid.org/0000-0003-0261-4578>

Tamara Pimentel. Universidad Nacional, Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar, Costa Rica. [tamara.pimentel.gonzalez@est.una.ac.cr](mailto:tamara.pimentel.gonzalez@est.una.ac.cr) <https://orcid.org/0000-0002-5861-2910>

\*Autor de Correspondencia: [roberto-r.saavedra-f@up.ac.pa](mailto:roberto-r.saavedra-f@up.ac.pa)

Recibido: 16/03/2026

Aceptado: 12/05/2026

DOI <https://doi.org/10.48204/j.ia.v8n2.a10100>

**RESUMEN.** El objetivo de este estudio fue comparar el ajuste de seis funciones no lineales para el peso vivo en pollos Cobb 500 respecto a su edad, para obtener estimaciones de parámetros relacionados al crecimiento de las aves, considerando cuatro estructuras de varianza residual diferentes, y modelar los rendimientos de canal, respecto a la variable peso vivo y a la canal. Se realizó un experimento en 2025, con registros de pesos vivos, a la canal y rendimientos de canal de 65 aves, durante 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49 y 56 días de edad, y se ajustan las funciones de Brody, von Bertalanffy, Gompertz, Logística, Verhulst y Weibull a los pesos vivos, mientras se ajusta rendimientos a la canal mediante modelos de superficie de respuesta lineal, cuadrático y con interacción. La estructura de varianza residual heterocedástica mejora el ajuste de las funciones respecto al escenario homocedástico, pues considera el aspecto biológico del aumento de variación de los pesos ( $p < 0.05$ ) al aumentar la edad de las aves. De las funciones ajustadas, según los AIC y BIC, la función de Weibull tuvo mejor desempeño, con la estructura de varianza potencial. Igualmente, el modelo de superficie de respuesta de grado dos obtuvo mejor ajuste del rendimiento de canal respecto al peso vivo y canal. En conclusión, ajustes de curvas de crecimiento para peso vivo y modelos de superficie de respuesta para modelar el rendimiento a la canal, permite estimar parámetros zootécnicos de importancia para la toma de decisiones en programas avícolas.

**PALABRAS CLAVE:** heterocedasticidad, iteración, mínimos cuadrados, peso asintótico.

**ABSTRACT.** The objective of this study was to compare the fit of six nonlinear functions for live weight in Cobb 500 chickens with respect to age, to obtain estimates of parameters related to bird growth, considering

four different residual variance structures, and to model carcass yields with respect to live weight and carcass weight. An experiment was conducted in 2025, with records of live weights, carcass weights, and carcass yields of 65 birds at 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49, and 56 days of age. The Brody, von Bertalanffy, Gompertz, Logistic, Verhulst, and Weibull functions were fitted to live weights, while carcass yields were fitted using linear, quadratic, and interaction response surface models. The heteroscedastic residual variance structure improves the fit of the functions compared to the homoscedastic scenario, as it considers the biological aspect of the increased variation in weights ( $p < 0.05$ ) with increasing age of the birds. Of the fitted functions, according to the AIC and BIC, the Weibull function performed best, with the potential variance structure. Similarly, the second-degree response surface model obtained the best fit of carcass yield with respect to live and carcass weight. In conclusion, fitting growth curves for live weight and using response surface models to model carcass yield allows for the estimation of important zootechnical parameters for decision-making in poultry programs.

**KEYWORDS:** asynthetic weight, heterocedascity, iteration, least square.

## INTRODUCCIÓN

La producción avícola en Panamá es fundamental dentro del sector agropecuario local, pues según INEC (2024), en Panamá existen cerca de 4,030 productores de pollos de carne, y esto representa un sacrificio aproximado de 112 millones pollos anualmente en 2024, según la FAO (2024), representando 198,283.91 toneladas cárnicas. Aunado a esto, la carne de pollo representa la mayor fuente proteica de los panameños, ya que según datos de las FAO (2024), hubo un consumo aproximado de 50.01 kg per cápita anual.

Dentro de los sistemas productivos en Panamá, una de las razas más populares y utilizadas es la raza Cobb 500, dado que es una de las más populares mundialmente como raza de engorde, por su eficiencia en conversión alimenticia, lo que otorga una ventaja para cualquier productor, porque su precocidad disminuye los altos costos de producción, en especial respecto a la alimentación (Marcu et al., 2013). Varios estudios destacan las bondades productivas de esta raza (Rosero +i., 2012; Pascalau et al., 2017) respecto a su alta ganancia de peso y eficiente conversión alimenticia.

Un aspecto importante para cualquier producción avícola es el estudio de las variables morfológicas (entre ellas el peso vivo) y su relación con su edad, y una forma de cuantificar esta relación es a través del ajuste de curvas de crecimiento, en el cual, mediante funciones matemáticas, se pueden estimar valores de variables de respuesta, como lo es el peso vivo, respecto a su edad, para un o un conjunto de aves. Para el propósito de ajustar las curvas de crecimiento, se han generado funciones basadas en soluciones de ecuaciones diferenciales, que permiten obtener parámetros importantes en el ciclo de en el que se relaciona la tasa de crecimiento con la edad del individuo y ciertos parámetros productivos y cuya solución permite establecer una ecuación para el peso vivo en función de su edad y de valores fijos, conocidos como parámetros, los cuales en muchas veces son desconocidos, por lo que deben estimarse mediante métodos numéricos. Es común observar un aumento en la variación de los pesos a lo largo de la edad del animal, que va desde una baja variación en la fase inicial del animal, y va incrementando a medida que aumenta la edad (Mazucheli et al., 2011; Demuner et al., 2017).

Estas curvas parten de un peso inicial correspondiente a la fecha de nacimiento, el cual va aumentando a medida que avanza la edad hasta llegar a un tiempo donde la tasa de crecimiento se va ralentizando (tiempo de inflexión) hasta llegar a una estabilización de su peso, la cual corresponde a su edad adulta (peso de madurez), los cuales se definen en función de los parámetros estimados de  $\alpha$  (peso de madurez),  $\beta$  (parámetro de edad),  $\kappa$  (parámetro de madurez) y  $m$ . Mediante estos parámetros, se pueden estimar indicadores de importancia acerca del crecimiento de las aves, como son el peso asintótico, la tasa de crecimiento, la tasa de maduración, el tiempo y el peso de inflexión.

El peso asintótico o de madurez de cada animal se refiere al peso que tendrá cada ave cuando tiene su edad de mayor expectativa de vida ( $t \rightarrow \infty$ ), y matemáticamente expresado como la asíntota horizontal de la función no lineal dado los parámetros del modelo estimados, expresado como el límite al infinito del tiempo  $t$  para la función  $y$ ;  $\lim_{t \rightarrow \infty} f(t; \beta) = \alpha$ . La tasa de crecimiento se refiere a la ganancia de peso de cada animal respecto a un intervalo de tiempo dado. Matemáticamente, para una función se define su tasa de cambio como la primera derivada de dicha función, en la que se suele encontrar expresada con la notación  $y'$ ,  $f'(t)$  o  $dy/dt$ .

El tiempo de inflexión se refiere al punto en el intervalo de tiempo en la función referente a la tasa de crecimiento, en el que hay un cambio de tendencia, y la que la función debe pasar de ser creciente a decreciente, teniendo una forma cóncava hacia abajo. Matemáticamente, se determina mediante el criterio de la segunda derivada, en el cual se toma el punto de inflexión cuando tiene una pendiente igual a cero. El peso de inflexión se refiere al peso en el punto de tiempo de inflexión, en donde la curva de la tasa de crecimiento para de ser creciente a decreciente. La tasa de maduración se refiere al nivel de madurez que tiene el ave en determinada edad, respecto a su edad madura, calculada como el coeficiente entre el valor de peso estimado en el tiempo  $t$  entre el peso asintótico  $\alpha$ .

Funciones no lineales como Brody (Brody, 1945), von Bertalanffy (von Bertalanffy, 1957), Logística (Nelder, 1961), Gompertz (Winsor, 1932), Weibull (Maruyama et al., 2001) y Verhulst (Verhulst, 1847) son muy utilizadas para ajustar el crecimiento en especies de interés zootécnico, como lo son los pollos (Demuner et al., 2017; Mouffok et al., 2019; Galán et al., 2023).

El objetivo de este estudio es evaluar el ajuste de seis funciones no lineales para describir las curvas de crecimiento del peso vivo respecto a su edad, para registros de  $n$  pollos de la raza Cobb 500, desde los siete hasta los cincuenta y seis días de edad, considerando cuatro estructuras de varianza residual diferentes.

## MATERIALES Y MÉTODO

### Área de Estudio

El estudio se llevó a cabo en un galpón convencional del Centro de Investigación Agropecuario de Panamá Este (CEIAPE), de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, ubicado

en el corregimiento de Cañita, distrito de Chepo, provincia de Panamá, localizado a los 9°21'80.26" de Latitud norte y 78°84'87.41" de Longitud oeste y con una elevación de 26 msnm.

### Animales de Estudio

Se utilizaron 65 pollos de engorde, machos y hembras de aproximadamente siete años de edad ( $40.68 \pm 0.45$  gr), de la línea Cobb 500. Todos los pollos fueron sometidos al mismo plan nutricional, basado en un alimento tipo harina formulado para suplir o exceder los requerimientos nutricionales establecidos por las tablas brasileras para aves y cerdos (Rostagno et al., 2017) según las siguientes etapas: Pre-inicio (F1: 1-7 días), Inicio (F2: 8-21 días), Crecimiento (F3: 22-33 días), y Engorde (F4: 34-42 días). Todos los pollos bajo experimentación fueron sometidos al mismo protocolo de sanitario y condiciones micro ambientales. Se midieron sus pesos semanalmente, a los 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49 y 56 días de edad, utilizando una balanza digital electrónica de plataforma Lithium-Ion Scale (S12).

### Curvas de Crecimiento

Para el ajuste de las curvas de crecimiento, se ajustaron cuatro diferentes modelos de regresión no lineal, correspondientes a los modelos de Brody, Weibull, von Bertalanffy, Logística, Gompertz y Verhulst, donde ajusta cada modelo para este grupo muestral de la raza estudiada, cuyas formas algebraicas están enunciadas en la tabla 1.

**Tabla 1**

*Funciones de crecimiento no lineales*

Función	Modelo
Brody	$y_i = \alpha(1 - \beta e^{-\kappa t_i})$
Von Bertalanffy	$y_i = \alpha(1 - \beta e^{-\kappa t_i})^3$
Gompertz	$y_i = \alpha e^{-\beta e^{-\kappa t_i}}$
Logística	$y_i = \alpha(1 + e^{-\kappa t_i})^{-m}$
Weibull	$y_i = \alpha - (\alpha - \beta) e^{-\left(\frac{m-1}{m}\right)\left(\frac{t_i}{t_{inf}}\right)^c}$
Verhulst	$y_i = \frac{\alpha}{1 + \beta e^{-\kappa t_i}}$

Para las funciones de Brody, von Bertalanffy, Gompertz y Verhulst se expresan en función de los parámetros  $\theta = [\alpha, \beta, \kappa]$ , en el cual  $\alpha$  es el parámetro de peso asintótico del animal,  $\beta$  es la constante de integración (sin interpretación biológica) y  $\kappa$  es la tasa de madurez. Mientras que, para la función logística, se incluye el parámetro  $m$  (sin interpretación biológica), y para la función de Weibull, se incluye el parámetro  $m$  (sin interpretación biológica) y el parámetro  $t_{inf}$  (tiempo de inflexión). Los parámetros tasa de crecimiento para cada función correspondientes a su primera derivada, así como sus respectivos tiempos y pesos de inflexión, están presentes en la tabla 2.

**Tabla 2**

*Funciones de tasa de crecimiento, tiempo y peso de inflexión de las funciones ajustadas.*

Función	Tasa de Crecimiento
Brody	TC : $y'_i = \alpha\beta\kappa e^{-\kappa t}$ ; TI : No tiene ; PI : No tiene
von Bertalanffy	TC : $y'_i = 3\alpha\beta\kappa(1 - \beta e^{-\kappa t})^2 e^{-\kappa t}$ ; TI : $t_{inf} = \frac{\ln(3\beta)}{\kappa}$ ; PI : $y_{inf} = \frac{8\alpha}{27}$
Gompertz	TC : $y'_i = \alpha\beta\kappa e^{-(\kappa t - \beta e^{\kappa t})}$ ; TI : $t_{inf} = \frac{\ln(\beta)}{\kappa}$ ; PI : $y_{inf} = \frac{\alpha}{e}$
Logística	TC : $y'_i = \alpha\kappa m e^{-\kappa t} (1 + e^{-\kappa t})^{-(m+1)}$ ; TI : $t_{inf} = \frac{\ln(m)}{\kappa}$ ; PI : $y_{inf} = \alpha \left( \frac{m}{m+1} \right)^m$
Weibull	TC : $y'_i = (\alpha - \beta) \left[ \frac{(m-1)}{m} \left( \frac{m}{t_{inf}} \right) \left( \frac{t}{t_{inf}} \right) \right] e^{-\left( \frac{m-1}{m} \right) \left( \frac{t}{t_{inf}} \right)^m}$ ; TI : $t_{inf} = t_{inf}$ ; PI : $y_{inf} = \alpha - (\alpha - \beta) e^{-\left( \frac{m-1}{m} \right)}$
Verhulst	TC : $y'_i = \frac{\alpha\beta\kappa e^{-\kappa t}}{(1 + \beta e^{-\kappa t})^2}$ ; TI : $t_{inf} = \frac{\ln(\beta)}{\kappa}$ ; PI : $y_{inf} = \frac{\alpha}{2}$

TC: Tasa de Crecimiento; TI: Tiempo de inflexión; PI: Peso de inflexión.

Los modelos no lineales se ajustan mediante el siguiente modelo estadístico,  $y = f(t, \beta) + e$ , donde  $y$  es la variable de respuesta (Peso vivo en kilogramos),  $f(t, \beta)$  se denomina la función media del modelo con variable aleatoria  $t$  correspondiente al tiempo definido en días y  $e$  es el error aleatorio. Se asume que el vector de observaciones está distribuido de forma independiente e independiente (*iid*) normal con media  $f(t, \beta)$  y varianza  $V$ , ( $y \sim N(f(t, \beta), V)$ ), y el vector residual  $e$  están idéntica e independientemente distribuido de manera normal de la forma  $e \sim N(0, V)$ . Para efectos de ajuste de estos modelos, consideramos cuatro diferentes estructuras de varianza respecto a la matriz  $V$ : El primero se asume una estructura homocedástica, en el que cada residual tiene una distribución  $e_i \sim N(0, \sigma^2)$ , de modo que, de manera matricial, representamos  $V = I\sigma^2$ , donde  $I$  es una matriz identidad de orden  $n$ . Los otros tres escenarios consideran para  $V$ , una estructura de varianza heterocedástica, y el primero asume que la varianza residual es directamente proporcional a la edad del animal (variación producto), y para cada residual tiene una distribución  $e_i \sim N(0, t_i \sigma^2)$ . El segundo escenario de estructura de varianza residual heterocedástica asume que cada residual es directamente proporcional a la edad del animal elevado a un hiperparámetro (varianza potencial) y tiene una distribución  $e_i \sim N(0, t_i^{2\delta} \sigma^2)$ . Y el tercer escenario corresponde a una estructura de varianza heterocedástico de carácter exponencial, donde cada residual tiene una distribución  $e_i \sim N(0, e^{2\delta t} \sigma^2)$ .

### Rendimientos de Canal

Los rendimientos de canal (porcentaje) se determinan mediante el cociente entre el peso al canal del ave (retirando partes del animal como patas, cuello, vísceras, cabeza y plumas)

respecto al peso del ave al momento del sacrificio. Se modela la variable rendimientos de canal respecto a los pesos vivos al momento de sacrificio y peso al canal, mediante modelos de superficie de respuesta, asumiendo tres escenarios: el primero asume un modelo de primer orden (P1), de la forma  $y_i = \beta_0 + \sum_{i=1}^2 \beta_i x_i + e_i$ , donde  $y_i$  es el rendimiento de canal,  $\beta_0$  es el parámetro de intercepto,  $\beta_1$  y  $\beta_2$  son los parámetros de pendientes de las variables pesos vivos y peso de la canal respectivamente,  $x_1$  y  $x_2$  son las variables aleatorias de los pesos vivos y al canal respectivamente, y  $e_i$  es el error aleatorio. El segundo escenario incorporamos un parámetro de interacción (P1I) al modelo de primer orden, quedando la ecuación del modelo de la forma  $y_i = \beta_0 + \sum_{i=1}^2 \beta_i x_i + \beta_{12} x_1 x_2 + e_i$ . Y el tercer escenario asume un modelo de segundo orden (P2I), en el que la ecuación del modelo incorpora parámetros para variables elevadas al cuadrado, quedando de la forma  $y_i = \beta_0 + \sum_{i=1}^2 \beta_i x_i + \sum_{i=1}^2 \beta_{ii} x_i^2 + \beta_{12} x_1 x_2 + e_i$ . Los modelos se ajustan mediante el método de mínimos cuadrados ordinarios (OLS).

### Análisis de Datos

La estimación de los parámetros  $\hat{\theta}$  de cada modelo no lineal ajustado se hace mediante el método iterativo de Gauss – Newton con patrón de convergencia de  $\text{tol} = 0.0001$ . Para el caso de la estimación de los parámetros de los modelos lineales de regresión polinómica, se estiman mediante la metodología de mínimos cuadrados, ya sea ordinarios (OLS) para el caso del supuesto de errores homocedásticos e independientes, y generalizados (GLS) para el caso de errores con varianza heterocedástica (heterogeneidad de varianza). Para los modelos de superficie de respuesta para los ajustes de los rendimientos al canal, se estiman mediante la metodología de mínimos cuadrados ordinarios (OLS).

Para evaluar al modelo de mejor ajuste en cada subgrupo, se considera el Criterio de Información de Akaike (AIC), el Criterio de Información Bayesiano (BIC), donde estos criterios denotan que el modelo con menor valor dentro de los modelos evaluados es el de mejor ajuste. Como valor de bondad de ajuste, se considera el coeficiente de determinación ( $R^2$ ). La significancia de los parámetros se obtiene mediante el estadístico  $t$  con una significancia de  $\alpha = 0.05$ , mientras que la normalidad residual se verifica mediante la prueba de Shapiro-Wilks ( $\alpha = 0.05$ ). Finalmente se calculan los gráficos respecto a sus intervalos de predicción al 95% de confianza, mediante la forma  $IP_{95\%} = \hat{y} \pm t_{0.975, n-p} \cdot \sqrt{\mathbf{p}}$ , donde  $t_{0.975, n-p}$  es el cuantil de la distribución  $t$ ,  $\mathbf{p}$  es el vector de precisión, resultante de la diagonal de la operación  $\mathbf{R} + \mathbf{Z}_0(\mathbf{Z}_0' \mathbf{R}^{-1} \mathbf{Z}_0)^{-1} \mathbf{Z}_0'$ , donde  $\mathbf{R}$  es la matriz de varianza de las observaciones y  $\mathbf{Z}_0$  es la matriz de derivadas parciales.

Tanto el trabajo de manejo de datos, ajuste de los modelos propuestos y confección de gráficos se realiza en el lenguaje de programación R (R Core Team, 2023), en el que específicamente se ajustan los modelos heterocedásticos con el paquete nlme (Pinheiro y Bates, 2000) y los gráficos mediante el paquete ggplot2 (Wickham, 2016).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las medias de los pesos observados en gramos y sus respectivos desvíos estándares, están presentes en la tabla 3, las cuales ven un incremento en los pesos medios, con significancia estadística ( $p < 0.05$ ), a medida que aumentaba la edad de los pollos, con la excepción de los valores medios registrados en las edades entre 49 y 56 días, en la que no se encuentran diferencias significativas. Se puede observar incrementos de peso desde el día 14 de edad, respecto al día anterior, siendo los más considerables, a los 14 días de edad, con un aumento de peso de 166.96 % respecto a su registro anterior; a los 21 días, con un incremento de 125.46 % respecto a su registro anterior, y a los 28 días, con un incremento de peso de 111.98 % respecto a su edad anterior. Posterior a estas edades, si bien sigue observando ganancias de peso respecto a su edad anterior, esta ganancia se va ralentizando, llegando a ser de un 9.85 % a los 56 días de edad.

**Tabla 3**

*Valores medios de los pesos vivos  $\pm$  desvíos estándar.*

Días	Peso vivo (g) $\pm$ DE
7	79.90 <sup>g</sup> $\pm$ 4.70
14	213.30 <sup>f</sup> $\pm$ 40.05
21	480.90 <sup>e</sup> $\pm$ 56.66
28	1019.40 <sup>d</sup> $\pm$ 153.05
35	1703.70 <sup>c</sup> $\pm$ 132.58
42	2277.20 <sup>b</sup> $\pm$ 259.92
49	3170.70 <sup>a</sup> $\pm$ 331.49
56	3483.00 <sup>a</sup> $\pm$ 316.65

Letras diferentes indica diferencias significativas de Tukey ( $p < 0.05$ ) entre grupos, asumiendo heterocedasticidad por edad.

Resultados mostrados por Saavedra et al. (2024), indican que, en un experimento con la misma raza, en la provincia de Chiriquí, Panamá, se encontraron valores medios de 681.61  $\pm$  66.16 gr a los 21 días, y de 2179.53  $\pm$  186.92 gr a los 42 días, mostrando cierta similitud entre ambos experimentos. Además, se puede observar un aumento de la variación de los datos obtenidos a medida que avanza la edad de las aves, con significancia estadística ( $p < 0.05$ ) según la prueba de Levene, algo similar a lo encontrado por Mazucheli et al. (2011), Demuner et al. (2017) y Saavedra et al. (2024).

Luego de ajustar las funciones no lineales descritas en la tabla 1, y si bien es cierto, para todas las funciones se encontraron valores de  $R^2$  superiores a 0.95, según los resultados presentes en la tabla 4, en todos los ajustes asumiendo las diferentes estructuras de varianza residual considerados en este estudio, se puede observar, para cada función, variaciones marcadas entre los diferentes escenarios de estructura de varianza residual utilizados en los ajustados, basados en los resultados de los estadísticos AIC y BIC encontrados y presentes en la tabla 4, señalando que utilizar estructura de varianzas residual heterocedásticas mejora el ajuste, respecto a los ajustes asumiendo estructuras de varianza residual homocedásticas, lo cual es cónsono con la variación ascendente a medida que aumenta la edad de las aves

descrita en la tabla 3. Se destaca que los valores de AIC y BIC tienen mayor diferencia visibles entre los diferentes ajustes, y suelen ser mejor referencia como criterio de selección de modelos, respecto a los valores de  $R^2$ , cuyas diferencias se pueden visualizar en el tercer decimal, en este estudio, como lo señala Spiess y Neumeyer (2010).

Se destaca que, para cada función, los ajustes mediante una estructura de varianza residual heterocedástica potencial, fueron los que proporcionaron mejores ajustes para cada función. Además, es una ventaja el ajuste de modelos mediante estructuras de varianza heterocedásticas directamente proporcional al valor cuantitativo de su edad, ya que permite reducir la cantidad de parámetros a estimar respecto a estimar una varianza por edad muestreada, y ayudando a la eficiencia computacional del algoritmo de estimación paramétrica.

Dentro de las funciones evaluadas, basados en los resultados de AIC y BIC, se destaca que la función de Weibull tuvo mejor ajuste, para cada escenario de estructura de varianza residual utilizado en los ajustes, y particularmente en el ajuste mediante una estructura de varianza potencial, que fue la que mostró mejor ajuste en el estudio. Además, mostró mejor eficiencia computacional, al requerir menos iteraciones para lograr la convergencia del algoritmo de estimación, requiriendo cuatro iteraciones para converger bajo este escenario de varianza residual. Estudios realizados por Vitezica et al. (2010), en líneas de patos Mulard (híbridos infértiles producto del cruce de patos hembras Pekín y patos machos de Muscovia) con fin de localizar QTL en siete líneas de abuelos diferentes, encontró que, en cada línea, la función de Weibull ajustada mediante modelos no lineales mixtos con parámetros especializados por pato estudiado fue la de mejor ajuste respecto a otras funciones ajustadas.

Por otro lado, se observan que las funciones de von Bertalanffy y de Brody muestran un desempeño menor que el resto de las funciones, ya que presentan mayor variación, basados en la tabla 4, y sus valores de AIC y BIC son mayores al encontrado en las otras funciones, para cada escenario de estimación bajo estructuras de varianza residual. Cabe destacar que, bajo una estructura de varianza residual exponencial, el algoritmo no convergió. Estas funciones presentaron valores paramétricos atípicos y que no representan una sintonía con características zootécnicas de las aves, pues para el parámetro de peso asintótico, la función de Brody estima valores negativos, mientras que la función de von Bertalanffy estima valores de peso asintótico superiores a los 6,000 gramos, muy abultados para ser un peso de un ave Cobb 500, similar a lo reportado por Demuner et al. (2017) y Saavedra et al. (2024).

**Tabla 4**

*Criterios de comparación entre modelos (AIC y BIC), números de iteraciones para convergencia, desvío estándar residual y R<sup>2</sup>, y los hiperparámetros  $\delta$ , para cada función ajustada bajo su respectiva estructura de varianza, para la variable peso vivo.*

Función	$\hat{\sigma}_e$	$\theta$	AIC	BIC	R <sup>2</sup>	No. Iteración
<b>Modelo No Lineal – Estructura Homocedástica</b>						
Brody	249.20	---	1114.89	1124.41	0.9620	8
von Bertalanffy	213.18	---	1089.91	1099.74	0.9720	9
Gompertz	208.31	---	1086.22	1095.74	0.9730	6
Logística	207.34	---	1085.47	1095.00	0.9740	14
Weibull	206.59	---	1085.47	1097.76	0.9740	8
Verhulst	207.10	---	1085.28	1094.81	0.9740	4
<b>Modelo No Lineal – Estructura Heterocedástica Producto</b>						
Brody	40.95	---	1087.67	1097.19	0.959	2
von Bertalanffy	33.06	---	1053.41	1062.93	0.972	4
Gompertz	31.44	---	1045.40	1054.93	0.973	2
Logística	31.14	---	1043.87	1053.40	0.974	4
Weibull	30.94	---	1043.81	1055.73	0.974	2
Verhulst	31.49	---	1045.64	1055.17	0.971	2
<b>Modelo No Lineal – Estructura Heterocedástica Potencial</b>						
Brody	0.12	2.2053	1048.04	1059.95	0.896	18
von Bertalanffy	0.19	1.9791	1006.41	1018.32	0.954	14
Gompertz	0.18	1.9569	985.10	997.01	0.968	10
Logística	0.17	1.9600	979.31	991.22	0.971	8
<b>Weibull</b>	<b>0.17</b>	<b>1.9602</b>	<b>975.13</b>	<b>989.43</b>	<b>0.974</b>	<b>4</b>
Verhulst	0.15	2.0072	982.59	994.50	0.968	10
<b>Modelo No Lineal – Estructura Heterocedástica Exponencial</b>						
Brody			No converge			
von Bertalanffy			No converge			
Gompertz	17.16	0.0627	1005.00	1016.91	0.970	9
Logística	16.21	0.0638	1001.30	1013.21	0.972	10
Weibull	15.25	0.0652	999.50	1013.80	0.974	3
Verhulst	14.03	0.0689	1003.80	1015.71	0.967	12

AIC = Criterio de Información de Akaike, BIC = Criterio de Información Bayesiano, R<sup>2</sup> = Coeficiente de Determinación del modelo,  $\hat{\sigma}_e$  = Desvío estándar residual.

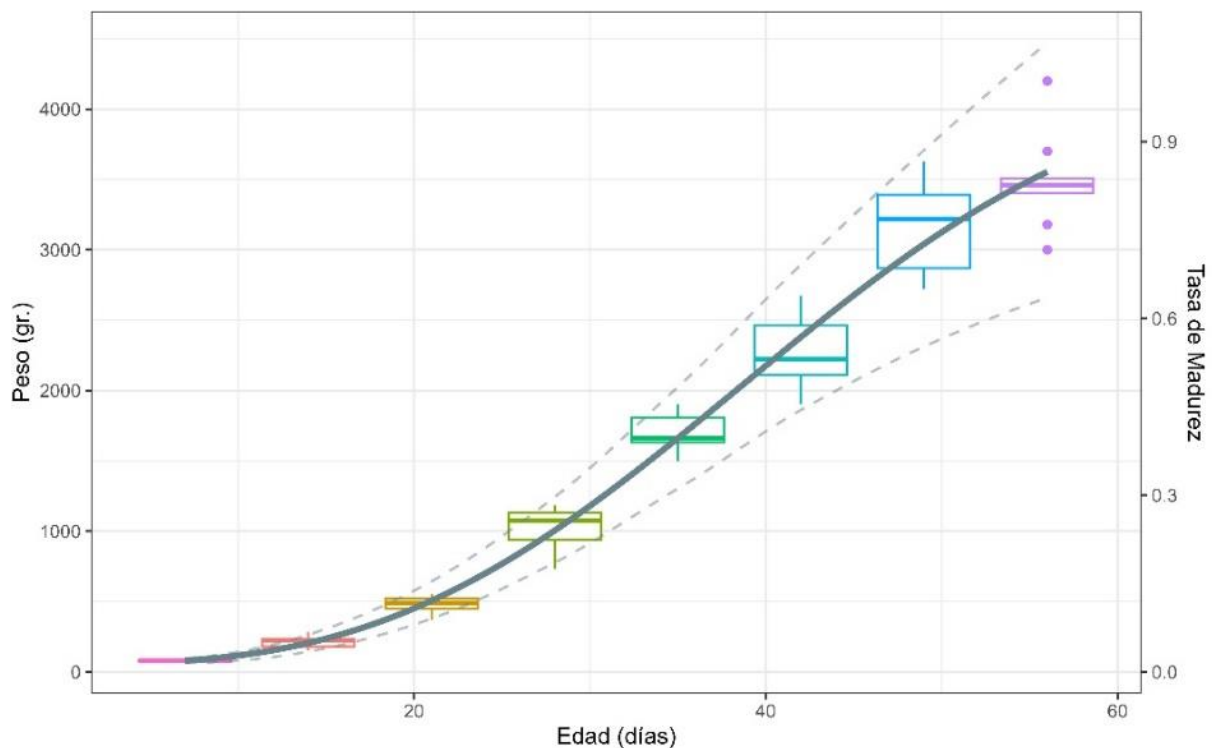
Por otro lado, los parámetros estimados para cada función, bajo los diferentes escenarios de estructura de varianza residual asumidos para la estimación paramétrica, están descritos en la tabla 5. Bajo estos parámetros estimados, podemos obtener los pesos predichos, así como los parámetros de peso asintótico, tiempo y peso de inflexión, así como la tasa de crecimiento. Destacando la función de Weibull, estimada bajo una estructura de varianza residual potencial, con  $\hat{\alpha} = 4,186.85$  gramos, y se puede determinar según las expresiones presentes en la tabla 2, el tiempo de inflexión en TI = 38.59 días, y con un peso de inflexión de PI = 2,020.31 gr, y de manera similar, Saavedra et al., (2024) reporta para aves Cobb 500, un peso asintótico estimado de 4,527.98 gr, con peso de inflexión de PI = 1,665.75 gramos en un tiempo de inflexión de TI = 39.98 días, lo cual sugiere que las mayores ganancias diarias de peso en las aves se encuentran hasta los 38-40 días, y luego estas empiezan a decrecer. Además, se encuentra una correlación positiva entre los parámetros  $\alpha$  y  $t_{inf}$  estimados ( $\rho_{\alpha, t_{inf}} =$

0.996), indicando que a medida que se estimen altos valores de tiempo de inflexión, indica un aumento en el peso asintótico estimado para las aves.

Basados en la función de Weibull presente en la tabla 1, con parámetros estimados mediante una estructura de varianza residual potencial, presentes en la tabla 4, obtenemos pesos estimados, cuya curva está esbozada en la figura 1, en el que se puede determinar  $80.01 \pm 7.71$  gr a los 7 días,  $208.29 \pm 30.00$  gr a los 14 días,  $996.05 \pm 116.73$  gr a los 28 días,  $1,649.49 \pm 180.77$  gr a los 35 días y  $3,113.39 \pm 349.60$  gr a los 49 días, valores con cierta similitud con los promedios observados en este estudio, mostrados en la tabla 3. Además, para estos valores estimados de pesos promedios, su tasa de madurez correspondiente es de 1.91 % a los 7 días, 4.97 % a los 14 días, 23.79 % a los 28 días, 39.40 % a los 35 días, 74.36 % a los 49 días y 89.05 % a los 56 días, indicando que, en este estudio, las aves estaban cerca de alcanzar su peso de madurez al momento del sacrificio, mostrando que el manejo general del sistema productivo logró que las aves alcanzaran una precocidad en sus ganancias de peso.

### Figura 1

Gráfico Box-Plot de los pesos observados (en gramos) y curva de crecimiento ajustada mediante la función de Weibull, con parámetros estimados asumiendo una estructura heterocedástica residual potencial y su respectivo intervalo de predicción al 95%.





**Tabla 5**

*Parámetros estimados ± desvíos estándares estimados de los modelos estimados bajo diferentes estructuras de covarianzas, tiempo de inflexión y peso de inflexión estimados, para la variable peso vivo (gramos).*

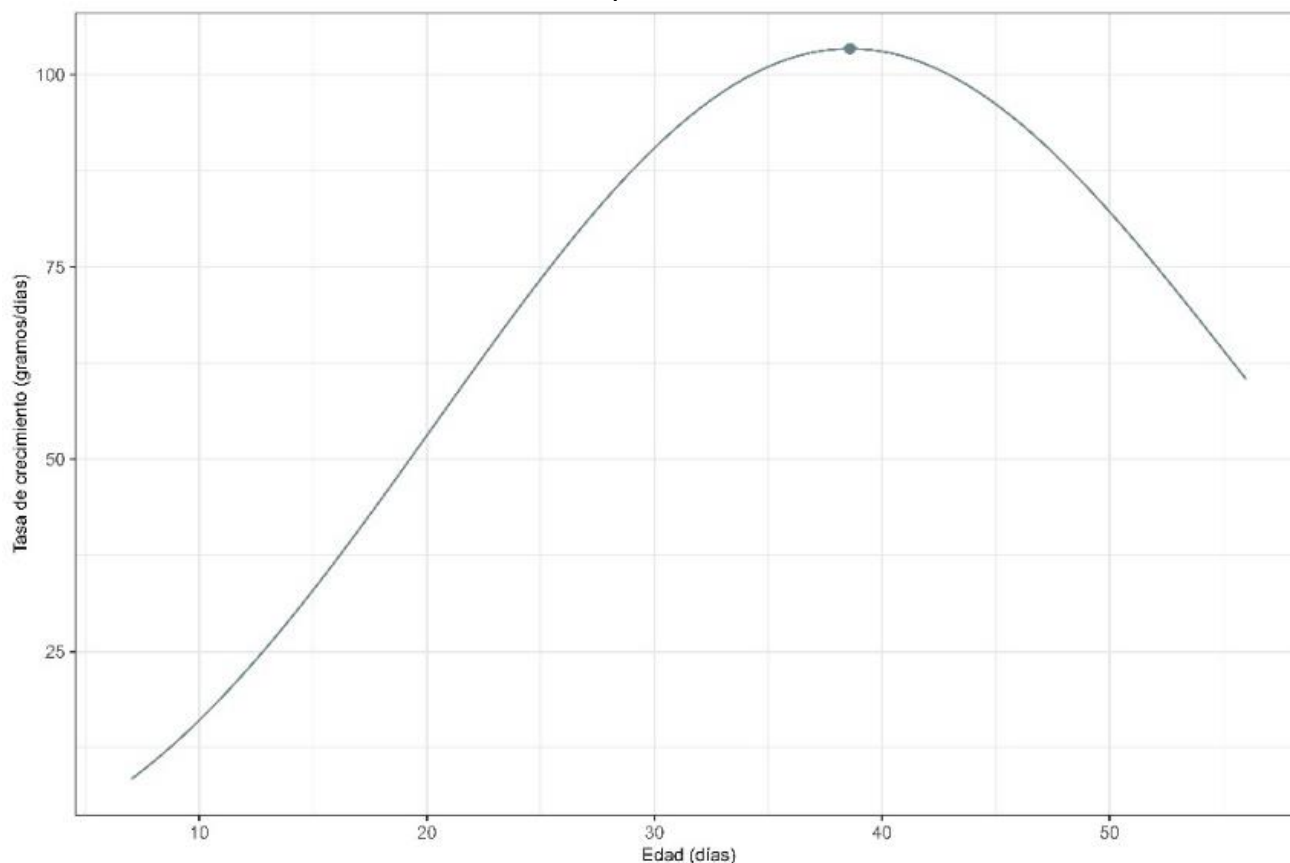
Función	$\alpha$	$\beta$	$\kappa$	$m$	TI (días)	PI (gramos)
<b>Modelo No Lineal – Estructura Homocedástica</b>						
Brody	-2715.145** ± 774.304	0.852** ± 0.020	-0.018** ± 0.003	---	No tiene	No tiene
von Bertalanffy	6482.474** ± 883.989	1.145** ± 0.098	0.033** ± 0.005	---	37.394	1920.733
Gompertz	5125.572** ± 419.303	7.055** ± 0.758	0.053** ± 0.005	---	36.863	1885.593
Logística	4881.333** ± 336.428	---	0.059** ± 0.005	9.015** ± 0.832	37.269	1890.977
Weibull	3989.051** ± 268.419	73.298 ± 58.241	---	2.988** ± 0.269	37.931** ± 1.077	1975.943
Verhulst	3983.674** ± 153.710	72.178** ± 13.853	0.112** ± 0.007	---	38.207	1991.837
<b>Modelo No Lineal – Estructura Heterocedástica Producto</b>						
Brody	-1491.940** ± 298.586	0.843** ± 0.016	-0.026** ± 0.003	---	No tiene	No tiene
von Bertalanffy	8145.488* ± 1286.518	1.028** ± 0.046	0.026** ± 0.004	---	43.316	2413.478
Gompertz	5450.112** ± 425.456	6.579** ± 0.416	0.049** ± 0.004	---	38.447	2004.984
Logística	5059.106** ± 323.548	---	0.057** ± 0.004	8.638** ± 0.478	37.828	1963.957
Weibull	4044.686** ± 269.026	64.462* ± 27.156	---	2.929** ± 0.195	38.034** ± 1.139	1984.592
Verhulst	3902.299** ± 133.073	80.665** ± 11.047	0.117** ± 0.005	---	37.524	1951.149
<b>Modelo No Lineal – Estructura Heterocedástica Potencial</b>						
Brody	-372.896** ± 48.689	0.864** ± 0.009	-0.048** ± 0.003	---	No tiene	No tiene
von Bertalanffy	45213.040* ± 19835.219	0.940** ± 0.006	0.008** ± 0.002	---	129.592	13396.440
Gompertz	7486.669** ± 700.011	5.990** ± 0.066	0.039** ± 0.002	---	45.900	2754.192
Logística	6026.076** ± 435.969	---	0.050** ± 0.002	8.133** ± 0.084	41.919	2346.577
Weibull	4186.852** ± 360.653	59.533** ± 4.144	---	2.850** ± 0.108	38.593** ± 1.654	2020.312
Verhulst	3501.910** ± 125.849	105.376** ± 4.349	0.133** ± 0.002	---	35.019	1750.955
<b>Modelo No Lineal – Estructura Heterocedástica Exponencial</b>						
Brody			No converge			
von Bertalanffy			No converge			
Gompertz	6714.428** ± 691.912	6.193** ± 0.128	0.042** ± 0.003	---	43.415	2470.100
Logística	5698.379** ± 471.947	---	0.052** ± 0.002	8.337** ± 0.160	40.783	2216.110
Weibull	4099.523** ± 393.742	62.176** ± 9.396	---	2.895** ± 0.128	38.239** ± 1.726	2001.468
Verhulst	3473.737** ± 153.537	95.366** ± 6.319	0.130** ± 0.004	---	35.059	1736.869

\*Significancia estadística (P<0.05), \*\*Significancia estadística (P<0.0001).

Los valores de la tasa de crecimiento estimado para la función de Weibull, cuya expresión está descrita en la tabla 2, y cuya curva esta esbozada en la figura 2, reflejan un rápido incremento en su fase inicial de crecimiento, ya que se estiman valores de ganancias diarias de pesos correspondientes a 8.37 gr/día a los 7 días de edad, en 57.23 gr/día a los 21 días, 84.25 gr/días a los 35 días, hasta llegar a su mayor ganancia diaria de peso promedio a los 38 días aproximadamente (tiempo de inflexión), siendo de 103.38 gr/día. Luego de llegar a este punto, las ganancias diarias de peso empiezan un ritmo descendente, pues se determinan ganancias diarias de peso estimadas en 101.03 gr/día a los 42 días, 85.40 gr/día a los 49 días y llega hasta los 60.38 gr/día a los 56 días. Saavedra et al. (2014), reporta una ganancia de peso diaria máxima estimada mediante la función de Gompertz de 95.36 gr/diarios, a los 39 días, guardando cierta similitud con lo reportado en este estudio. Esto sugiere que, para efectos de alimentación, se debe procurar un suministro óptimo y de buena de calidad, de niveles de proteína y minerales como calcio y magnesio, ya que es la etapa de crecimiento de mayor aceleración.

### Figura 2

*Gráfico de función de tasa de crecimiento de la función de Weibull, con parámetros estimados asumiendo una estructura de varianza residual potencial.*



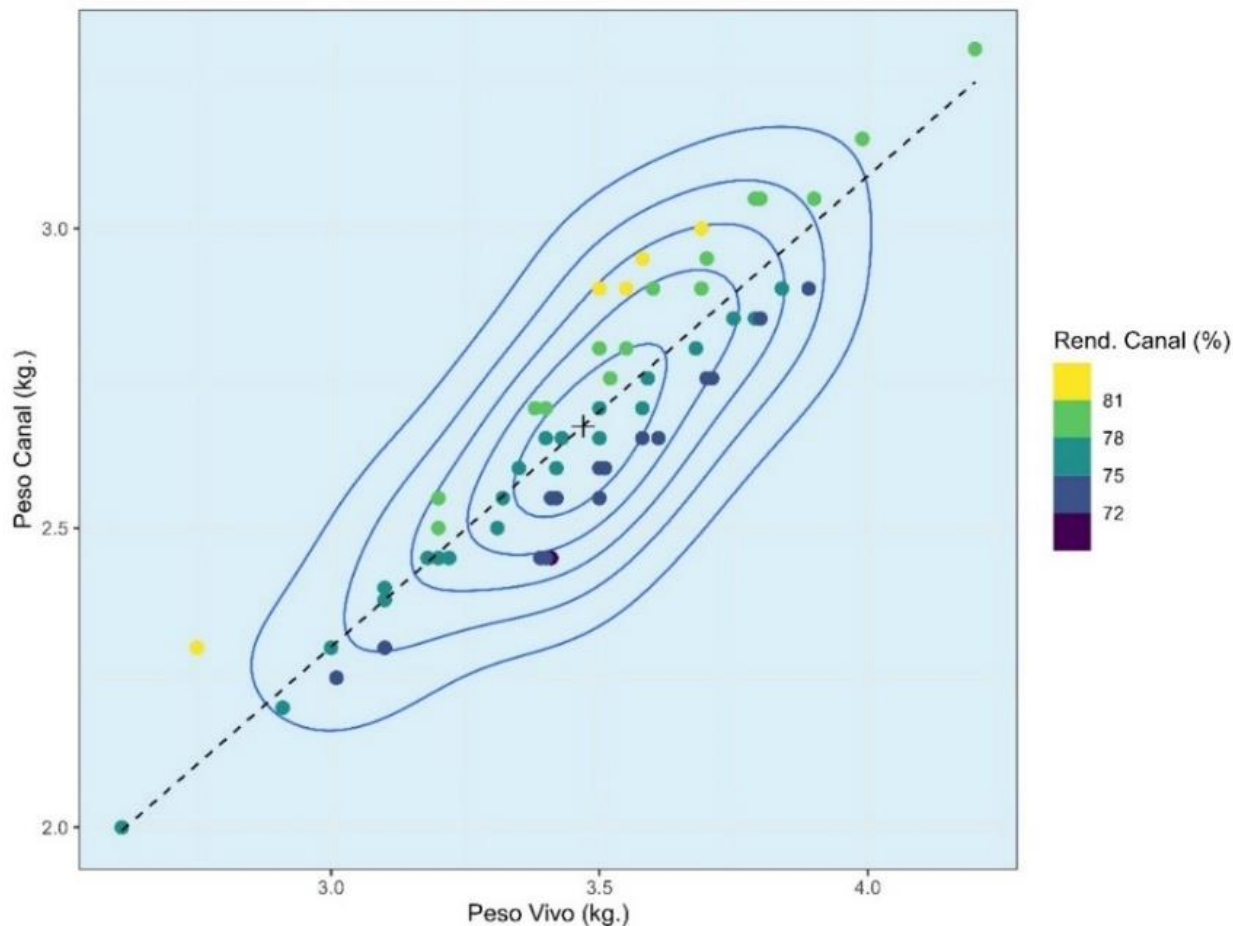
Al momento de sacrificio de las aves, se reportan valores medios de peso vivo de  $3,483.00 \pm 316.65$  gr, valores de pesos de canal en  $2,670.35 \pm 253.96$  gr y rendimientos de canal promedios de  $76.97 \pm 2.76$  %, lo cual indica que más de tres cuartas partes de las aves sacrificadas correspondieron a carne blanca, lo cual indica un buen rendimiento de carne logrado en este estudio. De manera similar, en un estudio en pollos Cobb 500 alimentados con alimento harinizado en Ecuador, Cedeño Jerez (2019) reportó rendimientos a la canal de 73 %, con pesos vivos al momento del



sacrificio a los 42 días de edad promedio de 2,863.3 gr y pesos a la canal de 2,090.0 gr. Según lo observado en la figura 3, vemos que la mayoría de los resultados se conglomeraron en un intervalo entre los 3.2 y 3.7 kg de peso vivo, y en un intervalo entre 2.7 y 3.1 kilogramos de peso a la canal, y se observa que los rendimientos a la canal superiores al 81 % se encuentran en el área comprendida entre 2.8 y 3.0 kg de peso a la canal, y entre 3.5 hasta 3.6 kg de peso vivo al momento de sacrificio.

### Figura 3

Gráfico de densidad 2D (dos dimensiones) de las observaciones de los pesos al canal y los pesos vivos al momento de sacrificio de las aves.



Basados en la tabla 6 como referencia para determinar el modelo lineal de mejor ajuste para la variable rendimiento de canal respecto a las variables peso vivo al momento de sacrificio y peso a la canal, encontramos que los tres modelos ajustados tienen buen ajuste, en base a los  $R^2$  encontrados, ya que son superiores a 0.99, pero se destaca el modelo de superficie de respuesta de orden 2 (P2I), de orden dos y con interacción, ya que muestra el mayor  $R^2$  y muestran los menores valores de varianza residual ( $\sigma^2$ ), así como de AIC y BIC, lo cual nos sugiere que es modelo que muestra mejor ajuste para esta variable en este estudio. Para el modelo P2I, se encuentra significancias estadísticas para sus parámetros estimados ( $p < 0.05$ ).



**Tabla 6**

Tabla de valores de estadísticos y parámetros referentes a modelos de superficie de respuesta para ajuste de variable rendimiento de canal (%).

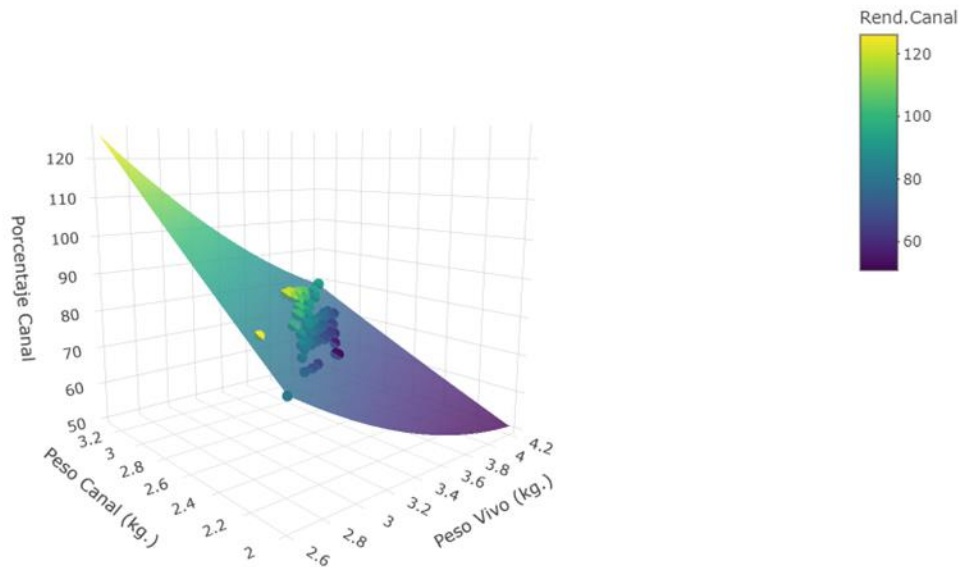
Valores	Modelo		
	P1	P11	P2I
$\sigma^2$	0.2319	0.2317	0.0270
$R^2$	0.9932	0.9933	0.9999
AIC	-0.0058	0.8321	-246.6502
BIC	8.3260	11.1342	-232.2271
$\beta_0$	77.6239** $\pm$ 0.3580	74.9214** $\pm$ 2.6098	78.1243** $\pm$ 0.3111
$\beta_1$	-22.3497** $\pm$ 0.2730	-21.6123** $\pm$ 0.7563	-47.3623** $\pm$ 0.4234
$\beta_2$	28.7893** $\pm$ 0.3216	29.9034** $\pm$ 1.1131	60.6463** $\pm$ 0.5165
$\beta_{12}$	---	-0.3033 $\pm$ 0.2901	-10.5162** $\pm$ 0.5506
$\beta_{11}$	---	---	7.6591** $\pm$ 0.2312
$\beta_{22}$	---	---	0.9035* $\pm$ 0.3567

$\sigma^2$  = Varianza residual,  $R^2$  = Coeficiente de determinación, AIC = Criterio de Información de Akaike, BIC = Criterio de Información Bayesiano,  $\beta_0$  = parámetro de intercepto,  $\beta_1$  = parámetro de pendiente lineal de la variable peso vivo,  $\beta_2$  = parámetro de pendiente lineal de la variable peso a la canal,  $\beta_{12}$  = parámetro de pendiente de la interacción entre la variable peso vivo y peso a la canal,  $\beta_{11}$  = parámetro de pendiente cuadrática de la variable peso de canal,  $\beta_{22}$  = parámetro de pendiente cuadrática de la variable peso vivo al momento de sacrificio.

Finalmente, con los valores de los parámetros estimados descritos en la tabla 6, se esboza la superficie de respuesta estimada en la figura 4, y basados en la tendencia gráfica allí mostrada, se ve una tendencia decreciente respecto a los pesos vivos, ya que se encuentra un punto de intercepto de 78.12 %, y luego se observa una tendencia decreciente respecto al peso vivo al momento de sacrificio, mientras que se ve una tendencia creciente a medida que aumentan los pesos al canal. Para este modelo, se estima los valores críticos, con fin de encontrar posibles valores máximos o mínimos, mediante el criterio de derivadas parciales, de modo que  $\frac{\partial y}{\partial x_i} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2$ . En este estudio no se encuentran puntos máximos y mínimos, ya que utilizando el criterio de derivadas parciales, se determina los puntos críticos en  $x_1 = 6.66$  kg de peso vivo y  $x_2 = 5.20$  kg de peso a la canal, resultando en un rendimiento estimado de 78.04 %. Sin embargo, utilizando el criterio del hessiano con los parámetros presentes de  $\beta_{11}$ ,  $\beta_{22}$  y  $\beta_{12}$  en la tabla 6, el determinante del sistema arroja un resultado negativo ( $D = -82.91$ ), lo cual indica que este punto es un punto silla, ya que los rendimientos de canal estimados en el plano aumentan a medida que aumentan los pesos a la canal, pero disminuyen a medida que aumenta los pesos vivos.

**Figura 4**

Gráfico 3D de las variables peso vivo al momento de sacrificio (kg.), peso a la canal (kg.) y rendimiento a la canal (%), con el plano de estimación de un modelo de superficie de respuesta de orden 2.

**CONCLUSIONES**

El ajuste de modelos de curvas de crecimiento considerando estructuras de varianza residual heterocedásticas permite obtener estimaciones más precisas de los parámetros asociados al peso vivo en pollos Cobb 500. Este enfoque tiene en cuenta el comportamiento biológico del crecimiento de las aves, donde la variabilidad del peso tiende a incrementarse a medida que aumenta la edad. En general, las funciones evaluadas presentaron un mejor ajuste cuando se asumió una estructura de varianza residual de tipo potencial, la cual ofrece ventajas prácticas al establecer una relación directamente proporcional entre la varianza y la edad del animal. Entre los modelos analizados, la función de Weibull mostró el mejor desempeño de ajuste, permitiendo además estimar de forma directa parámetros biológicamente relevantes como el peso asintótico y el tiempo de inflexión de la curva de crecimiento.

Asimismo, se determinó que un modelo de superficie de respuesta de segundo orden con interacción lineal presenta un buen ajuste para explicar la variable de rendimiento de canal en función del peso vivo al momento del sacrificio y el peso de la canal. No obstante, para los fines de este estudio no se identificó un punto máximo o mínimo estimado dentro del rango de datos analizados. Por otra parte, el manejo general del sistema de producción avícola evaluado permitió alcanzar valores promedios de peso vivo de 3.84 kilogramos y un rendimiento promedio de canal superior al 76%. Estos resultados evidencian que los pollos de la línea Cobb 500 presentan un elevado y precoz potencial productivo para la obtención de carne.



## AGRADECIMIENTO

Se expresa un sincero agradecimiento a todas las personas e instituciones que hicieron posible el desarrollo de este estudio. En especial, a la empresa MELO y CÍA. por su valioso apoyo mediante el suministro de la alimentación utilizada durante el experimento. Asimismo, se reconoce el esfuerzo y la colaboración de todos los trabajadores del Centro de Enseñanzas e Investigaciones Agropecuarias de Panamá Este (CEIAPE), quienes contribuyeron de manera significativa en la construcción de la galera y en el manejo de las aves durante el proceso experimental.

De igual manera, se agradece a la secretaria administrativa Betzaida Jaén y al Decano Eldis Barnes, de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, por el apoyo administrativo brindado durante la ejecución de este estudio, facilitando los procesos necesarios para el desarrollo de la investigación. También se expresa un especial agradecimiento a los estudiantes de labor social de la Escuela de Ciencias Pecuarias y Desarrollo Agropecuario, quienes brindaron su valiosa colaboración durante las diferentes actividades del proyecto, contribuyendo al manejo de las aves y al desarrollo de las labores realizadas en el sistema de producción.

Su apoyo, compromiso y dedicación fueron fundamentales para la correcta ejecución de las actividades y el logro de los resultados obtenidos en este trabajo.

## CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

## REFERENCIAS

Brody, S. 1945. Bioenergetics and Growth. Rheinhold Pub. Corp., N.Y.

Cedeño Jeréz, L. S. (2019). Rendimiento de la canal de pollos Broilers de la línea Cobb 500 con diferentes sistemas de manejo en la época de invierno en Ecuador [Tesis de ingeniería no publicada]. Universidad Técnica de Babahoyo, Ecuador.

Demuner, L. F., Suckeveris, D., Muñoz, J. A., Caetano, V. C., Lima, C. G. D., Faria, D. E. D., & Faria, D. E. D. (2017). Adjustment of growth models in broiler chickens. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 52, 1241-1252.

Galán, I., Arando, A., González, A., Navas, F. J., Salgado, J. I., Díaz, E., Camacho, M. E. (2023). Caracterización de las curvas de crecimiento biológico de la gallina Andaluza Azul, una raza local amenazada. *Archivos de Zootecnia*, 72(279), 172-177. DOI: <https://doi.org/10.21071/az.v72i279.5730>

INEC (2024). Censo Nacional Agropecuario. Volumen VI. Características de la Actividad Pecuaria. Recuperado de <https://www.inec.gob.pa/archivos/P053342420250711101534Cuadro%2023.pdf>



- FAO (2024). FAOSTAT. Recuperado de <https://www.fao.org/faostat/en/#data/FBS>
- Marcu, A., Vacaru-opri, I., Dumitrescu, G., Petculescu, L., Marcu, A., Nicula, M., Pe, I., Dronca, D., Kelciiov, B., Mari, C. (2013). The Influence of Genetics on Economic Efficiency of Broiler Chickens Growth. 46(2), 339–346.
- Maruyama, K., Vinyard, B., Akbar, M. K., Shafer, D. J., Turk, C. M. (2001). Growth curve analyses in selected duck lines. *British Poultry Science*, 42(5), 574-582.
- Mazucheli, J., Souza, R. D., Philippsen, A. S. (2011). Modelo de crescimento de Gompertz na presença de erros normais heterocedásticos: um estudo de caso. *Revista Brasileira de Biometria*, 29(1), 91-101. Recuperado de: [https://biometria.ufla.br/antigos/fasciculos/v29/v29\\_n1/A7\\_mazucheli.pdf](https://biometria.ufla.br/antigos/fasciculos/v29/v29_n1/A7_mazucheli.pdf)
- Mouffok C, Semara L, Ghoualmi N, Belkasmi F. 2019. Comparison of Some Nonlinear Functions for Describing Broiler Growth Curves of Cobb500 Strain. *Poultry Science Journal*. 7(1): 51-61.
- Nelder, J. A. (1961). The fitting of a generalization of the logistic curve. *Biometrics*, 17(1), 89-110. Recuperado de <https://doi.org/10.2307/2527498>
- Pascalau, S., Cadar, M., Raducu, C., Marchis, Z. (2017). Evaluation of productive performances in Ross 308 and Cobb 500 hybrids. *Animal Biology & Animal Husbandry*, 9(1), 22-27. Recuperado de [https://www.researchgate.net/profile/Mirela-Cadar-2/publication/332497136\\_Evaluation\\_of\\_productive\\_performances\\_in\\_Ross\\_308\\_and\\_Cobb\\_500\\_hybrids/links/5cb85ab492851c8d22f352e5/Evaluation-of-productive-performances-in-Ross-308-and-Cobb-500-hybrids.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Mirela-Cadar-2/publication/332497136_Evaluation_of_productive_performances_in_Ross_308_and_Cobb_500_hybrids/links/5cb85ab492851c8d22f352e5/Evaluation-of-productive-performances-in-Ross-308-and-Cobb-500-hybrids.pdf)
- Pinheiro J. C., Bates D. M. (2000). *Mixed-Effects Models in S and S-PLUS*. Springer, New York.
- R Core Team (2023). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Recuperado de <https://www.R-project.org/>.
- Rosero, J. P., Guzman, E. F., Lopez, F. J. (2012). Evaluación del comportamiento productivo de las líneas de pollos de engorde Cobb 500 y Ross 308. *Biotecnología en el sector Agropecuario y Agroindustrial*, 10(1), 8-15.
- Rostagno, H., Teixeira, L., Hannas, M., Juarez, D., Sakomura, N., Perazzo, F., Saraiva, A., Teixeira, M., Rodrigues, P., Oliveira, R., Barreto, S., Brito, C. (2017). *Tablas Brasileñas para aves y cerdos: composición de alimentos y requerimientos nutricionales*. (4a ed.). Rostagno. Universidad Federal de Viçosa. <https://bitly.ws/UP9f>
- Saavedra, R., Mudarra, R., Cedeño, H., Pimentel, T. (2024). Comparación de Modelos No Lineales para el ajuste de Curvas de Crecimiento y estimación de parámetros productivos en pollos Cobb 500. *Revista Investigaciones Agropecuarias*, 6(2), 97-119.



- Spiess, A. N., Neumeyer, N. (2010). An evaluation of  $R^2$  as an inadequate measure for nonlinear models in pharmacological and biochemical research: a Monte Carlo approach. *BMC Pharmacology*, 10(1), 1-11. Recuperado de: <https://doi.org/10.1186/1471-2210-10-6>
- Verhulst, P. F. (1847). Deuxième mémoire sur la loi d'accroissement de la population. 269. Hayez.
- Vitezica, Z. G., Marie-Etancelin, C., Bernadet, M. D., Fernandez, X., & Robert-Granié, C. (2010). Comparison of nonlinear and spline regression models for describing mule duck growth curves. *Poultry Science*, 89(8), 1778-1784.
- von Bertalanffy, L. (1957). Quantitative laws in metabolism and growth. *The quarterly review of biology*, 32(3), 217-231.
- Wickham, H. (2016). *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York.
- Winsor, C. P. (1932). The Gompertz curve as a growth curve. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 18(1), 1-8.