



# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**

**CAMPUS MONTECILLO**

**POSTGRADO EN RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD**

**GANADERÍA**

## **ESTABLECIMIENTO DE LÍNEAS DE AVES CRIOLLAS ESPECIALIZADAS EN PRODUCCIÓN DE CARNE O HUEVO**

**DIEGO ZÁRATE CONTRERAS**

**T E S I S**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**DOCTORADO EN CIENCIAS**

**MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO**

2022

La presente tesis titulada: **Establecimiento de líneas de aves criollas especializadas en producción de carne o huevo**, realizada por el alumno **Diego Zárate Contreras** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS  
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD  
GANADERÍA

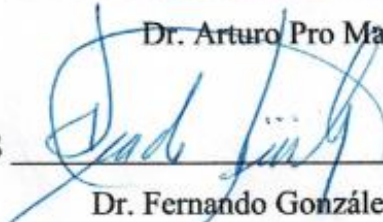
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



Dr. Arturo Pro Martínez

DIRECTOR DE TESIS



Dr. Fernando González Cerón

ASESOR



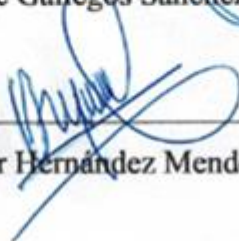
Dr. Gustavo Ramírez Valverde

ASESOR



Dr. Jaime Gallegos Sánchez

ASESOR



Dr. Omar Hernández Mendo

ASESOR

---

Montecillo, Texcoco, Estado de México, febrero de 2020.

# ESTABLECIMIENTO DE LÍNEAS DE AVES CRIOLLAS ESPECIALIZADAS EN PRODUCCIÓN DE CARNE O HUEVO

Diego Zárate Contreras, D.C.  
Colegio de Postgraduados, 2022

## RESUMEN

La avicultura es una actividad pecuaria importante de la que se obtiene carne y huevo. Se estima que el sistema de producción en patio, que se basa en aves Criollas (*Gallus gallus domesticus*), genera el 10 % de la producción avícola nacional. A diferencia de otros países que se han interesado en la caracterización y aprovechamiento de sus recursos genéticos locales, en México sólo se ha abordado el primer aspecto, son pocos los trabajos enfocados a la estimación de parámetros genéticos que permitan la implementación de programas de mejoramiento, por lo anterior, se planteó la presente investigación en tres fases: 1) modelación del crecimiento de aves Criollas con diferente frecuencia de registro de datos, 2) estimación de parámetros genéticos de características asociadas a la producción de carne y 3) estimación de parámetros genéticos de características asociadas a la producción de huevo. Se encontró que con el modelo Gompertz-Laird se obtienen las estimaciones más precisas de los parámetros de crecimiento en aves Criollas Mexicanas, con datos de peso vivo obtenidos cada tercer d del nacimiento a 63 d de edad, y posteriormente cada dos semanas. Por otra parte, se calcularon índices de herencia de 0.917, 0.132 y 0.285, para las características peso vivo a los 84 d de edad ( $PV_{84}$ ), conversión alimenticia acumulada de 49 a 84 d de edad ( $CAA_{49-84}$ ), y consumo residual de alimento de 49 a 84 d de edad ( $CRA_{49-84}$ ), respectivamente. Las correlaciones genéticas de  $PV_{84}$  con  $CAA_{49-84}$ ,  $PV_{84}$  con  $CRA_{49-84}$  y  $CAA_{49-84}$  con  $CRA_{49-84}$  fueron -0.650, -0.162 y 0.371, respectivamente. Se calcularon índices de herencia de 0.208 y 0.168 para las características número de huevos ( $NH_{21-30}$ ) y masa de huevo ( $MH_{21-30}$ ), de la semana 21 a la 30 de edad. La correlación genética de  $NH_{21-30}$  con  $MH_{21-30}$  fue de 0.916. Se concluye que, en la población estudiada de aves Criollas Mexicanas, es factible la mejora de características asociadas a la producción de carne y huevo a través de métodos genéticos.

**Palabras clave:** Crecimiento, índice de herencia, correlación genética, producción de huevo, producción de carne, aves Criollas Mexicanas.

# **SPECIALIZED LINES OF MEXICAN CREOLE CHICKENS FOR MEAT OR EGG PRODUCTION**

Diego Zárate Contreras, D.C.  
Colegio de Postgraduados, 2022

## **ABSTRACT**

Poultry production is an activity from which meat and eggs are obtained. It is estimated that backyard production system, based on Creole Chickens (*Gallus gallus domesticus*), generates 10 % of the national poultry production. Unlike other countries that have been interested in the characterization and usage of their local avian genetic resources, in Mexico only the first aspect has been addressed. Only few investigations have been directed to the estimation of genetic parameters that allow the implementation of improvement programs. The present research was carried out in three phases: 1) growth modeling of Creole Chickens, with different frequency of data recording, 2) estimation of genetic parameters of traits associated to meat production, and 3) estimation of genetic parameters of traits associated to egg production. It was found that Gompertz-Laird model produces the most accurate estimates of growth parameters in Mexican Creole Chickens, with body weight data obtained every third day, from hatching to 63 d, and every 14 d, from 63 to 133 d of age. On the other hand, heritabilities of 0.917, 0.132 and 0.285 were calculated for body weight at 84 d of age ( $BW_{84}$ ), cumulative feed conversion ratio from 49 to 84 d of age ( $CFCR_{49-84}$ ), and residual feed intake from 49 to 84 d of age ( $RFI_{49-84}$ ), respectively. Genetic correlations of  $BW_{84}$  with  $CFCR_{49-84}$ ,  $BW_{84}$  with  $RFI_{49-84}$ , and  $CFCR_{49-84}$  with  $RFI_{49-84}$  were -0.650, -0.162, and 0.371, respectively. Heritabilities of 0.208 and 0.168 were calculated for number of eggs ( $NE_{21-30}$ ) and egg mass ( $EM_{21-30}$ ), from 21 to 30 weeks of age. Genetic correlation of  $NE_{21-30}$  with  $EM_{21-30}$  was 0.916. In conclusion, in the studied population of Mexican Creole Chickens, it is feasible to improve traits associated with meat and egg production through genetic methods.

**Key words:** Growth, heritability, genetic correlation, meat production, egg production, Mexican Creole Chickens.

## DEDICATORIA

**A Dios** por darme la vida, salud, y situarme en los lugares correctos con las personas adecuadas.

**A mis padres** Florencia Contreras Santos y Narmí Zárate Robles que ha a pesar del tiempo y los asuntos familiares presentados siguen allí, dándome un ejemplo a seguir, gracias por inculcarme principios y valores, no hay mejor manera de honrarlos que con metas cumplidas.

**A Belén López Pérez**, por la compañía y apoyo recibido durante este proceso de formación.

**A mis hermanos** Rodolfo, Judith y Arnulfo por apoyarme y darme consejos cuando los he necesitado.

**A mis sobrinos** Esbeidy Judith, José Arnulfo y Keilyn Yaretzi, por enseñarme como ser un buen tío, mis hijos se los agradecerán.

**A mis familiares** Aile, Eduarda, Ricardo, Alejandro, Enrique, Aracely, Gali, Geidy, Mileydi, Genis, Briseida, Aracely, Juan.... que han participado en mi vida de forma positiva y por los consejos que me han brindado en algún momento, dándome confianza y fortaleza.

**A mis abuelitos** Eufrocina, Elena, Rodolfo y Diego.

**A mis amigos** Sarahi, Saul, Gerardo, Berna, David, Abelino, Fredy, Silverio, Artemio, .... por el apoyo y sobre todo su amistad que siempre me han brindado.

**A mis profesores** a quienes les debo gran parte de mi formación profesional.

*“Para todos ustedes con mucho cariño”*

## **AGRADECIMIENTOS**

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)** por el apoyo económico otorgado para la realización de mis estudios de Doctorado en Ciencias.

Al **Posgrado de Recursos Genéticos y Productividad-Ganadería del Colegio de Posgraduados Campus Montecillo** por aceptarme y brindarme la oportunidad de realizar mis estudios de Doctorado en Ciencias.

Al **Dr. Juan Manuel Cuca García<sup>†</sup>** por su apoyo, paciencia, consejos y tiempo en la realización de este proyecto. Fue un privilegio haber sido su alumno, pocos tenemos la oportunidad de formar parte de su equipo y aprender del mejor.

Al **Dr. Arturo Pro Martínez** por su colaboración, consejos y paciencia. Es un privilegio tener un asesor de su índole, pocos tenemos esta oportunidad.

Al **Dr. Fernando González Cerón** por el apoyo y dirección en la realización de esta investigación, así como la amistad que me brindo, con aprecio le dedico estas palabras.

Al **Dr. Gustavo Ramírez Valverde** por su valioso tiempo y sobre todo la paciencia en las explicaciones para realizar el análisis estadístico de esta investigación.

Al **Jaime Gallegos Sánchez** por el apoyo brindado, así como el apoyo en la implementación de técnicas de reproducción en aves.

A la **Dr. Omar Hernández Mendo** por los conocimientos compartidos, amistad, y consejos durante el proyecto de investigación.

A todo el **Personal Académico y Administrativo del Colegio de Posgraduados.**

*¡¡¡Gracias!!!*

## CONTENIDO

RESUMEN .....	iii
ABSTRACT.....	iv
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTOS .....	vi
LISTA DE CUADROS.....	x
INTRODUCCIÓN GENERAL .....	1
CHAPTER I. MEXICAN CREOLE CHICKENS: EFFECT OF DATA COLLECTION PERIODS ON GOODNESS-OF-FIT AND PARAMETER PRECISION OF GROWTH MODELS .....	3
1.1. ABSTRACT .....	3
1.2. INTRODUCTION.....	4
1.3. MATERIALS AND METHODS .....	5
1.3.1. Growth Models.....	6
1.3.2. Gompertz-Laird Model.....	6
1.3.3. Logistic Model.....	7
1.3.4. Richards Model .....	7
1.3.5. Von Bertalanffy Model.....	7
1.3.6. Statistical Analysis .....	8
1.4. RESULTS .....	8
1.4.1. Body weights of male and female Mexican Creole chickens.....	8
1.4.2. Goodness-of-fit criteria and parameters of the growth models.....	9
1.4.3. Values of the Gompertz-Laird model parameters .....	9

1.4.4. Precision of the Gompertz-Laird model parameters .....	9
1.5. DISCUSSION .....	15
1.5.1. Goodness-of-fit criteria and parameters of the growth models .....	15
1.5.2. Values of the Gompertz-Laird model parameters .....	16
1.5.3. Precision of the Gompertz-Laird model parameters .....	17
1.6. CONCLUSION .....	18
1.7. ACKNOWLEDGMENTS.....	18
 CAPITULO II. ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE HERENCIA Y CORRELACIONES GENÉTICAS DE CARACTERÍSTICAS ASOCIADAS A LA PRODUCCIÓN DE CARNE EN AVES CRIOLLAS MEXICANAS .....	
2.1. RESUMEN.....	19
2.2. ABSTRACT .....	20
2.3. INTRODUCCIÓN .....	21
2.4. MATERIALES Y MÉTODOS .....	22
2.4.1. Manejo de las aves.....	23
2.4.2. Análisis estadístico .....	24
2.5. RESULTADOS .....	25
2.6. DISCUSIÓN .....	26
2.7. CONCLUSIÓN .....	29
2.8. AGRADECIMIENTOS .....	29
 CAPITULO III. ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE HERENCIA Y CORRELACIONES GENÉTICAS DE CARACTERÍSTICAS ASOCIADAS A LA PRODUCCIÓN DE HUEVO EN AVES CRIOLLAS MEXICANAS .....	
	30



3.1. RESUMEN.....	30
3.2. ABSTRACT .....	31
3.3. INTRODUCCIÓN .....	32
3.4. MATERIALES Y MÉTODOS .....	33
3.4.1. Manejo de las aves.....	33
3.4.2. Análisis estadístico .....	34
3.5. RESULTADOS .....	35
3.6. DISCUSIÓN .....	37
3.7. CONCLUSIÓN .....	39
3.8. AGRADECIMIENTOS .....	40
CONCLUSIONES GENERALES.....	41
LITERATURA CITADA .....	42

## LISTA DE CUADROS

Table 1.1. Means and standard deviations of BW of Mexican Creole chickens from hatching to 133 d of age.....	10
Table 1.2. Parameters estimated for the Gompertz-Laird, Logistic, Richards, and Von Bertalanffy model in the growth curve of Mexican Creole chickens (Males n = 146) using different data collection periods.....	11
Table 1.3. Parameters estimated for the Gompertz-Laird, Logistic, Richards, and Von Bertalanffy model in the growth curve of Mexican Creole chickens (Females n = 116) using different data collection periods. ....	13
Cuadro 2.1. Estadísticos descriptivos de características asociadas a la producción de carne en aves Criollas Mexicanas de una población bajo apareamiento aleatorio. ....	25
Cuadro 2.2. Componentes de varianza e índices de herencias de características asociadas a la producción de carne en aves Criollas Mexicanas de una población bajo apareamiento aleatorio. ....	25
Cuadro 2.3. Correlaciones genéticas (arriba de la diagonal) y fenotípicas (debajo de la diagonal) de características asociadas a la producción de carne en aves Criollas Mexicanas de una población bajo apareamiento aleatorio.....	26
Cuadro 3.1. Estadísticos descriptivos de características asociadas a la producción de huevo en aves Criollas Mexicanas de una población bajo apareamiento aleatorio. ....	36
Cuadro 3.2. Componentes de varianza e índices de herencia de características asociadas a la producción de huevo en aves Criollas Mexicanas de una población bajo apareamiento aleatorio. ....	36

Cuadro 3.3. Correlación genética (arriba de la diagonal) y fenotípica (debajo de la diagonal)  
de características asociadas a la producción de huevo en aves Criollas Mexicanas  
de una población bajo apareamiento aleatorio. .... 37

## INTRODUCCIÓN GENERAL

La avicultura es una actividad importante para la producción de carne y huevo. México ocupa a nivel mundial el 6<sup>to</sup> lugar en la producción de carne de ave y el 4<sup>to</sup> lugar en la producción de huevo (UNA, 2021). Se estima que el sistema de producción en patio representa el 10 % de la producción avícola nacional (Lastra et al., 1998); en este sistema se aprovecha el ave Criolla (*Gallus gallus domesticus*) y es practicado por más del 90% de las familias rurales de México (Segura, 1988). En muchos países en vías de desarrollo, el sector avícola se basa en el acervo genético local (Begli et al., 2010). Las aves Criollas Mexicanas (*Gallus gallus domesticus*) derivan de los primeros ejemplares traídos durante la conquista (Cuca-García et al., 2018), y desde ese tiempo han sido expuestas a situaciones nutricionales, sanitarias y ambientales adversas, adaptándose a las condiciones propias de cada nicho ecológico en el que habitan (Andrade-Yucaill et al., 2015), por ello, representan un recurso genético susceptible de ser aprovechado. A diferencia de otros países que se han interesado en la caracterización y aprovechamiento de sus recursos genéticos locales, en México sólo se ha abordado parte de la caracterización morfométrica y productiva, son pocos los trabajos enfocados a la estimación de parámetros genéticos que permitan la implementación de programas de mejoramiento (Prado-González et al., 2003; Castillo y Segura-Correa, 2004; Segura-Correa et al., 2004). El crecimiento es una característica de importancia para todas las especies de interés zootécnico, su estudio a través de modelos matemáticos permite su caracterización y el diseño de estrategias para optimizarlo. Algunos de los modelos utilizados para su estudio son Gompertz, Logístico, Richards y Von Bertalanffy (Narinç et al., 2017). Aunque en México existe el antecedente de la caracterización del crecimiento de aves Criollas (Estrada-Mata et al., 2020), no se ha indagado respecto al efecto de la frecuencia de registro de datos sobre la estimación de los parámetros de los modelos, no obstante, la evidencia obtenida en estudios realizados con otros

genotipos de aves (Aggrey, 2008). Asociado al crecimiento, otras características de importancia para la producción de carne son el peso vivo, la conversión alimenticia (Kumar et al., 2018) y el consumo residual de alimento (Aggrey, 2010). Se ha encontrado que estas características pueden tener una base genética, ejemplos de ello se observan en Melo et al. (2006), Dana et al. (2011) y Osei-Amponsah et al. (2013), sin embargo, en México sólo Prado-González et al. (2003), Castillo y Segura-Correa (2004) y Segura-Correa et al. (2004) han calculado índices de herencia y correlaciones genéticas de pesos a diferentes edades. Por lo anterior, es evidente que la estimación de parámetros genéticos de características de importancia zootécnica en aves Criollas Mexicanas es un tema de investigación que aún no se ha agotado, máxime que dicha información es necesaria si se busca la mejora a través de métodos genéticos. Por otro lado, además de la carne, las aves Criollas Mexicanas proveen de huevo para consumo humano, la información sobre parámetros genéticos de características asociadas a la generación de ese producto es nula, en contraste, otros países con recursos genéticos avícolas locales han avanzado al respecto (Oleforuh-Okoleh, 2011; Oleforuh-Okoleh, 2013). Con base en los anterior, la presente investigación tuvo por objetivos, modelar el crecimiento de aves Criollas con diferente frecuencia de registro de datos, así como estimar parámetros genéticos de características asociadas a la estimación de carne y huevo.

# CHAPTER I. MEXICAN CREOLE CHICKENS: EFFECT OF DATA COLLECTION PERIODS ON GOODNESS-OF-FIT AND PARAMETER PRECISION OF GROWTH MODELS

Diego Zárate Contreras, D. en C.  
Colegio de Postgraduados, 2022

## 1.1. ABSTRACT

The objective of this study was to estimate the good-of-fitness and precision of parameters of the Gompertz-Laird, Logistic, Richards and Von Bertalanffy growth models, using different data collection periods (DCP). Two hundred and sixty-two Mexican Creole chicks (116 females and 146 males), were individually weighed to form the following sets of data for each sex: DCP<sub>1</sub> (weights recorded weekly from hatching to 63 d, and every two weeks, from 63 to 133 d of age), DCP<sub>2</sub> (weights recorded weekly from hatching to 133 d of age), DCP<sub>3</sub> (weights recorded every third day, from hatching to 63 d, and every 14 d, from 63 to 133 d of age) and DCP<sub>4</sub> (weights recorded every third day, from hatching to 63 d, and weekly, from 63 to 133 d of age). Data were analyzed using the NLIN procedure of SAS (Marquardt algorithm). For all growth models, the width of confidence interval (CI) of each parameter, was estimated ( $\alpha = 0.05$ ). The adjusted coefficient of determination ( $AR^2$ ), as well as the Akaike (AIC) and Bayesian information criteria (BIC) were used to select the best model. The higher the  $AR^2$ , and the lower the width of CI, as well as the AIC and BIC values, the better the model. The Gompertz-Laird model, more frequently showed the highest  $AR^2$ , and the lowest AIC and BIC values compared to the other models. Moreover, for all models, both sexes and all parameters, most confidence interval widths (all with the Gompertz-Laird model) were the lowest with DCP<sub>3</sub> when compared to the other sets of data. In conclusion, the Gompertz-Laird model was the best provided that the chickens are weighted every third day from hatching until 63 d of age, and every two weeks thereafter.

**Key words:** Growth curves, Mexican Creole chickens, non-linear models, confidence intervals, good-of-fitness.

## 1.2. INTRODUCTION

In poultry farming, the BW of birds is an economically important and heritable trait (Mata-Estrada et al. 2020), and can be improved by genetic selection (Osei-Amponsah et al., 2013). Changes in BW over time can be represented by growth curves (Aggrey, 2002; Nariñç et al. 2010), based on non-linear models (Zhao, et al., 2015; Adenaike et al., 2017; Mata-Estrada et al., 2020). According to Nariñç et al. (2017) the non-linear-model most used for growth curves of zootechnical interest are: Gompertz, Logistic, Richards, and Von Bertalanffy. Some parameters estimated therein are initial or hatching BW ( $W_0$ ), specific initial rate (L), specific maturation rate (K), age of maximum growth ( $t_i$ ) and asymptotic weight ( $W_A$ ). For the estimation of parameters, BW of animals is recorded at different data collection periods (DCP), that is, at different frequencies and durations (Aggrey, 2002; Manjula et al., 2018; Faraji-Arough et al., 2019). Aggrey (2008) demonstrated with the Gompertz model, that the precision of initial growth rate, age of maximum growth, and asymptotic weight, is affected by the DCP. Aggrey (2002) and Mata-Estrada et al. (2020) used a DCP, in which the BW of chickens was obtained every third day from hatching to 54 d of age and subsequently, every 14 d until the age of 170 d. In contrast, Faraji-Arough et al. (2019), reported in native chickens evaluated up to 203 d of age, a DCP of 7 d, from hatching to 147 d of age; subsequently, data collection was carried out every 14 d. Other researchers used longer DCP, Manjula et al. (2018), established a DCP of 14 d from hatching to 140 d of age, while Osei-Amponsah et al. (2011, 2013, 2014) reported a similar DCP from hatching to 84 d of age, followed by every 28 d until 280 d of age. Although there is already data about growth modeling of Mexican Creole chickens (Mata-Estrada et al., 2020), data on the effect of DCP on the model goodness-of-fit and the precision of the estimated parameters remains scant. Confidence intervals (CI) provide the precision with which a parameter is estimated, the narrower the interval, the greater the

precision is (Dagnino, 2014). Additionally, the adjusted coefficient of determination ( $AR^2$ ), as well as the Akaike (AIC) and Bayesian information criteria (BIC) are goodness-of-fit criteria used to select the best model. In this case, the higher the  $AR^2$ , and the lower the AIC and BIC values, the better the fit of the model (Leeb and Pötscher, 2009). It is likely that the length and frequency of data collection period affects the precision of parameters and the fit of growth models. Therefore, in this study, the goodness-of-fit of the following non-linear models, Gompertz-Laird, Logistic, Richards, and Von Bertalanffy and their respective parameter precision, were estimated. To achieve this objective, different data collection periods were used along the growth curve of Mexican Creole chickens.

### **1.3. MATERIALS AND METHODS**

All animal experiments were performed in accordance with the guide for care and use of experimental animals approved by the General Academic Council of the Colegio de Postgraduados (COLPOS, 2016). This study was conducted at the experimental chicken house of the Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, located in Texcoco, State of Mexico, at 19° 27' 47" north latitude, 98° 54' 27" west longitude and 2,247 m altitude. A total of 30 hens and 30 roosters, Mexican Creole breeders, from an experimental population with pedigree, were used under random mating to produce 286 chicks (Mata-Estrada et al., 2020). The breeding was carried out by artificial insemination with 1:1 sex ratio. The chicks obtained were fed a corn-soybean non pelleted diet containing 21.5% CP and 2,900 kcal ME/kg, during the entire experimental period. Feed and water were offered *ad libitum*. At hatching, chicks were kept at a temperature of 32 °C, which decreased by 1°C per week until reaching 26 °C. The experimental chicks were identified by sex and weighed individually. From hatching to 63 d of age, the birds were weighed individually every third day and seventh day. Subsequently, the individual weight records were obtained weekly until 133 d of



age (Table 1). Hereafter, four sets with different DCP were formed: DCP<sub>1</sub> (weights recorded weekly from hatching to 63 d, and every two weeks, from 63 to 133 d of age), DCP<sub>2</sub> (weights recorded weekly from hatching to 133 d of age), DCP<sub>3</sub> (weights recorded every third day, from hatching to 63 d, and every 14 d, from 63 to 133 d of age) and DCP<sub>4</sub> (weights recorded every third day, from hatching to 63 d, and weekly, from 63 to 133 d of age).

### 1.3.1. Growth Models

From each set of data, the parameters of the following non-linear growth models were estimated: Gompertz-Laird, Logistic, Richards, and Von Bertalanffy. The following goodness-of-fit criteria were also estimated for the models: adjusted coefficient of determination ( $AR^2$ ), Akaike information criterion (AIC) and Bayesian information criterion (BIC).

### 1.3.2. Gompertz-Laird Model

The following model describes the Gompertz-Laird growth curve:

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

Where  $W_t$  is the BW of the chickens at time  $t$ ;  $W_0$  is the initial BW (hatching weight, g),  $\exp$  is the exponential function ( $\exp(1) = e^1 = 2.71828183$ ),  $L$  is the specific initial growth rate [ $(g \text{ d}^{-1}) g^{-1} = \text{d}^{-1}$ ],  $K$  is the specific maturation growth rate [ $(g \text{ d}^{-1}) g^{-1} = \text{d}^{-1}$ ] (Laird et al., 1965; Aggrey, 2002). Age at maximum growth or at the inflexion point ( $t_i$ , d) and asymptotic weight ( $W_A$ , g) were estimated as follows:

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

### 1.3.3. Logistic Model

The following equation describes the logistic growth model:

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

Where  $W_t$  is the BW at time  $t$ ,  $W_A$  is the asymptotic weight or weight at maturity,  $K$  is the specific maximum growth rate  $[(g \text{ d}^{-1}) \text{ g}^{-1} = \text{d}^{-1}]$ ,  $t_i$  is the age at the inflection point (Robertson, 1923; Aggrey, 2002).

### 1.3.4. Richards Model

The following equation describes the Richards growth model:

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

Where  $W_t$  is the BW of the chickens at time  $t$ ,  $W_A$  is the asymptotic weight or mature weight,  $K$  is the specific growth rate at  $t_i$ , with respect  $W_A$   $[(g \text{ d}^{-1}) \text{ g}^{-1} = \text{d}^{-1}]$ ,  $t_i$  is the age at the maximum growth rate or at the inflexion point ( $d$ ), and  $m$  is a parameter of shape, with the property that  $m^{1/(1-m)}$  is the ratio of weight at  $t_i$  to  $W_A$  (Richards, 1959; Aggrey, 2002).

### 1.3.5. Von Bertalanffy Model

The following equation describes the Von Bertalanffy growth model:

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

Where  $W_t$  is the BW of the chickens at time  $t$ ,  $W_A$  is the asymptotic weight or mature weight,  $K$  is the specific maximum growth rate  $[(g \text{ d}^{-1}) \text{ g}^{-1} = \text{d}^{-1}]$  and  $B$  is an integration constant. Age at

maximum growth rate or age at the inflexion point ( $t_i$ ) and BW at the inflection point age ( $W_I$ ), are estimated as follows:  $t_i = \ln(3B)/K$  and  $W_I = W_A * 8/27$  (Bertalanffy, 1957; Goshu and Koya, 2013).

### **1.3.6. Statistical Analysis**

Data were analyzed using the PROC NLIN procedure (Marquardt algorithm) version 9.3 (SAS Institute Inc., 2011). Three goodness-of-fit criteria were used to select the best model: 1) Adjusted coefficient of determination,  $AR^2 = 1 - \{[(n-1)(1-R^2)]/(1-q)\}$ ; 2) Akaike information criterion,  $AIC = n * \ln(SSE/n) + 2q$ ; and 3) Bayesian information criterion,  $BIC = n * \ln(SSE/n) + q * \ln(n)$ . Where,  $R^2$  is the determination coefficient of each data set,  $q$  is the number of model parameters,  $n$  is the number of observations, SSE is the square sum of the error, and  $\ln$  is the natural logarithm function. Likewise, for some parameters of each growth model, their confidence intervals (CI) with  $\alpha = 0.05$  were obtained using the profile-likelihood program (Royston, 2007).

## **1.4. RESULTS**

### **1.4.1. Body weights of male and female Mexican Creole chickens**

The observed initial weights of males and females were very similar ( $37.23 \pm 3.95$  and  $36.19 \pm 3.52$  g, respectively), the corresponding estimated hatching weights were ( $W_0$ ) 33.42 and 33.14 g. Either according to standard deviation or width of CI, the group of females showed more precision than that of males. Only the Gompertz-Laird model use  $W_0$  as a parameter. The observed BW of Creole chickens was higher in males than in females, a trend that was observed from hatching to 133 d of age. At the end of the observation period (Table 1.1), the weight of females represented 69% ( $1571.06 \pm 242.16$ ) of the weight of males ( $2276.34 \pm 364.55$ ). The asymptotic weights ( $W_A$ ) of females ranged from 63 to 64% (Tables 1.2 and 1.3) with respect those of males and showed more precision, either according to the CI or the standard deviation. These values were lower than

those observed at the end of the experimental period (69%, Table 1.1) and differed little between them (1%).

#### **1.4.2. Goodness-of-fit criteria and parameters of the growth models**

The Gompertz-Laird model showed more frequently, a better goodness-of-fit than the others. In 10 out of 12 (three criteria  $\times$  four models) values of females, this model showed the highest  $AR^2$  and the lowest values of AIC and BIC (Table 1.3). Also, in the group of males, all 12 values of  $AR^2$ , AIC and BIC were the best using the Gompertz-Laird model (Table 1.2).

#### **1.4.3. Values of the Gompertz-Laird model parameters**

The DCP<sub>3</sub> set of males had the lowest specific initial growth rate (L, 0.098200 d<sup>-1</sup>), however the specific growth rate at maturation was also low (K, 0.021971 d<sup>-1</sup>). The DCP<sub>3</sub> set of females also showed low values of L and K: 0.095772 and 0.023833 d<sup>-1</sup>, respectively.

The age at maximum growth for the sexes were similar among the four sets of DCP ( $t_i$ , 68.03 to 68.24 d, males,  $t_i$ , 58.03 to 58.59 d, females, Tables 1.2 and 1.3). Also, the asymptotic weight of males ranged from 2910.29 to 2923.83 g and that of females ranged from 1832.13 to 1848.56 g (Tables 1.2 and 1.3). That is, the age at maximum growth as well as the asymptotic weight had low variation among the DCP sets of the Gompertz model.

#### **1.4.4. Precision of the Gompertz-Laird model parameters**

The precision of parameters is considered higher, as long as the confidence interval is small. With males and females, all Gompertz-Laird model parameters ( $W_0$ , L and K) obtained with DCP<sub>3</sub> showed smaller CI, than the other DCP sets (Tables 1.2 and 1.3). The  $W_0$  of females, were more precise than that of males, however L and K showed a lesser precision (Tables 1.2 and 1.3).

Table 1.1. Means and standard deviations of BW of Mexican Creole chickens from hatching to 133 d of age.

Age (d)	BW (g)	
	Male (n = 146) <sup>1</sup>	Female (n = 116) <sup>1</sup>
0	37.23 ± 3.95	36.19 ± 3.52
3	45.86 ± 7.01	43.13 ± 5.88
6	55.08 ± 10.56	51.66 ± 8.30
7	59.18 ± 12.20	55.15 ± 9.04
9	69.56 ± 15.11	65.43 ± 11.67
12	88.37 ± 19.11	82.11 ± 15.59
14	103.72 ± 23.02	95.56 ± 19.28
15	113.79 ± 24.96	105.18 ± 21.03
18	140.88 ± 30.44	129.50 ± 26.95
21	172.03 ± 37.52	156.06 ± 33.55
24	209.42 ± 44.11	189.82 ± 39.60
27	250.36 ± 52.73	225.11 ± 48.26
28	265.02 ± 56.36	236.61 ± 50.80
30	293.37 ± 62.07	260.92 ± 55.39
33	339.29 ± 69.78	299.98 ± 63.97
35	377.25 ± 78.60	329.70 ± 71.25
36	397.67 ± 81.93	345.47 ± 73.84
39	450.76 ± 90.13	389.62 ± 82.20
42	503.55 ± 101.37	429.09 ± 88.89
45	551.08 ± 108.13	466.91 ± 92.29
48	609.41 ± 115.05	507.14 ± 97.30
49	628.51 ± 120.92	519.90 ± 100.68
51	671.94 ± 127.91	553.42 ± 103.93
54	740.25 ± 138.56	604.97 ± 109.32
56	781.01 ± 144.29	634.10 ± 112.63
57	812.53 ± 148.12	655.53 ± 116.16
60	874.73 ± 156.82	702.84 ± 118.97
63	941.87 ± 169.53	747.63 ± 125.40
70	1104.06 ± 196.15	865.06 ± 134.75
77	1269.57 ± 217.27	973.09 ± 146.80
84	1440.31 ± 242.77	1081.42 ± 164.33
91	1599.97 ± 267.16	1169.98 ± 170.47
98	1753.15 ± 292.47	1255.14 ± 179.65
105	1889.15 ± 302.86	1322.52 ± 189.79
112	1999.15 ± 314.54	1383.25 ± 198.66
119	2113.48 ± 333.62	1440.18 ± 207.69
126	2205.58 ± 346.65	1503.31 ± 222.58
133	2276.34 ± 364.55	1571.06 ± 242.16

Abbreviations: n, sample size. <sup>1</sup>Only 262 Creole chickens reached the end of the study. The percentage of mortality was 8.4%.

Table 1.2. Parameters estimated for the Gompertz-Laird, Logistic, Richards, and Von Bertalanffy model in the growth curve of Mexican Creole chickens (Males n = 146) using different data collection periods.

Model	DCP <sub>1</sub> (N = 2190)	DCP <sub>2</sub> (N = 2920)	DCP <sub>3</sub> (N = 3942)	DCP <sub>4</sub> (N = 4672)
<b>Gompertz</b>				
Hatching BW (W <sub>0</sub> , g)	32.63	32.31	33.42	33.27
CI 95%	(26.99, 38.86)	(26.35, 38.97)	(29.96, 37.07)	(29.52, 37.27)
Length of the CI	11.87	12.62	7.11	7.75
Specific initial growth rate (L, d <sup>-1</sup> )	0.099162	0.099441	0.098200	0.098301
CI 95%	(0.091721, 0.107393)	(0.091722, 0.108010)	(0.093575, 0.103118)	(0.093383, 0.103552)
Length of the CI	0.015672	0.016288	0.009543	0.010169
Specific maturation growth rate (K, d <sup>-1</sup> )	0.022081	0.022086	0.021971	0.021962
CI 95%	(0.021069, 0.023118)	(0.021080, 0.023117)	(0.021311, 0.022641)	(0.021280, 0.022656)
Length of the CI	0.002049	0.002037	0.001330	0.001376
Age of maximum growth (t <sub>i</sub> , d)	68.03	68.13	68.15	68.24
Asymptotic weight (W <sub>A</sub> , g)	2910.29	2915.63	2917.79	2923.83
AR <sup>2</sup>	0.94035	0.92668	0.94584	0.94105
AIC	29192.00	39701.19	50843.27	61757.94
BIC	29214.77	39725.10	50868.39	61783.73
<b>Logistic</b>				
Specific maturation growth rate (K, d <sup>-1</sup> )	0.044261	0.043505	0.045905	0.044737
CI 95%	(0.042871, 0.045691)	(0.042146, 0.044902)	(0.044943, 0.046886)	(0.043789, 0.045703)
Length of the CI	0.002820	0.002756	0.001943	0.001914
Age of maximum growth (t <sub>i</sub> , d)	73.97	74.58	72.24	73.30
CI 95%	(72.71, 75.29)	(73.42, 75.80)	(71.37, 73.15)	(72.43, 74.20)
Length of the CI	2.58	2.38	1.78	1.77
Asymptotic weight (W <sub>A</sub> , g)	2404.53	2418.89	2357.90	2381.50
CI 95% (g)	(2361.96, 2449.77)	(2378.00, 2462.44)	(2327.88, 2389.08)	(2351.40, 2412.90)
Length of the CI	87.81	84.44	61.20	61.50
AR <sup>2</sup>	0.93848	0.92523	0.94309	0.93895
AIC	29258.99	39758.55	51039.07	61921.41
BIC	29281.76	39782.47	51064.19	61947.21

Abbreviations: n, sample size; N, total number of data; DCP, data collection periods; CI, confidence intervals; AR<sup>2</sup>, adjusted coefficient of determination; AIC, Akaike information criterion; BIC, Bayesian information criterion. DCP<sub>1</sub> (weights recorded weekly from hatching to 63 d, and every two weeks, from 63 to 133 d of age), DCP<sub>2</sub> (weights recorded weekly from hatching to 133 d of age), DCP<sub>3</sub> (weights recorded every third day, from hatching to 63 d, and every 14 d, from 63 to 133 d of age) and DCP<sub>4</sub> (weights recorded every third day, from hatching to 63 d, and weekly, from 63 to 133 d of age). The higher the AR<sup>2</sup>, and the lower the width of CI, as well as the AIC and BIC values, the better the model was considered.

Model	DCP <sub>1</sub> (N = 2190)	DCP <sub>2</sub> (N = 2920)	DCP <sub>3</sub> (N = 3942)	DCP <sub>4</sub> (N = 4672)
<b>Richards</b>				
Specific maturation growth rate (K, d <sup>-1</sup> )	0.008462	0.008509	0.008262	0.008298
CI 95%	(0.007659, 0.009222)	(0.007719, 0.009255)	(0.007691, 0.008811)	(0.007732, 0.008842)
Length of the CI	0.001563	0.001536	0.00112	0.00111
Age of maximum growth (t <sub>i</sub> , d)	68.55	68.90	68.23	68.47
CI 95%	(66.39, 70.67)	(66.65, 71.03)	(66.91, 69.62)	(67.05, 69.89)
Length of the CI	4.28	4.38	2.71	2.84
Asymptotic weight (W <sub>A</sub> , g)	2827.36	2820.54	2872.51	2867.76
CI 95%	(2668.48, 3038.09)	(2664.73, 3026.38)	(2745.50, 3027.86)	(2741.92, 3021.73)
Length of the CI	369.61	361.65	282.36	279.81
Shape parameter (m)	1.08337	1.10195	1.03745	1.04998
CI 95%	(0.91558, 1.26605)	(0.92327, 1.29760)	(0.93292, 1.14735)	(0.93753, 1.16892)
Length of the CI	0.35047	0.37433	0.21443	0.23139
AR <sup>2</sup>	0.94034	0.92668	0.94584	0.94105
AIC	29193.09	39701.98	50844.79	61759.20
BIC	29221.55	39731.88	50876.19	61791.45
<b>Von Bertalanffy</b>				
Specific maturation growth rate (K, d <sup>-1</sup> )	0.014544	0.014822	0.013858	0.014189
CI 95%	(0.013612, 0.015504)	(0.013892, 0.015780)	(0.013264, 0.014463)	(0.013567, 0.014823)
Length of the CI	0.001892	0.001888	0.001199	0.001256
Age of maximum growth (t <sub>i</sub> , d)	66.01	65.33	68.24	67.20
Asymptotic weight (W <sub>A</sub> , g)	3468.60	3431.41	3604.64	3549.83
CI 95%	(3300.58, 3661.95)	(3273.88, 3611.87)	(3475.09, 3747.34)	(3423.84, 3688.75)
Length of the CI	361.37	337.99	272.25	264.91
Integration constant (B)	0.87061	0.87788	0.85818	0.86494
CI 95%	(0.84923, 0.89477)	(0.85410, 0.90471)	(0.84662, 0.87070)	(0.85163, 0.87938)
Length of the CI	0.04554	0.05061	0.02408	0.02775
BW at the inflection point age (W <sub>I</sub> , g)	1027.73	1016.71	1068.04	1051.80
AR <sup>2</sup>	0.93964	0.92607	0.94510	0.94042
AIC	29217.61	39725.61	50897.21	61807.93
BIC	29240.38	39749.53	50922.33	61833.72

Abbreviations: n, sample size; N, total number of data; DCP, data collection periods; CI, confidence intervals; AR<sup>2</sup>, adjusted coefficient of determination; AIC, Akaike information criterion; BIC, Bayesian information criterion. DCP<sub>1</sub> (weights recorded weekly from hatching to 63 d, and every two weeks, from 63 to 133 d of age), DCP<sub>2</sub> (weights recorded weekly from hatching to 133 d of age), DCP<sub>3</sub> (weights recorded every third day, from hatching to 63 d, and every 14 d, from 63 to 133 d of age) and DCP<sub>4</sub> (weights recorded every third day, from hatching to 63 d, and weekly, from 63 to 133 d of age). The higher the AR<sup>2</sup>, and the lower the width of CI, as well as the AIC and BIC values, the better the model was considered.

Table 1.3. Parameters estimated for the Gompertz-Laird, Logistic, Richards, and Von Bertalanffy model in the growth curve of Mexican Creole chickens (Females n = 116) using different data collection periods.

Model	DCP <sub>1</sub> (N = 1740)	DCP <sub>2</sub> (N = 2320)	DCP <sub>3</sub> (N = 3132)	DCP <sub>4</sub> (N = 3712)
<b>Gompertz</b>				
Hatching BW (W <sub>0</sub> , g)	33.17	32.21	33.14	32.54
CI 95%	(27.86, 38.95)	(26.72, 38.23)	(29.87, 36.58)	(29.07, 36.20)
Length of the CI	11.09	11.51	6.71	7.13
Specific initial growth rate (L, d <sup>-1</sup> )	0.095481	0.097151	0.095772	0.096833
CI 95%	(0.088160, 0.103590)	(0.089539, 0.105606)	(0.091066, 0.100785)	(0.091847, 0.102165)
Length of the CI	0.015430	0.016067	0.009719	0.010318
Specific maturation growth rate (K, d <sup>-1</sup> )	0.023747	0.024039	0.023833	0.024023
CI 95%	(0.022648, 0.024877)	(0.022955, 0.025151)	(0.023102, 0.024575)	(0.023275, 0.024783)
Length of the CI	0.002229	0.002196	0.001473	0.001508
Age of maximum growth (t <sub>i</sub> , d)	58.59	58.10	58.36	58.03
Asymptotic weight (W <sub>A</sub> , g)	1848.56	1832.79	1843.23	1832.13
AR <sup>2</sup>	0.94172	0.92966	0.94484	0.94204
AIC	21810.60	29615.12	38126.30	46161.31
BIC	21832.45	29638.12	38150.50	46186.19
<b>Logistic</b>				
Specific maturation growth rate (K, d <sup>-1</sup> )	0.044991	0.044373	0.047026	0.045947
CI 95%	(0.043426, 0.046606)	(0.042881, 0.045909)	(0.045923, 0.048151)	(0.044874, 0.047043)
Length of the CI	0.003180	0.003028	0.002228	0.002169
Age of maximum growth (t <sub>i</sub> , d)	66.49	66.78	64.69	65.38
CI 95%	(65.25, 67.80)	(65.66, 67.95)	(63.85, 65.57)	(64.55, 66.24)
Length of the CI	2.55	2.3	1.72	1.69
Asymptotic weight (W <sub>A</sub> , g)	1594.87	1595.84	1564.38	1570.85
CI 95% (g)	(1567.69, 1623.67)	(1570.92, 1622.26)	(1544.81, 1584.64)	(1552.23, 1590.22)
Length of the CI	55.98	51.34	39.83	37.99
AR <sup>2</sup>	0.93866	0.92724	0.94095	0.93905
AIC	21899.71	29693.77	38339.66	46348.03
BIC	21921.55	29716.77	38363.86	46372.90

Abbreviations: n, sample size; N, total number of data; DCP, data collection periods; CI, confidence intervals; AR<sup>2</sup>, adjusted coefficient of determination; AIC, Akaike information criterion; BIC, Bayesian information criterion. DCP<sub>1</sub> (weights recorded weekly from hatching to 63 d, and every two weeks, from 63 to 133 d of age), DCP<sub>2</sub> (weights recorded weekly from hatching to 133 d of age), DCP<sub>3</sub> (weights recorded every third day, from hatching to 63 d, and every 14 d, from 63 to 133 d of age) and DCP<sub>4</sub> (weights recorded every third day, from hatching to 63 d, and weekly, from 63 to 133 d of age). The higher the AR<sup>2</sup>, and the lower the width of CI, as well as the AIC and BIC values, the better the model was considered.



Model	DCP <sub>1</sub> (N = 1740)	DCP <sub>2</sub> (N = 2320)	DCP <sub>3</sub> (N = 3132)	DCP <sub>4</sub> (N = 3712)
<b>Richards</b>				
Specific maturation growth rate (K, d <sup>-1</sup> )	0.008498	0.008738	0.008407	0.008649
CI 95%	(0.007712, 0.009242)	(0.008008, 0.009430)	(0.007829, 0.008964)	(0.008103, 0.009174)
Length of the CI	0.001530	0.001422	0.001135	0.001071
Age of maximum growth (t <sub>i</sub> , d)	57.88	57.69	57.67	57.54
CI 95%	(55.25, 60.36)	(54.90, 60.28)	(56.12, 59.18)	(55.87, 59.14)
Length of the CI	5.12	5.38	3.06	3.27
Asymptotic weight (W <sub>A</sub> , g)	1884.17	1848.38	1896.56	1859.71
CI 95%	(1783.44, 2017.10)	(1758.97, 1964.11)	(1816.37, 1994.52)	(1787.94, 1946.43)
Length of the CI	233.66	205.14	178.15	158.49
Shape parameter (m)	0.93469	0.96712	0.91620	0.95055
CI 95%	(0.77109, 1.11268)	(0.79606, 1.15404)	(0.80808, 1.03045)	(0.83720, 1.07071)
Length of the CI	0.34159	0.35798	0.22237	0.23351
AR <sup>2</sup>	0.94171	0.92964	0.94486	0.94203
AIC	21812.05	29616.99	38126.20	46162.64
BIC	21839.36	29645.74	38156.45	46193.74
<b>Von Bertalanffy</b>				
Specific maturation growth rate (K, d <sup>-1</sup> )	0.016540	0.017133	0.016075	0.016581
CI 95%	(0.015544, 0.017566)	(0.016142, 0.018155)	(0.015427, 0.016735)	(0.015909, 0.017266)
Length of the CI	0.002022	0.002013	0.001308	0.001357
Age of maximum growth (t <sub>i</sub> , d)	54.43	53.23	55.40	54.27
Asymptotic weight (W <sub>A</sub> , g)	2097.08	2049.99	2136.54	2093.24
CI 95%	(2014.91, 2190.08)	(1976.78, 2132.26)	(2074.49, 2204.02)	(2035.41, 2156.15)
Length of the CI	175.17	155.48	129.53	120.74
Integration constant (B)	0.82015	0.82981	0.81214	0.81974
CI 95%	(0.79897, 0.84389)	(0.80601, 0.85645)	(0.80006, 0.82514)	(0.80595, 0.83459)
Length of the CI	0.04492	0.05044	0.02508	0.02864
BW at the inflection point age (W <sub>I</sub> , g)	621.36	607.40	633.05	620.22
AR <sup>2</sup>	0.94137	0.92929	0.94449	0.94164
AIC	21820.90	29627.60	38146.14	46186.87
BIC	21842.75	29650.60	38170.34	46211.74

Abbreviations: n, sample size; N, total number of data; DCP, data collection periods; CI, confidence intervals; AR<sup>2</sup>, adjusted coefficient of determination; AIC, Akaike information criterion; BIC, Bayesian information criterion. DCP<sub>1</sub> (weights recorded weekly from hatching to 63 d, and every two weeks, from 63 to 133 d of age), DCP<sub>2</sub> (weights recorded weekly from hatching to 133 d of age), DCP<sub>3</sub> (weights recorded every third day, from hatching to 63 d, and every 14 d, from 63 to 133 d of age) and DCP<sub>4</sub> (weights recorded every third day, from hatching to 63 d, and weekly, from 63 to 133 d of age). The higher the AR<sup>2</sup>, and the lower the width of CI, as well as the AIC and BIC values, the better the model was considered.

## 1.5. DISCUSSION

Modeling growth characteristics of poultry is important for both management and genetic improvement. The precision of the prediction equation is essential in choose the appropriate model for the data collected. It is common practice to collect growth data on the Mexican Creole chickens at different time periods. Thus, the effect of DCP on the precision of models predicting their growth becomes important and worth investigating.

### 1.5.1. Goodness-of-fit criteria and parameters of the growth models

In general, the Gompertz-Laird model showed the best goodness-of-fit as judged by the  $AR^2$ , AIC and BIC. These values were also better in males than in females. Selvaggi et al. (2015) indicated that the goodness-of-fit of a specific model depends, among other factors, on sampling methods, genotype and sex of the birds. Likewise, based on 622 reports carried out from 1970 to 2016 (Narinç, 2017) reported that the non-linear models more frequently used to obtain chickens' growth curves were: Gompertz-Laird: (38.26%), Logistic: (29.75%), Richards: (17.52%), and Von Bertalanffy: (14.47%). The results were however different from that reported by Mata-Estrada et al. (2020), who found that the Von Bertalanffy model followed by that of Gompertz-Laird, best described the growth curve of Mexican Creole chickens. Other reports on indigenous chickens (Norris et al., 2007; Zhao et al., 2015; Adenaike et al., 2017), broilers (Topal and Bolukbasi, 2008; Koushandeh et al., 2019), guinea fowl (Nahashon et al., 2006), and quail (Rossi et al., 2017) reported that the Gompertz-Laird function, better fit the growth curves compared to the other models.

### 1.5.2. Values of the Gompertz-Laird model parameters

The high value of L (initial specific growth rate) and low of K (specific maturation growth rate), shown by the male data (0.098200 and 0.021971 d<sup>-1</sup>, respectively) compared to the corresponding values of females (0.095772 and 0.023833 d<sup>-1</sup>, respectively), indicate that males grew faster than females (higher value of L) and decrease slower than females (lower value of K). The initial specific growth rate (L, d<sup>-1</sup>) is affected by sex (Jaap, 1970), with males recording higher values (Mignon-Grasteau, 1999). Mata-Estrada et al. (2020) found the same trend but with lower values: males (0.0765 d<sup>-1</sup>) and females (0.0751 d<sup>-1</sup>). Similarly, Mignon-Grasteau (1999) reported a similar pattern with very close values for males (0.1001 d<sup>-1</sup>) and females (0.0979 d<sup>-1</sup>) while Aggrey (2002) reported lower data (0.0908 d<sup>-1</sup>; 0.0804 d<sup>-1</sup>, respectively).

The same trend for K using Mexican Creole chickens was reported by Mata-Estrada et al. (2020), the values of males (0.0195 d<sup>-1</sup>) were higher than those of females (0.0210 d<sup>-1</sup>). On the contrary, using Athens-Canadian chickens, Aggrey (2002) showed an opposite trend of K: males 0.0224 d<sup>-1</sup>, females 0.0216 d<sup>-1</sup>. Therefore, the data presented by Mata-Estrada et al. (2020) is in concordance with data from the current study with Mexican Creole chickens.

The initial weight ( $W_0$ ) estimated by the Gompertz model for males and females (33.42 and 33.14 g, respectively) was 3.81 and 3.05 g lower than the observed values with the chickens of the current study (37.23 and 36.19 g, respectively); however, Mata-Estrada et al. (2020) obtained higher values (53.5 and 51.1 g, respectively). In another study with random mating unimproved chicken population, Aggrey (2002) also estimated higher values of hatching weights for males and females (44.6 and 47.5 g, respectively).

Mignon-Grasteau (1999) and Aggrey (2002) showed that asymptotic weight ( $W_A$ , g) was higher in males compared to females. The values of  $t_i$  and  $W_A$  in this study were: 68.15 d and 2917.79 g (males) and 58.36 d and 1843.23 g (females); Mata-Estrada et al. (2020), reported that for males and females,  $t_i$  was higher (69.80 and 60.80 d) and  $W_A$  lower (2683.1 and 1839.1 g) than the values obtained in the present study. The data of males showed greater values of  $t_i$  and  $W_A$  than those of females. This indicates that the growth rate of females begins to decrease faster than that of males (higher  $t_i$ ), and therefore they reach a lower final weight, a lower asymptotic weight ( $W_A$ ).

### **1.5.3. Precision of the Gompertz-Laird model parameters**

For all the models evaluated, those with smaller CI also had the highest precision. In the current study, there were 13 parameter estimates per sex, out of which 8 and 7 parameters for males and females (62, and 54%), respectively had small CI in the DCP<sub>3</sub> data set. In the DCP<sub>4</sub> data set, 38% of male and 46% of female parameter estimates had smaller CI. It appears that in general, DCP<sub>3</sub> resulted in more precision outcomes than DCP<sub>4</sub>.

For the data to which the Gompertz-Laird model were applied, the CI for both sexes for all parameters of DCP<sub>3</sub> regarding  $W_0$ , L and K were smaller than all the other DCP sets.

When the Gompertz-Laird model was applied to data from both sexes, the CI for all parameters ( $W_0$ , L and K) for the DCP<sub>3</sub> set was smaller when compared with other DCP sets.

Aggrey (2008) suggested that the accuracy of data collection and the precision of the estimated parameters should be considered prior to choosing a particular growth model. Also, because the L and K parameters are related to the maximum and asymptotic weight of the Gompertz-Laird model, the precision of these estimates has to be high if they were to be used in a genetic

improvement program (Grossman and Bohren, 1985; Barbato, 1991; Manjula et al., 2018; Faraji-Arough et al., 2019).

## **1.6. CONCLUSION**

Based on the higher adjusted  $R^2$ , Akaike and Bayesian information criteria, the Gompertz-Laird model showed the best goodness-of-fit, for growth data of the Mexican Creole chicken. Judging from the CI values, it is recommended that the chickens be weighed every third day from hatching to 63 d and subsequently every 14 d until 133 d of age.

## **1.7. ACKNOWLEDGMENTS**

D. Z.-C. expresses his gratitude to the National Council of Science and Technology (CONACyT) for the scholarship granted to carry out his Doctorate in Science studies.

## **CAPITULO II. ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE HERENCIA Y CORRELACIONES GENÉTICAS DE CARACTERÍSTICAS ASOCIADAS A LA PRODUCCIÓN DE CARNE EN AVES CRIOLLAS MEXICANAS**

Diego Zárate Contreras, D. en C.  
Colegio de Postgraduados, 2022

### **2.1. RESUMEN**

El objetivo de este estudio fue estimar el índice de herencia de las características peso vivo a los 84 d de edad ( $PV_{84}$ ), conversión alimenticia acumulada ( $CAA_{49-84}$ ) y consumo residual de alimento ( $CRA_{49-84}$ ) de 49 a 84 d de edad, así como sus correlaciones genéticas, en aves Criollas Mexicanas. Los datos utilizados para dichas características correspondieron a la información de 755 animales. Se realizó un análisis descriptivo de los datos mediante el procedimiento UNIVARITE de SAS. Las aves experimentales fueron identificadas por sexo y pesadas semanalmente de manera individual del nacimiento hasta los 84 d de edad. El consumo de alimento (g) se registró semanalmente de manera individual, del d 49 al 84 de edad. El modelo animal utilizado para calcular el índice de herencia y las correlaciones genéticas, consideró el efecto genético aditivo del animal como el único efecto aleatorio. El pedigrí se integró con la información de 1052 animales. Los componentes de varianza fueron estimados por métodos de máxima verisimilitud restringida con los programas REMLF90 y AIREMLF90. Los errores estándar de las estimaciones se obtuvieron mediante AIREMLF90. Se observaron medias de  $PV_{84}$  y  $CAA_{49-84}$  de  $1.22 \pm 0.24$  g y  $4.04 \pm 0.62$  g/g, respectivamente. El  $CRA_{49-84}$  varió de -1.17 a 1.22 g. Se calcularon índices de herencia de 0.917, 0.132 y 0.285, para las características  $PV_{84}$ ,  $CAA_{49-84}$  y  $CRA_{49-84}$ , respectivamente. La correlación genética de  $PV_{84}$  con  $CAA_{49-84}$  y  $CRA_{49-84}$  fue de -0.650 y -0.162, respectivamente. En tanto la correlación genética entre  $CAA_{49-84}$  y  $CRA_{49-84}$  fue de 0.371. Se concluye que las características  $PV_{84}$ ,  $CAA_{49-84}$ , y  $CRA_{49-84}$  son heredables en la población de aves Criollas Mexicana estudiada, y la asociación genética entre ellas es favorable, por lo que sería factible implementar un programa para la mejora de éstas a través de métodos de selección.

**Palabras clave:** Parámetros genéticos, índice de herencia, correlaciones genéticas, producción de carne, aves Criollas Mexicanas.

# ESTIMATION OF HERITABILITY AND GENETIC CORRELATIONS OF TRAITS ASSOCIATED TO MEAT PRODUCTION IN MEXICAN CREOLE CHICKENS

Diego Zárate Contreras, D. en C.  
Colegio de Postgraduados, 2022

## 2.2. ABSTRACT

The objective of this study was to estimate the heritability of the traits body weight at 84 d of age ( $BW_{84}$ ), accumulated feed conversion ratio ( $AFCR_{49-84}$ ) and residual feed intake ( $RFI_{49-84}$ ) from 49 to 84 d of age, as well as their genetic correlations, in Mexican Creole Chickens. The data used for the genetic analysis belonged to 755 animals. A descriptive analysis of the data was performed using the UNIVARITE procedure of SAS. The experimental birds were identified by sex and weighed individually each week from hatching to 84 d of age. Feed consumption (g) was recorded weekly by individual, from d 49 to 84 of age. The animal model used to calculate the heritability and the genetic correlations considered the animal's additive genetic effect as the only random effect. The pedigree was integrated with the information of 1052 animals. The variance components were estimated by restricted maximum likelihood methods with the REMLF90 and AIREMLF90 programs. The standard errors of the estimates were obtained using AIREMLF90. Means of  $BW_{84}$  and  $AFCR_{49-84}$  were  $1.22 \pm 0.24$  g and  $4.04 \pm 0.62$  g/g, respectively. The  $RFI_{49-84}$  varied from -1.17 to 1.22 g. The heritabilities of  $BW_{84}$ ,  $AFCR_{49-84}$ , and  $RFI_{49-84}$  were 0.917, 0.132, and 0.285, respectively. Genetic correlations of  $BW_{84}$  with  $AFCR_{49-84}$  and  $RFI_{49-84}$  were -0.650 and -0.162, respectively. Genetic association of  $AFCR_{49-84}$  and  $RFI_{49-84}$  was 0.371. In conclusion,  $BW_{84}$ ,  $AFCR_{49-84}$ , and  $RFI_{49-84}$  are heritable traits in the studied population of Mexican Creole Chickens, and the genetic association among them is favorable. Thus, a genetic selection program can be implemented for their improvement.

**Key words:** Genetic parameters, heritability, genetic correlation, meat production, Mexican Creole Chickens.

### 2.3. INTRODUCCIÓN

La avicultura es una actividad importante en México, la producción de carne y huevo participan hasta con el 62.9 % de la producción pecuaria nacional (UNA, 2021). Se estima que el sistema de producción en patio representa el 10 % de la producción avícola en México (Lastra et al., 1998); en este sistema se aprovecha el ave Criolla (*Gallus gallus domesticus*) y se considera que más del 90% de las familias rurales de México practican dicha forma de producción (Segura, 1988). Se considera que las aves Criollas son un recurso genético que deriva de los primeros ejemplares traídos a México durante la conquista (Cuca-García et al., 2018), y desde ese tiempo han sido expuestas a situaciones nutricionales, sanitarias y ambientales adversas, adaptándose a las condiciones propias de cada nicho ecológico en el que habitan (Andrade-Yucaill et al., 2015), por ello, representan un recurso genético susceptible de ser aprovechado. A diferencia de las aves utilizadas en los sistemas de producción intensivos, las aves de los sistemas de producción en patio en México han sido escasamente caracterizados en términos de su potencial de mejoramiento a través de selección genética, a este respecto en la literatura científica solo se identifican tres estudios (Prado-González et al., 2003; Castillo y Segura-Correa, 2004; Segura-Correa et al., 2004). En un programa de mejoramiento es necesario conocer los parámetros genéticos de la población objetivo, para las características de interés (Chatterjee y Misra, 2001; Laxmi et al., 2002). Estrategias de selección en especies avícolas con fines de producción de carne se basan en el estudio de características de crecimiento y de la canal (Zuidhof et al., 2014; Collins, et al., 2016; Prakash et al., 2020); por ejemplo, algunos autores mencionan características tales como la tasa de crecimiento, peso vivo a una edad determinada, eficiencia alimenticia, rendimiento de la pechuga, rendimiento en canal, conformación corporal, integridad esquelética (Kumar et al., 2018) y el consumo residual de alimento (Aggrey 2010, Fathi et al., 2021). Los valores de índice de herencia



para peso vivo (Kinney, 1969) conversión alimenticia acumulada (Prakash et al., 2020) y consumo de alimento residual (Fathi et al., 2021) en pollos comerciales en la literatura varían considerablemente (0.09 a 0.94, 0.11 a 0.44 y 0.03 a 0.84, respectivamente). Como ya se mencionó, son pocos los estudios sobre de parámetros genéticos en aves Criollas de México (Prado-González et al., 2003; Castillo y Segura-Correa, 2004; Segura-Correa, et al., 2004), o en aves locales de otros países en vías de desarrollo (Melo et al., 2006; Dana et al., 2011; Osei-Amponsah et al., 2013), lo que limita la implementación de programas de selección para la mejora productiva de las aves utilizadas en los sistemas de producción familiar o de patio, asimismo se limita el aprovechamiento de los recursos avícolas locales. Existen antecedentes que demuestran la factibilidad de dicho aprovechamiento (Norris and Ngambi, 2006; Manjula et al., 2018), además de que es una iniciativa promovida por entidades asociadas al tema de la alimentación de la población humana a nivel global (FAO, 2015). El objetivo de este estudio fue estimar el índice de herencia de las características peso vivo a los 84 d de edad, conversión alimenticia acumulada y consumo residual de alimento de 49 a 84 d de edad, así como sus correlaciones genéticas, en aves Criollas mexicanas.

#### **2.4. MATERIALES Y MÉTODOS**

Las aves fueron criadas siguiendo las normas establecidas por el Comité de Bienestar Animal del Colegio de Postgraduados (COLPOS, 2016). Esta investigación se realizó en las instalaciones avícolas del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, ubicado en Texcoco, Estado de México, en las coordenadas 19° 27' 47" latitud norte y 98° 54' 27" longitud oeste, a una altitud de 2,247 m.

### 2.4.1. Manejo de las aves

Un total de 85 gallinas y 85 gallos reproductores Criollos Mexicanos, provenientes de una población experimental con pedigrí bajo apareamiento aleatorio por tres generaciones (Mata-Estrada et al., 2020), se utilizaron para producir 864 individuos en 11 bloques de nacimientos. Los apareamientos se realizaron mediante inseminación artificial en relación 1 macho: 1 hembra. Al nacimiento las aves se alojaron en criadoras eléctricas con 5 niveles; cada nivel con dos espacios de 0.4 m x 1.2 m (0.048 m<sup>2</sup>/ave) hasta los 49 d de edad, posteriormente se alojaron en jaulas individuales de 0.40 m x 0.30 m y una altura de 0.37 m. Al nacer, las aves se mantuvieron a una temperatura de 32 °C, que se redujo a razón de 1 °C por semana, hasta alcanzar la temperatura ambiente (26 °C). De 0 a 63 d de edad, las aves fueron alimentadas con una dieta de iniciación que contenía 205 g de proteína cruda/kg de alimento y 12.1336 MJ EM/kg de alimento, 10 g de calcio/kg de alimento (Ca) y 4.5 g de fósforo disponible (Pd)/kg de alimento, posteriormente se alimentaron con una dieta de crecimiento con 180 g de proteína cruda/kg de alimento y 12.3428 MJ EM/kg de alimento, 9.5 g de Ca/kg de alimento y 4.0 g Pd/kg de alimento, ambas dietas se elaboraron a base de maíz y pasta de soya. El alimento y el agua se ofrecieron *ad libitum*.

Las aves experimentales fueron identificadas por sexo y pesadas semanalmente de manera individual del nacimiento hasta los 84 d de edad. El consumo de alimento (g) se registró semanalmente de manera individual, del d 49 al 84 de edad. Con base en esto, la información que posteriormente se utilizó en el análisis estadístico, correspondió a las siguientes características: PV a 84 d de edad (PV<sub>84</sub>, kg), conversión alimenticia acumulada de 49 a 84 d de edad (CAA<sub>49-84</sub>, g/g), y consumo residual de alimento de 49 a 84 d de edad (CRA<sub>49-84</sub>, g).

### 2.4.2. Análisis estadístico

Los datos utilizados para el análisis de las características  $PV_{84}$ ,  $CAA_{49-84}$  y  $CRA_{49-84}$  correspondieron a la información de 755 animales. Se realizó un análisis descriptivo de los datos mediante el procedimiento UNIVARITE de SAS Institute Inc. (2011; version 9.3, Cary, NC). El consumo residual de alimento se calculó de acuerdo con Aggrey et al. (2010) con la expresión:

$$CRA = CA - [a + b_1 * PV^{0.75} + b_2 * GPV]$$

Donde: CA es consumo de alimento de 49 a 84 d de edad, PV es peso vivo a los 49 d de edad, GPV es ganancia de peso vivo de 49 a 84 d de edad,  $a$  es el intercepto,  $b_1$  y  $b_2$  son coeficientes de regresión parcial de CA en  $PV^{0.75}$  y GPV.

El modelo animal utilizado para calcular el índice de herencia y las correlaciones genéticas de las características  $PV_{84}$ ,  $CAA_{49-84}$  y  $CAR_{49-84}$  fue:

$$y_{ijk} = Nacimiento_i + Sexo_j + a_k + e_{ijk}$$

Donde  $y_{ijk}$  es el registro de la  $k$ -ésima ave del  $i$ -ésimo bloque de nacimiento y  $j$ -ésimo sexo;  $Nacimiento_i$  = efecto fijo del  $i$ -ésimo bloque de nacimiento,  $i = 1 \dots 8$ ;  $Sexo_j$  = efecto fijo del  $j$ -ésimo sexo,  $j = 1, 2$ ;  $a_k$  = efecto aleatorio aditivo directo de la  $k$ -ésima ave y  $e_{ijk}$  = error residual aleatorio.

El pedigrí se integró con la información de 1052 animales. Los componentes de varianza fueron estimados por métodos de máxima verisimilitud restringida (Miształ, 2002) con los programas REMLF90 y AIREMLF90 (Miształ, 2018; Masuda, 2018). Los errores estándar de las estimaciones se obtuvieron mediante AIREMLF90 (Miształ, 2018; Masuda, 2018). Se realizaron análisis bivariados para calcular las correlaciones genéticas entre características.

## 2.5. RESULTADOS

Se observaron medias de  $PV_{84}$  y  $CAA_{49-84}$  de  $1.22 \pm 0.24$  g y  $4.04 \pm 0.62$  g/g, respectivamente. El  $CRA_{49-84}$  varió de -1.17 a 1.22 g (Cuadro 2.1). Asimismo, se observó una mortalidad del 12.62 %.

Cuadro 2.1. Estadísticos descriptivos de características asociadas a la producción de carne en aves Criollas Mexicanas de una población bajo apareamiento aleatorio.

Característica	N	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
$PV_{84}$	755	1.22	0.24	0.63	1.89
$CAA_{49-84}$	755	4.04	0.62	2.21	8.34
$CRA_{49-84}$	755	0.00	0.27	-1.17	1.22

$PV_{84}$ , Peso vivo (kg) a los 84 d de edad;  $CAA_{49-84}$ , conversión alimenticia acumulada (g/g) de 49 a 84 d de edad;  $CRA_{49-84}$ , consumo de alimento residual (g) de 49 a 84 d de edad.

Se calcularon índices de herencia de 0.917, 0.132 y 0.285, para las características  $PV_{84}$ ,  $CAA_{49-84}$  y  $CRA_{49-84}$ , respectivamente (Cuadro 2.2).

Cuadro 2.2. Componentes de varianza e índices de herencias de características asociadas a la producción de carne en aves Criollas Mexicanas de una población bajo apareamiento aleatorio.

Característica	Varianza genética	Varianza residual	Índice de herencia
$PV_{84}$	$0.034 \pm 0.008$	$0.003 \pm 0.004$	$0.917 \pm 0.001$
$CAA_{49-84}$	$0.047 \pm 0.026$	$0.307 \pm 0.024$	$0.132 \pm 0.002$
$CRA_{49-84}$	$0.018 \pm 0.006$	$0.044 \pm 0.005$	$0.285 \pm 0.001$

$PV_{84}$ , Peso vivo (kg) a los 84 d de edad;  $CAA_{49-84}$ , conversión alimenticia acumulada (g/g) de 49 a 84 d de edad;  $CRA_{49-84}$ , consumo de alimento residual (g) de 49 a 84 d de edad.

La correlación genética de  $PV_{84}$  con  $CAA_{49-84}$  y  $CRA_{49-84}$  fue de -0.650 y -0.162, respectivamente.

En tanto la correlación genética entre  $CAA_{49-84}$  y  $CRA_{49-84}$  fue de 0.371 (Cuadro 2.3).

Cuadro 2.3. Correlaciones genéticas (arriba de la diagonal) y fenotípicas (debajo de la diagonal) de características asociadas a la producción de carne en aves Criollas Mexicanas de una población bajo apareamiento aleatorio.

Característica	PV <sub>84</sub>	CAA <sub>49-84</sub>	CRA <sub>49-84</sub>
PV <sub>84</sub>		-0.650	-0.162
CAA <sub>49-84</sub>	-0.399***		0.371
CRA <sub>49-84</sub>	-0.046	0.621***	

PV<sub>84</sub>, Peso vivo (kg) a los 84 d de edad; CAA<sub>49-84</sub>, conversión alimenticia acumulada (g/g) de 49 a 84 d de edad; CRA<sub>49-84</sub>, consumo de alimento residual (g) de 49 a 84 d de edad. \*\*\* (p < 0.001).

## 2.6. DISCUSIÓN

Los pesos vivos de aves Criollas del presente estudio, a los 84 d de edad, son inferiores a los valores de  $1.803 \pm 270.3$  reportados por N'dr et al. (2006) a las 70 d de edad en una línea de carne de crecimiento lento. Dana et al. (2011) registraron que el peso vivo de aves locales de Etiopía a los 84 d de edad fue de  $0.428 \pm 0.0039$  kg, valor inferior en  $0.792$  kg respecto a las aves de este análisis. En contraste, la media de PV<sub>84</sub> de las aves Criollas Mexicanas estudiadas fue cercana ( $1.22 \pm 0.24$  kg) al valor encontrado por Norris y Ngambi (2006) en aves locales de Sudáfrica a los 70 d de edad ( $1.10 \pm 0.039$  kg). La CAA<sub>49-84</sub> y el CRA<sub>49-84</sub> que se observa en el Cuadro 2.1 son superiores a los valores descritos por N'dr et al. (2006) en una línea de pollos para carne de crecimiento lento d 56 al 70 de edad ( $3.15 \pm 0.40$  y  $0.62 \pm 91.71$ , respectivamente). Por otro lado, Segura-Correa et al. (2004) reportaron una conversión alimenticia acumulada del d 14 a 49 de edad, de  $4.36 \pm 0.11$  g/g en aves Criollas en México.

Los valores PV<sub>84</sub>, CAA<sub>49-84</sub> y CRA<sub>49-84</sub> aquí discutidos ilustran el desempeño productivo de las aves Criollas y locales encontrados en sistemas de producción familiar en países en vías de

desarrollo (FAO, 2015), el cual contrasta con lo correspondiente en aves utilizadas en producción industrial intensiva (Le Bihan-Duval et al., 2008; Mulder et al., 2009; Tavares et al., 2016).

El índice de herencia calculado para  $PV_{84}$  fue alto (0.917), en contraste, un valor inferior (0.13) fue calculado por Prado-González et al. (2003), para aves Criollas en México a los 84 d de edad, sin embargo, en dicho estudio el modelo estadístico incluyó, además del efecto aditivo directo del animal, los efectos maternos y de ambiente común. Osei-Amponsah et al. (2013) encontraron un índice de herencia de 0.52 en aves nativas de Ghana a los 84 d de edad. Valores altos de índice de herencia (0.93) también fueron descritos por Kinney (1969). Asimismo, Castillo y Segura-Correa (2004) encontraron valores altos de índice de herencia (0.99) en aves Criollas en México, para la característica peso al nacimiento, de manera similar al presente estudio, estos autores utilizaron un modelo que incluyó el efecto aditivo directo del animal como único efecto aleatorio. El valor de índice herencia calculado en el presente trabajo puede deberse a una sobre estimación de la varianza genética aditiva (Prado-González et al., 2003), lo que implicaría la necesidad de realizar un nuevo análisis considerando en el modelo otros efectos aleatorios (Castillo y Segura-Correa, 2004; Foomani et al., 2014). Sin embargo, el resultado encontrado sugiere la factibilidad de implementar un programa de selección para la característica  $PV_{84}$  en la población objetivo, tal y como se ha observado en otros estudios con aves locales (Norris and Ngambi, 2006; Manjula et al., 2018).

El índice de herencia calculado para  $CRA_{49-84}$  fue medio (0.285). En otro estudio se encontraron valores en un rango de 0.03 a 0.84 (Kennedy et al., 1993). Índices de herencia cercanos al del presente análisis (0.21 y 0.23) fueron reportados por Van et al. (1994) y Melo et al. (2006). Por otro lado, también se han reportado altos índices de herencia (0.42 y 0.45) para esta característica (Aggrey et al., 2010; N'dr et al., 2006). Los resultados encontrados indican que la característica

consumo residual de alimento es heredable en la población de aves Criollas Mexicanas del estudio. Como se ha indicado (Koch et al., 1963; Aggrey, 2010), dicha característica representa el consumo de alimento independiente de lo requerido para mantenimiento y crecimiento del ave, por lo tanto, es un indicador de la eficiencia del animal (Koch et al., 1963; Aggrey, 2010). Por lo anterior, el incluirla en un programa de mejoramiento genético, redundaría en una mayor eficiencia alimenticia en las aves (Prakash et al., 2020).

Se encontró que el índice de herencia de  $CAA_{49-84}$  es bajo (0.132), un valor cercano (0.11) fue reportado por Melo et al. (2006) en aves de crecimiento lento de 54 a 75 d de edad. En otro estudio con aves de crecimiento lento, de 70 d de edad, se encontró un índice de herencia de 0.33 (N'dr et al. (2006), mayor a lo observado en el presente estudio. La conversión alimenticia es una característica que depende de la edad del ave y de la tasa de crecimiento observada en el periodo de edad en el que se determina (Prakash et al., 2020), además, los valores de las estimaciones de los parámetros genéticos son propios de la población bajo estudio (Oleforuh-Okoleh, 2011), todos ellos elementos que pueden explicar las diferencias entre los índices de herencia de distintas poblaciones. Estos resultados demuestran que la conversión alimenticia es una característica heredable en la población de aves Criollas Mexicanas bajo estudio.

Características de crecimiento y eficiencia alimenticia son importantes en la producción de carne de ave (Kumar et al., 2018). La asociación genética entre ellas, influirá en el mejoramiento simultáneo o no de las mismas (Prakash et al., 2017), de ahí la importancia de conocer dicho nivel de asociación. En el presente estudio, se encontró una correlación genética entre  $PV_{84}$  y  $CAA_{49-84}$  de -0.650, y  $PV_{84}$  y  $CRA_{49-84}$  de -0.162. Para nuestro conocimiento no hay antecedentes de estudios similares con aves locales o Criollas Mexicanas, sin embargo, en una investigación con codornices (Foomani et al., 2014), se encontraron valores de correlación genética de -0.490 y 0.100 entre PV

a los 28 d de edad con CAA y CRA, respectivamente. En otro caso, Koerhuis y Hill (1996) calcularon una correlación genética de -0.20 entre PV y CAA, en pollos de engorda seleccionados. En el presente análisis se halló una asociación genética moderadamente alta (0.371) entre CAA<sub>49-84</sub> y CRA<sub>49-84</sub>. Asimismo, tampoco existen antecedentes para estas características en aves Criollas Mexicanas, pero en un trabajo con una población de aves bajo apareamiento aleatorio se encontró una correlación genética de 0.84 entre CAA y CRA de 35 a 42 d de edad (Aggrey et al., 2010). Los resultados encontrados indican una asociación genética favorable entre el PV<sub>84</sub> y características de eficiencia alimenticia, de manera que al seleccionar para la mejora del peso vivo se esperaría también un beneficio en términos del uso del alimento consumido, ejemplo de ello constan en Zuidhof et al. (2014) y Tonghiri et al. (2018).

## **2.7. CONCLUSIÓN**

Se concluye que las características PV<sub>84</sub>, CAA<sub>49-84</sub>, y CRA<sub>49-84</sub> son heredables en la población de aves Criollas Mexicana estudiada, y la asociación genética entre ellas es favorable, por lo que sería factible implementar un programa para la mejora de éstas a través de métodos de selección. Los índices de herencia calculados para conversión alimenticia y consumo residual de alimento, así como los valores de asociación genéticas entre estas características y peso vivo, son las primeras estimaciones que se reportan para aves Criollas Mexicanas.

## **2.8. AGRADECIMIENTOS**

D. Z.-C. agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para realizar los estudios de Doctorado en Ciencias.



# CAPITULO III. ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE HERENCIA Y CORRELACIONES GENÉTICAS DE CARACTERÍSTICAS ASOCIADAS A LA PRODUCCIÓN DE HUEVO EN AVES CRIOLLAS MEXICANAS

Diego Zárate Contreras, D. en C.  
Colegio de Postgraduados, 2022

## 3.1. RESUMEN

El objetivo de este estudio fue estimar el índice de herencia de las características número de huevos ( $NH_{21-30}$ ) y masa de huevo ( $MH_{21-30}$ ) por ave alojada de la semana 21 a la 30 de edad, así como su correlación genética, en aves Criollas Mexicanas. Los datos utilizados para el análisis de dichas características, correspondieron a la información de 295 animales. Se realizó un análisis descriptivo de los datos mediante el procedimiento UNIVARITE de SAS. La masa de huevo por ave alojada fue calculada sumando el peso del huevo diariamente, de la semana 21 a 30 de edad. El modelo animal utilizado para calcular el índice de herencia y las correlaciones genéticas, consideró el efecto genético aditivo del animal como el único efecto aleatorio. El pedigrí se integró con la información de 1052 animales. Los componentes de varianza fueron estimados por métodos de máxima verisimilitud restringida con los programas REMLF90 y AIREMLF90. Los errores estándar de las estimaciones se obtuvieron mediante AIREMLF90. Se observaron medias de  $NH_{21-30}$  y  $MH_{21-30}$  de  $30.44 \pm 17.57$  y  $1.35 \pm 0.78$  kg, respectivamente. Se calcularon índices de herencia de 0.208 y 0.168, para las características  $NH_{21-30}$  y  $MH_{21-30}$ , respectivamente. La correlación genética de  $NH_{21-30}$  con  $MH_{21-30}$  fue de 0.916. Se concluye que las características  $NH_{21-30}$  con  $MH_{21-30}$  son heredables en la población de aves Criollas Mexicana estudiada, y la asociación genética entre ellas es favorable, por lo que sería factible implementar un programa para la mejora simultanea de éstas a través de métodos de selección.

**Palabras clave:** Parámetros genéticos, índice de herencia, correlaciones genéticas, producción de huevo, aves Criollas Mexicanas.

**ESTIMATION OF HERITABILITY AND GENETIC CORRELATIONS OF TRAITS  
ASSOCIATED TO EGG PRODUCTION IN MEXICAN CREOLE CHICKENS**

Diego Zárate Contreras, D. en C.  
Colegio de Postgraduados, 2022

**3.2. ABSTRACT**

The objective of this study was to estimate the heritability of number of eggs ( $NE_{21-30}$ ) and egg mass per bird ( $EM_{21-30}$ ) from 21 to 30 weeks of age, as well as their genetic correlation, in Mexican Creole Chickens. The data production used for the genetic analysis belonged to 295 animals. A descriptive analysis of the data was performed using the UNIVARITE procedure of SAS. Egg mass per bird was calculated by adding the weight of each egg from 21 to 30 weeks of age. The animal model used to calculate the heritability and the genetic correlation considered the animal's additive genetic effect as the only random effect. The pedigree was integrated with the information of 1052 animals. The variance components were estimated by restricted maximum likelihood methods with the REMLF90 and AIREMLF90 programs. The standard errors of the estimates were obtained using AIREMLF90. Means of  $NE_{21-30}$  and  $EM_{21-30}$  were  $30.44 \pm 17.57$  and  $1.35 \pm 0.78$  kg, respectively. The heritabilities of  $NE_{21-30}$  and  $EM_{21-30}$  were 0.208 and 0.168, respectively. Genetic association of  $NE_{21-30}$  and  $EM_{21-30}$  was 0.916. In conclusion,  $NE_{21-30}$  and  $EM_{21-30}$  are heritable traits in the studied population of Mexican Creole Chickens, and the genetic association between them is favorable. Thus, a genetic selection program can be implemented for their improvement.

**Key words:** Genetic parameters, heritability, genetic correlation, egg production, Mexican Creole Chickens.

### 3.3. INTRODUCCIÓN

México ocupa el 4<sup>to</sup> lugar a nivel mundial en la producción de huevo, el consumo per-cápita nacional es de 23.2 kg por año (UNA, 2021). En los sistemas de producción avícola en patio, el huevo se considera un alimento de calidad (Juárez-Caratachea, et al., 2010). Estas aves son la especie con mayor presencia (71.4%) en este sistema (González et al., 2013), y se considera que abastece a los hogares rurales con el 50% del huevo que consumen (Jaramillo-Villanueva et al., 2017). En muchos países en desarrollo, el sector avícola se basa en el acervo genético local (Begli et al., 2010). Las aves Criollas Mexicanas (*Gallus gallus domesticus*) derivan de los primeros ejemplares traídos durante la conquista (Cuca-García et al., 2018), y desde ese tiempo han sido expuestas a situaciones nutricionales, sanitarias y ambientales adversas, adaptándose a las condiciones propias de cada nicho ecológico en el que habitan (Andrade-Yucaill et al., 2015), por ello, representan un recurso genético susceptible de ser aprovechado. A diferencia de las aves utilizadas en los sistemas de producción intensivos, las gallinas Criollas para producción de huevo en patio en México no han sido caracterizadas en términos de su potencial de mejoramiento a través de selección genética. En un programa de mejoramiento es necesario conocer los parámetros genéticos de la población objetivo, para las características de interés (Oleforuh-Okoleh, 2011; Oleforuh-Okoleh, 2013). Estrategias de selección en especies avícolas con fines de producción de huevo se basan en el estudio de características de desempeño reproductivo (Kumar et al., 2018); por ejemplo, algunos autores mencionan características tales como número de huevos, peso del huevo, masa del huevo, edad a la madurez sexual y peso corporal a la madurez sexual. Índices de herencia para las características número de huevos y masa de huevo, han sido reportados en investigaciones con aves comerciales (Engström et al., 1984; Francesch et al., 1997; Abdel-Ghany and Abdel-Ghany, 2011) y aves locales en países en vías de desarrollo (Oleforuh-Okoleh, 2011,

Osei-Amponsah et al., 2013), estos varían en un rango de 0.07 a 0.38 y 0.08 a 39.3, respectivamente. Como ya se mencionó no hay estudios sobre parámetros genéticos de características asociadas a la producción de huevo, en gallinas Criollas de México, lo que limita la implementación de programas de selección para la mejora productiva de las aves utilizadas en los sistemas de producción familiar o de patio, asimismo se limita el aprovechamiento de los recursos avícolas locales. Existen antecedentes que demuestran la factibilidad de dicho aprovechamiento (Larivière et al., 2009; Oleforuh-Okoleh, 2013; Osei-Amponsah et al., 2013), además de que es una iniciativa promovida por entidades asociadas al tema de la alimentación de la población humana a nivel global (FAO, 2015). El objetivo de este estudio fue estimar el índice de herencia de las características número de huevos y masa de huevo por ave alojada de la semana 21 a la 30 de edad, así como su correlación genética, en aves Criollas Mexicanas.

### **3.4. MATERIALES Y MÉTODOS**

Las aves fueron criadas siguiendo las normas establecidas por el Comité de Bienestar Animal del Colegio de Postgraduados (COLPOS, 2016). Esta investigación se realizó en las instalaciones avícolas del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, ubicado en Texcoco, Estado de México, en las coordenadas 19° 27' 47" latitud norte y 98° 54' 27" longitud oeste, a una altitud de 2,247 m.

#### **3.4.1. Manejo de las aves**

Un total de 85 gallinas y 85 gallos reproductores Criollos Mexicanos, provenientes de una población experimental con pedigrí bajo apareamiento aleatorio por tres generaciones (Mata-Estrada et al., 2020), se utilizaron para producir 864 individuos en 11 bloques de nacimientos, las aves experimentales fueron identificadas por sexo, obteniendo 311 hembra para este estudio. Los

apareamientos se realizaron mediante inseminación artificial en relación 1 macho: 1 hembra. Al nacimiento las aves se alojaron en criadoras eléctricas con 5 niveles; cada nivel con dos espacios de 0.4 m x 1.2 m (0.048 m<sup>2</sup>/ave) hasta los 49 d de edad, posteriormente se alojaron en jaulas individuales de 0.40 m x 0.30 m y una altura de 0.37 m. Al nacer, las aves se mantuvieron a una temperatura de 32 °C, que se redujo a razón de 1 °C por semana, hasta alcanzar la temperatura ambiente (26 °C). Del nacimiento hasta los 63 d de edad, las aves fueron alimentadas con una dieta de iniciación que contenía 205 g de proteína cruda/kg de alimento y 12.1336 MJ EM/kg de alimento, 10 g de calcio/kg de alimento (Ca) y 4.5 g de fósforo disponible (Pd)/kg de alimento, posteriormente, del d 64 al 84 de edad se alimentaron con una dieta de crecimiento uno, con 180 g de proteína cruda/kg de alimento y 12.3428 MJ EM/kg de alimento, 9.5 g de Ca/kg de alimento y 4.0 g Pd/kg de alimento. Una dieta de crecimiento dos, fue ofrecida del d 85 al 133 que contenía 170 g de proteína cruda/kg de alimento y 11.7152 MJ EM/kg de alimento, 9.5 g de Ca/kg de alimento y 3.0 g Pd/kg de alimento. De la semana 19 a la 20 se les ofreció una dieta de pre-postura con 165 g de proteína cruda/kg de alimento y 11.7152 MJ EM/kg de alimento, 25.0 g de Ca/kg de alimento y 3.0 g Pd/kg de alimento, finalmente de la semana 21 a la 30 de edad, se les ofreció una dieta de postura con 160 g de proteína cruda/kg de alimento y 11.506 MJ EM/kg de alimento, 35.0 g de Ca/kg de alimento y 3.0 g Pd/kg de alimento, todas las dietas se elaboraron a base de maíz y pasta de soya. El alimento y el agua se ofrecieron *ad libitum*. Se les proporcionó un régimen de 16 horas de luz: 8 horas de oscuridad, de la semana 19 a la 30 de edad. El huevo fue recolectado y pesado diariamente, de manera individual y por cada ave, desde la semana 21 a la 30 de edad.

### **3.4.2. Análisis estadístico**

Los datos utilizados para el análisis de las características NH<sub>21-30</sub> y MH<sub>21-30</sub> correspondieron a la información de 295 animales. Se realizó un análisis descriptivo de los datos mediante el

procedimiento UNIVARITE de SAS Institute Inc. (2011; version 9.3, Cary, NC). La masa de huevo por ave alojada, se calculó de acuerdo con la expresión:

$$MH_{21-30} = \sum_{i=1}^n PH$$

Donde:  $MH_{21-30}$  es la masa de huevo acumulada por ave, de 21 hasta la 30 semanas de edad;  $i=1 \dots n$ ,  $n$  = número total de huevos por ave;  $PH$  = peso del huevo  $n$  del ave.

El modelo animal utilizado para calcular el índice de herencia y la correlación genética de las características  $NH_{21-30}$  y  $MH_{21-30}$  fue:

$$y_{ij} = \mu + a_i + h_j + e_{ij}$$

Donde  $y_{ij}$  es el número de huevos y masa acumulada de huevo de la  $i$ -ésima gallina del  $j$ -ésimo bloque de nacimiento;  $\mu$  = media de la población;  $a_i$  = efecto aleatorio aditivo directo de la  $i$ -ésima gallina;  $h_j$  = efecto fijo del  $j$ -ésimo bloque de nacimiento,  $i = 1 \dots 8$ ; y  $e_{ij}$  = error residual aleatorio.

El pedigrí se integró con la información de 1052 animales. Los componentes de varianza fueron estimados por métodos de máxima verisimilitud restringida (Misztal, 2002) con los programas REMLF90 y AIREMLF90 (Misztal, 2018; Masuda, 2018). Los errores estándar de las estimaciones se obtuvieron mediante AIREMLF90 (Misztal, 2018; Masuda, 2018).

### 3.5. RESULTADOS

Se observaron medias de  $NH_{21-30}$  y  $MH_{21-30}$  de  $30.44 \pm 17.57$  y  $1.35 \pm 0.78$  kg, respectivamente (Cuadro 3.1). Asimismo, se observó una mortalidad del 5.424 %.

Cuadro 3.1. Estadísticos descriptivos de características asociadas a la producción de huevo en aves Criollas Mexicanas de una población bajo apareamiento aleatorio.

Característica	N	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
NH <sub>21-30</sub>	295	30.44	17.57	0.00	64.00
MH <sub>21-30</sub>	295	1.35	0.78	0.00	2.87

NH<sub>21-30</sub>, número de huevos de la semana 21 a 30 de edad; MH<sub>21-30</sub>, masa del huevo (kg) por ave alojada de la semana 21 a la 30 de edad.

Se calcularon índices de herencia de 0.208 y 0.168, para las características NH<sub>21-30</sub> y MH<sub>21-30</sub>, respectivamente (Cuadro 3.2).

Cuadro 3.2. Componentes de varianza e índices de herencia de características asociadas a la producción de huevo en aves Criollas Mexicanas de una población bajo apareamiento aleatorio.

Característica	Varianza genética	Varianza residual	Índice de herencia
NH <sub>21-30</sub>	0.429 ± 0.272	1.638 ± 0.249	0.208 ± 0.031
MH <sub>21-30</sub>	0.068 ± 0.051	0.340 ± 0.049	0.168 ± 0.006

NH<sub>21-30</sub>, número de huevos de la semana 21 a 30 de edad; MH<sub>21-30</sub>, masa del huevo (kg) por ave alojada de la semana 21 a la 30 de edad.

La correlación genética de NH<sub>21-30</sub> con MH<sub>21-30</sub> fue de 0.916 (Cuadro 3.3).

Cuadro 3.3. Correlación genética (arriba de la diagonal) y fenotípica (debajo de la diagonal) de características asociadas a la producción de huevo en aves Criollas Mexicanas de una población bajo apareamiento aleatorio.

Característica	NH <sub>21-30</sub>	MH <sub>21-30</sub>
NH <sub>21-30</sub>		0.916
MH <sub>21-30</sub>	0.985***	

NH<sub>21-30</sub>, número de huevos de la semana 21 a 30 de edad; MH<sub>21-30</sub>, masa del huevo (kg) por ave alojada de la semana 21 a la 30 de edad. \*\*\* (p < 0.001).

### 3.6. DISCUSIÓN

El NH<sub>21-30</sub> en gallinas Criollas del presente estudio, fue inferior a lo reportado ( $74.85 \pm 8.62$ ) por Engstrom et al. (1984) de la semana 35 a 49 de edad, en una línea de aves White Leghorn. Por otra parte, Francesch et al. (1997) registraron el número de huevos en tres razas de aves, hasta la semana 39 de edad, con valores de  $67.83 \pm 18.87$ ,  $65.08 \pm 18.27$  y  $72.03 \pm 17.79$ . En contraste, la media de NH<sub>21-30</sub> de las aves Criollas Mexicanas estudiadas fue cercana ( $30.44 \pm 17.57$ ) al valor encontrado por Izquierdo et al. (1999) en aves Criollas de cuello desnudo en México hasta las 36 semana de edad ( $34.38 \pm 3.18$ ) y a lo reportado por Oleforuh-Okoleh (2011) en una población de aves locales en Nigeria, durante los primeros 90 d de producción ( $33.40 \pm 1.23$ ).

La MH<sub>21-30</sub> que se observa en el Cuadro 3.1, es inferior a los valores descritos por Abdel-Ghany and Abdel-Ghany (2011) en una línea de aves Mandarah y una población control, durante los primeros 90 d de postura ( $2.219 \pm 0.014$  kg y  $1.862 \pm 0.016$  kg, respectivamente). Asimismo, un valor (1.133 kg) inferior fue reportado por Sabri et al. (1999) en aves White Leghorn, de la semana 26 a la 29 de edad, en un ambiente subtropical. Los valores de NH<sub>21-30</sub> y MH<sub>21-30</sub> aquí discutidos ilustran el desempeño productivo de las gallinas Criollas y locales encontrados en sistemas de producción familiar en países en vías de desarrollo (FAO, 2015), el cual contrasta con lo



correspondiente en aves utilizadas en producción industrial intensiva (Abdel-Ghany and Abdel-Ghany, 2011; Bovans, 2022).

El índice de herencia calculado para  $NH_{21-30}$  fue bajo (0.208). En otro estudio se encontraron valores en un rango de 0.17 a 0.23 (Osei-Amponsah et al., 2013) en aves locales de Ghana, de la semana 21 a 30 de edad. Valores superiores (0.35 y 0.38) fueron reportados en una línea Mandarah y una población control de aves de Egipto, durante los primeros 90 d de producción (Abdel-Ghany and Abdel-Ghany, 2011). Un índice de herencia inferior al del presente análisis (0.18) se calculó en una línea de aves White Leghorn, de la semana 35 a 49 de edad (Engström et al., 1984). Francesch et al. (1997) registraron un valor (0.20), en la raza Penedesenca Negra, hasta la semana 39 de edad. En contraste, Oleforuh-Okoleh (2013), reporta un valor (0.20) en una población base de aves Criollas locales de Nigeria. Por otro lado, también se han encontrado bajos índices de herencia (0.10 y 0.07) para esta característica en dos líneas de aves White Leghorn en Indonesia, de la semana 29 a la 44 de edad (Nurgiartiningsih et al., 2004). Los resultados encontrados indican que la característica  $NH_{21-30}$  es heredable en la población de aves Criollas Mexicanas del estudio, sin embargo el valor del índice de herencia es bajo, lo que significa que los efectos de dominancia, epistasis y ambientales son más importantes que el efecto genético aditivo para dicha característica (Prado-González et al., 2003; Su et al., 2012).

Se encontró que el índice de herencia de  $MH_{21-30}$  es bajo (0.168), valores superiores (0.393 y 0.365) fueron reportados por Abdel-Ghany and Abdel-Ghany (2011) en una línea de aves Mandarah y una población control en Egipto. En otro estudio con una línea de aves seleccionadas para producción de huevo, se encontró un valor de heredabilidad de 0.08, para la característica masa de huevo hasta 90 d de producción (El-Ghar and El-karin, 2016), lo cual fue menor a lo observado en el presente estudio. En otro trabajo con aves White Leghorn, se obtuvo un índice de herencia de 0.307, para

masa de huevo de 26 a 30 semanas de edad (Sabri et al., 1999). La masa de huevo es una característica que depende del número de éstos y peso de los mismos, en el periodo de edad en el que se determina (Bohren et al., 1970), asimismo, la magnitud de los parámetros genéticos son particulares de población estudiada (Dana et al., 2011), por lo que lo anterior puede explicar las diferencias entre los índices de herencia de distintas poblaciones. Estos resultados demuestran que la masa del huevo es una característica heredable en la población de aves Criollas Mexicanas del estudio. Dada la importancia de las características de número de huevos y masa de huevo acumulado por ave alojada (El-Ghar and El-karin, 2016), es necesario conocer la magnitud de su asociación genética, ya que esto influirá en la factibilidad de implementar un mejoramiento simultáneo (Venkatramaiah et al., 1986). En el presente estudio se encontró una correlación genética entre  $NH_{21-30}$  y  $MH_{21-30}$  de 0.916. Para nuestro conocimiento, no hay antecedentes de estudios similares en aves Criollas Mexicanas, pero estudios realizados con otros genotipos de aves de postura, se han obtenido correlaciones genéticas de entre 0.798 y 0.960 para las características número de huevos y masa de huevo (Venkatramaiah et al., 1986; Sabri et al. 1999; Abdel-Ghany and Abdel-Ghany, 2011). En el presente análisis se halló una asociación genética alta entre  $NH_{21-30}$  y  $MH_{21-30}$ . Los resultados encontrados indican que la correlación genética es favorable, de manera que al seleccionar para la mejora de número de huevos se esperaría también una mejora de la masa del huevo por ave alojada (Abdel-Ghany and Abdel-Ghany, 2011; Oleforuh-Okoleh, 2013).

### **3.7. CONCLUSIÓN**

Se concluye que en la población de aves Criollas Mexicana estudiada, las características  $NH_{21-30}$  y  $MH_{21-30}$  son heredables, aunque ambos índices de herencia son bajos. La asociación genética entre dichas características es favorable, por lo que sería factible implementar un programa para la

mejora de éstas a través de métodos de selección. Los índices de herencia calculados para número de huevos y masa de huevo por ave alojada, así como los valores de asociación genéticas, son las primeras estimaciones que se reportan para aves Criollas Mexicanas.

### **3.8. AGRADECIMIENTOS**

D. Z.-C. agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para realizar los estudios de Doctorado en Ciencias.

## CONCLUSIONES GENERALES

Se concluye que con el modelo Gompertz-Laird se obtienen las estimaciones más precisas de los parámetros de crecimiento en aves Criollas Mexicanas, con datos de peso vivo obtenidos cada tercer día del nacimiento a 63 días de edad, y posteriormente cada dos semanas. Las características  $PV_{84}$ ,  $CAA_{49-84}$ ,  $CRA_{49-84}$ ,  $NH_{21-30}$  y  $MH_{21-30}$  son heredables en la población de aves Criollas Mexicana estudiada. Asimismo, las correlaciones genéticas correspondientes a las características asociadas a la producción de carne y huevo son favorables.

## LITERATURA CITADA

- Abdel-Ghany, F.A., and Abdel-Ghany, A. I. 2011. Selection for improving egg production in mandarah chickens to maximize the net income. 1- Correlated responses, genetic parameters for egg production and growth traits. *J. Animal and Poultry Prod., Mansoura Univ.* 2(11):457-470.
- Adenaike, A. S., U. Akpan., J. E. Udoh., M. Wheto., S. O. Durosaro., A. J. Sanda, and C. O. N. Ikeobi. 2017. Comparative evaluation of growth functions in three broiler strains of Nigerian chickens. *Pertanika J. Trop. Agric. Sci.* 40(4):611-620.
- Aggrey, S. E. 2002. Comparison of Three Nonlinear and Spline Regression Models for Describing Chicken Growth Curves. *Poult. Sci.* 81:1782-1788.
- Aggrey, S. E. 2008. Accuracy of Growth Model Parameters: Effects of Frequency and Duration of Data Collection, and Missing Information. *Growth, Development and Aging.* 71:45-54.
- Aggrey, S. E., A. B. Karnuah, B. Sebastian, and N. B. Anthony. 2010. Genetic properties of feed efficiency parameters in meat type chickens. *Genet. Sel. Evol.* 42:25.
- Andrade-Yucailla, V., Vargas-Burgos, J. C., Lima-Orozco, R., Andino, M., Quinteros, R., Torres, A. 2015. Caracterización morfométrica y morfológica de la gallina criolla (*Gallus domesticus*) del cantón Carlos Julio Arosemena tola, Ecuador. *AICA.* 6:42-48.
- Aviagen. 2019. Ross Broiler performance objective. Ltd, Midlothian, UK. pp. 1-16.
- Barbato, G. F. 1991. Genetic architecture of growth curve parameters in chickens. *Theor. Appl. Genet.* 83:24-32.
- Begli H. E., Zerehdaran, Dr. S., Hassani, S., Abbasi M. A., and A.R. Khan, A. A. R. 2010. Heritability, genetic and phenotypic correlations of egg quality traits in Iranian native fowl, *British Poultry Science*, 51(6):740-744.
- Bertalanffy, V. L. 1957. Quantitative laws in metabolism and growth. *Q. Rev. Biol.* 32(3):217-231.
- Bohren, B. B., Kinney, T. B., Wilson, S. P., and Lowe, P. C. 1970. Genetic gains in annual egg production from selection on part-record percent production in the fowl. *Genetics.* 65:55-667.
- Bovans. 2022. Guía del producto Bovans White. Boxmeer, The Netherlands, EU pp16. Acceso en enero 2022. [https://www.bovans.com/documents/1000/Bovans\\_White\\_CS\\_cage\\_Spanish\\_guide\\_2.pdf](https://www.bovans.com/documents/1000/Bovans_White_CS_cage_Spanish_guide_2.pdf).
- Castillo, N. J. M., y Segura-Correa, J. C. 2004. Comparación de cinco modelos animal y un modelo semental para peso al nacer de pollos criollos. *Vet. Méx.* 35(4):317-325.
- Chatterjee, R.N and B.S. Misra, 2001. Time trends of genetic parameters and realized phenotypic response in a white Leghorn population under long term selection. *Journal of Indian Vet.* 78:1112-1115.

- Collins, E. K., Marks, H. L., Aggrey, S. E., Lacy, M. P, and Wilson, J. L. 2016. History of the Athens Canadian Random Bred and the Athens Random Bred control populations. *Poultry Science*. 95:997-1004.
- COLPOS (Colegio de Postgraduados). 2016. Reglamento para el uso y cuidado de animales destinados a la investigación en el Colegio de Postgraduados. Acceso noviembre 2016. [http://www.colpos.mx/wb\\_pdf/norma\\_interna/REG\\_USO\\_CUIDADODEANI\\_MALES.pdf](http://www.colpos.mx/wb_pdf/norma_interna/REG_USO_CUIDADODEANI_MALES.pdf).
- Cuca-García, J. 2018. La avicultura de traspatio en México: Historia y caracterización. *Agro Productividad*, 8(4). Recuperado a partir de <https://mail.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/669>
- Dagnino, S. J. 2014. Intervalos de confianza. *Rev. Chil. Anest.* 43:129-133.
- Dana, N., Vander, W. E. H., and Van A. J. A. M. 2011. Genetic and phenotypic parameter estimates for body weights and egg production in Horro chicken of Ethiopia. *Trop Anim Health Prod.* 43:21-28.
- El-Ghar, R.SH. A., and El-Karim, R. E. A. 2016. Effect of early selection for body weight, keel length and breast circumference on egg production traits in inshas strain of chickens. *Egypt. Poult. Sci.* 36(2):375-387.
- Engström, G., Weyde, C., and Liljedahl, L. E. 1984. Genetic correlations and heritabilities for frequency of cracked eggs, egg number and egg weight in laying hens. *British Poultry Science*. 27(1):55-61.
- FAO. 2015. The Second Report on the State of the World's Animal Genetic Resources for Food and Agriculture, edited by B.D. Scherf & D. Pilling. FAO Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture Assessments. Rome (available at <http://www.fao.org/3/a-i4787e/index.html>).
- Faraji-Arough, H., M. Rokouei., A. Maghsoudi, and M. Mehri. 2019. Evaluation of Non-linear Growth Curves Models for Native Slow-growing Khazak Chickens. *Poult. Sci. J.* 7(1):25-32.
- Fathi, M. M., A. Galal, A., Al-Homidan, I., Abou-Emera, O.K. and G.N. Rayan. 2021. Residual feed intake: A limiting economic factor for selection in poultry breeding programs. *Annals of Agricultural Sciences*. 66:53-57.
- Foomani, N. N., Zerehdaran, S., Ahani A. M., and Lotfi, E. 2014. Genetic parameters for feed efficiency and body weight traits in Japanese quail. *British Poultry Science*. 55(3):298-304.
- Francesch, A., Estany, J., Alfonso, L., and Iglesias, M. 1997. Genetic Parameters for Egg Number, Egg Weight, and Eggshell Color in Three Catalan Poultry Breeds<sup>1</sup>. *Poultry Science*. 76:1627-1631.
- González, O. F., Pérez, M. A., Ocampo, F. I., Paredes, S. J. A. y De la Rosa P. P. 2013. Contribuciones de la producción en traspatio a los grupos domésticos campesinos. *Estudios Sociales*. 12(44): 147-170.

- Goshu, A. T, and P. R. Koya. 2013. Derivation of inflection points of nonlinear regression curves - implications to statistics. *Am. J. Theor. Appl. Stat.* 2(6):268-272.
- Grossman, M. and B. B. Bohren. 1985. Logistic growth curve of chickens: heritability of parameters. *The Journal of Heredity.* 76:459-462.
- Izquierdo, C., Segura, J., Arenas, M., and Sanches, F. 1999. Genotype and birth season on age at first egg and productive indicators of Criollo hens of Colima state, Mexico. *Rev. Cubana Cienc. Agríc.* 33:67-72.
- Jaap, R. G. 1970. Growth Rate of Broiler Chickens. Reproduced from Ohio Poultry Pointers. Pages 9-10.
- Jaramillo-Villanueva, J. L., Morales-Jiménez, J. y Domínguez-Torres, V. 2017. Importancia económica del traspatio y su relación con la seguridad alimentaria en comunidades de alta marginación en Puebla, México. *Agroproductividad.* 10(7):27-32.
- Juárez-Caratachea, A., Segura-Correa, J., Gutiérrez-Vázquez, E. y Santos-Ricalde, R. 2010. Calidad del huevo de gallinas criollas criadas en traspatio en Michoacán, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems.* 12:109-115.
- Kennedy, B. W., Van der Werf, J. H. J., and Meuwissent, T. H. E. 1993. Genetic and Statistical Properties of Residual Feed Intake. *J. Anim. Sci.* 71:3239-3250.
- Kinney, T. R. Jr. 1969. A summary of reported estimates of heritabilities and of genetic and phenotypic correlations for traits of chickens. Handbook No. 363. Agricultural Research Service, USDA USA.
- Koch, R. M., Swiger, L. A., Chambers, D., and Gregory, K. E. 1963. Efficiency of feed use in beef cattle. *J Anim Sci.* 22:486-494.
- Koerhuis, A. N. M., and Hill, W. G. 1996. Predicted response in food conversion ratio for growth by selection on the ratio or on linear component traits, in a (sequential) selection programme. *British Poultry Science.* 37:317-32.
- Koushandeh, A., M. Chamani., A. Yaghobfar., A. A. Sadeghi, and H. Baneh. 2019. Comparison of the Accuracy of Nonlinear Models and Artificial Neural Network in the Performance Prediction of Ross 308 Broiler Chickens. *Poult. Sci. J.* 7(2):151-161.
- Kumar S. V. and Kolluri G. 2018. Selection Methods in Poultry Breeding: From Genetics to Genomics. *Application of Genetics and Genomics in Poultry Science.* pp.21-32. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.77966>.
- Laird A. K., S. A. Tyler, and A. D. Barton. 1965. Dynamics of normal growth. *Growth.* 29:233-248.
- Larivière, J. M., Michaux, C., Verleyen, V., and Leroy, P. 2009. Heritability Estimate and Response to Selection for Body Weight in the Ardennaise Chicken Breed. *International Journal of Poultry Science.* 8(10):952-956.

- Lastra, I. J., Muciño, L., Villamar, L., Barrera, M. A., Guzmán, H., Flores, J. L., Maldonado, C., y Gómez, M. Situación actual y perspectiva de la producción de carne de pollo en México. 1a Ed. México: Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural; 1998.
- Laxmi, P., S. Jaya, V.L.K. Prasad, A. R. Murthy and R. Eswara, 2002. Correlations among various egg quality traits in White Leghorns. *Journal of Indian Veterinary*, 79:810-813.
- Le Bihan-Duval, E., Debut, M., Berri, C. M., Sellier, N., Santé-Lhoutellier, V., Jégo, Y., and Beaumont, C. 2008. Chicken meat quality: genetic variability and relationship with growth and muscle characteristics. *BMC Genet.* 9:53.
- Leeb H., and Pötscher B. M. 2009. Model Selection. In: Mikosch T., Kreiß JP., Davis R., Andersen T. (eds) *Handbook of Financial Time Series*. Springer, Berlin, Heidelberg. Pages 889-925.
- Manjula, P., P. Hee-Bok., D. Seo., N. Choi., S. Jin., S. J. Ahn., K. N. Heo., B. S. Kang, and L. Jun-Heon Lee. 2018. Estimation of heritability and genetic correlation of body weight gain and growth curve parameters in Korean native chicken. *Asian-Australas J. Anim. Sci.* 31(1):26-31.
- Masuda, Y. 2018. Introduction to BLUPF90 suite programs. University of Georgia. <http://nce.ads.uga.edu/wiki/doku.php?id=documentation>.
- Mata-Estrada, A., F. González-Cerón., A. Pro-Martínez., G. Torres-Hernández., J. Bautista-Ortega., C. M. Becerril-Pérez., A. J. Vargas-Galicia, and E. Sosa-Montes. 2020. Comparison of four nonlinear growth models in Creole chickens of Mexico. *Poult. Sci.* 99:1995-2000.
- Mebratie, W., Madsen, P., Hawken, R., Romé, H., Marois, D., John Henshall, J., Henk Bovenhuis, H., and Jensen, J. 2019. Genetic parameters for body weight and different definitions of residual feed intake in broiler chickens. *Genet Sel Evol.* 51-53.
- Melo, J. E., Romano, E., Canet, Z., and Miquel, M. C. 2006. Genetic parameters of growth and feed efficiency in a free-range Broiler stock. *Proceedings of the 8th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production*, CD ROM communication, 336-441.
- Mignon-Grasteau, S. 1999. Genetic parameters of growth curve parameters in male and female chickens. *Br. Poult. Sci.* 40:44-51.
- Misztal, I., S. Tsuruta, D. A. L. Lourenco, Y. Masuda, I. Aguilar, A. Legarra, Z. Vitezica. 2018. Manual for BLUPF90 family programs. University of Georgia. <http://nce.ads.uga.edu/wiki/doku.php?id=documentation>.
- Misztal, I., Tsuruta, S., Strabel, T., and Auvray, B. 2002. BLUPF90 AND RELATED PROGRAMS (BGF90). 7th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production. Montpellier, France. Comunicado 28-07.
- Mulder, H. A., Hill, A. W., Vereijken, A., and Veerkamp, R. F. 2009. Estimation of genetic variation in residual variance in female and male broiler chickens. *Animal*.3(12):1673-1680.



- N'Dri, A. L., Mignon-Grasteau, S., Sellier, N., Tixier-Boichard, M., and Beaumont, C. 2006. Genetic relationships between feed conversion ratio, growth curve and body composition in slow growing chickens. *British Poultry Science*, 47(3):273-280.
- Nahashon, S. N., S. E. Aggrey., N. A. Adefope, and A. Amenyenu. 2006. Modeling Growth Characteristics of Meat-Type Guinea fowl. *Poult. Sci.* 85:943-946.
- Nariç D., N. O. Nariç, and A. Aygün. 2017. Growth curve analyses in poultry science. *World Poult. Sci. J.* 73:1-13.
- Nariç, D., E. Karaman., M. Z. Firat, and T. Aksoy. 2010. Comparison of non-linear growth models to describe the growth in Japanese quail. *J Anim Vet Adv.* 9(14):1961-1966.
- Norris, D. and Ngambi, J. W. 2006. Genetic parameter estimates for body weight in local Venda chickens. *Trop Anim Health Prod.* 38:605-609.
- Norris, D., J. W. Ngambi., K. Benyi., M. L. Makgahlele., H. A. Shimelis, and E. A. Nesamvuni. 2007. Analysis of growth curves of indigenous male Venda and Naked Neck chickens. *S. Afr. J. Anim. Sci.* 37(1):21-26.
- Nurgiartiningsih, V. M. A., Mielenz, N., Preisinger, R., Chmutz, M., and Schueler, L. 2004. Estimation of genetic parameters based on individual and group mean records in laying hens. *British Poultry Science.* 45(5): 604-610.
- Oleforuh-Okoleh, V. U. 2011. Estimation of genetic parameters and selection for egg production traits in a nigerian local chicken ecotype. *ARPN Journal of Agricultural and Biological Science.* 6(12):54-57.
- Oleforuh-Okoleh, V. U. 2013. Genetic gains from within-breed selection for egg production traits in a nigerian local chicken. *ARPN Journal of Agricultural and Biological Science.* 8(12):788-792.
- Osei-Amponsah, R., B. B. Kayang, and A. Naazie. 2013. Phenotypic and genetic parameters for production traits of local chickens in Ghana. *Anim. Genet. Res.* 53:45-50.
- Osei-Amponsah, R., B. B. Kayang., A. Naazie., I. M. Barchia, and P. F. Arthur. 2014. Evaluation of Models to Describe Temporal Growth in Local Chickens of Ghana. *Iran. J. Appl. Anim. Sci.* 4(4):855-861.
- Osei-Amponsah, R., B. B. Kayang., A. Naazie., P. F. Arthur, and I. M. Barchia. 2011. Characterisation of local Ghanaian chickens: growth performance evaluation based on Richards growth model and genetic size scaling. *Trop. Anim. Health. Prod.* 43:1195-1201.
- Osei-Amponsah, R., Kayang, B. B., and Naazie, A. 2013. Phenotypic and genetic parameters for production traits of local chickens in Ghana. *Animal Genetic Resources.* 53:45-50.
- pp16. Acceso en enero 2022. <https://www.bovans.com/documents/1000/Bov>.

- Prado-González, E. A., Ramírez-Ávila, L., y Segura-Correa, J. C. 2003. Genetic parameters for body weights of Creole chickens from Southeastern Mexico using an animal model. *Livestock Research for Rural Development*. <https://lrrd.cipav.org.co/lrrd15/1/prad151.htm>.
- Prakash, A., Kumar, S. V., and Kumar S. V. 2020. Genetic analysis of residual feed intake, feed conversion ratio and related growth parameters in broiler chicken: a review. *World's Poultry Science Journal*. 76(2):304-317.
- Prakash, A., Saxena, V. K., and Kumar, A. 2017. Genetic Analysis of Residual Feed Intake and Growth Parameters in Indigenously Developed Coloured Broiler Chicken. *Indian Journal of Poultry Science*.52(2):141-145.
- Richards, F. J. 1959. A flexible Growth Function for Empirical Use. *J. Exp. Bot.* 10(29):290-300.
- Robertson, T. B. 1923. The chemical basis of growth and senescence. *Monographs of Experimental Biology*. J. B. Lippincott Cie., Philadelphia, PA.
- Rossi, R. M., D. O. Grieser., V. A. Conselvan, and S. M. Marcato. 2017. Growth curves in meat-type and laying quail: a Bayesian perspective. *Semina: Ciências Agrárias, Londrina*. 38(4):2743-2754.
- Royston, P. 2007. Prole likelihood for estimation and confidence intervals. *The Stata Journal*. 7(3):376-387.
- Sabri, H. M., Wilson, H. R., Harms, R. H., and Wilcox, C. J. 1999. Genetic parameters for egg and related characteristics of White leghorn hens in a subtropical environment. *Genetics and Molecular Biology*. 22(2):183-186.
- Salehinasab, M., Zerehdaran, S., Abbasi, M. A., Alijani, S., and Hassani, S. 2013. Determination of the best model for estimating heritability of economic traits and their genetic and phenotypic trends in Iranian native fowl, *Arch. Anim. Breed.* 56:237-245.
- SAS Institute Inc. 2011. *SAS/STAT® 9.3 User's Guide*. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Segura, J. C. 1988. Estado actual y comportamiento de las aves cuello desnudo en México. *Memorias del IV Congreso Iberoamericano de razas autóctonas y criollas*. 23-27 de octubre de 1998. Tampico, Tamaulipas, México. pp. 247-255.
- Segura-Correa, J. C., Sarmiento-Franco, L., Magaña-Monforte, J. G., y Santos-Ricalde, R. 2004. Productive performance of Creole chickens and their crosses raised under semi-intensive management conditions in Yucatan, Mexico. *Br. Poult. Sci.* 45(3): 342-345.
- Selvaggi, M., V. Laudadio., C. Darío, and V. Tufarelli. 2015. Modelling Growth curves in a Nondescript Italian Chicken Breed: An Opportunity to improve Genetic and Feeding Strategies. *J. Poult. Sci. A*. 52(4):288-294.

- Su, G., Christensen, O. F., Ostersen, T., Henryon, M., and Lund, M. S. 2012. Estimating Additive and Non-Additive Genetic Variances and Predicting Genetic Merits Using Genome-Wide Dense Single Nucleotide Polymorphism Markers. *PLoS ONE*. 7(9): e45293.
- Tavárez, M. A., and Solis de los Santos F. 2016. Impact of genetics and breeding on broiler production performance: a look into the past, present, and future of the industry. *Animal Frontiers*. 6(4): 37-41.
- Thompson R. 2008. Estimation of quantitative genetic parameters. *Proc. R. Soc. B*. 275:679-686.
- Tongsiri, S., Jeyaruban, G. M., Hermes, S., van der Werf, J., Li, L., and Chormai, T. 2019. Genetic parameters and inbreeding effects for production traits of Thai native chickens. *Asian-Australasian journal of animal sciences*. 32(7): 930-938.
- Topal, M., and Bolukbasi, S. C. 2008. Comparison of nonlinear growth curve models in broiler chickens. *J. Appl. Anim. Res.* 34:149-152.
- Unión Nacional de Avicultores. 2021. Compendio de Indicadores Económicos del Sector Avícola 2020. Dirección de Estudios Económicos, México, D.F. <https://una.org.mx/indicadores-economicos/>.
- Van, B. J., and Mercer, J. 1994. Selection for efficiency in broilers: A comparison of residual feed intake with feed conversion ratio. *Proceedings of the 5th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, Guelph*, p. 53-60.
- Venkatramaiah, A., Mohapatra, S. C., Sinha, R., Ayyagari, V., and Choudhuri, D. 1986. Selection response for part period egg number and egg mass in chickens- a comparison. *Theor Appl Genet*. 72:129-134.
- Willems, O. W., Miller, S. P., and Wood, B. J. 2013. Aspects of selection for feed efficiency in meat producing poultry. *World's Poultry Science Association*. 69:77-88.
- Zhao, F., S. Li., H. Huang., C. Li., Q. Wang, and L. Xue. 2015. Comparative study on growth and developmental model of indigenous chicken breeds in China. *Open J. Anim. Sci.* 5:219-223.
- Zuidhof, M. J., Schneider, B. L., Carney, V. L., Korver, D. R., and Robinson, F. E. 2014. Growth, efficiency, and yield of commercial broilers from 1957, 1978, and 2005. *Poultry Science*. 93:2970-2982.