

Rev. prod. anim., 29 (2), 42-49, 2017

## Modelación de curvas de puesta de los tres últimos años en gallinas White Leghorn en la provincia Ciego de Ávila

Jorge E Gómez Cuello\*, Luis M Fraga Benítez\*\*\*, Redimio M. Pedraza Olivera\*\*, Roberto Vázquez Montes de Oca\*\*, Luis Domingo Guerra\*\* y Manuel Valdivié Navarro\*\*\*

\*Empresa Avícola de Ciego de Ávila, Cuba

\*\*Universidad de Camagüey Ignacio Agramonte Loynaz, Cuba

\*\*\*Instituto de Ciencia Animal, Mayabeque, Cuba

redimio.pedraza@reduc.edu.cu

### RESUMEN

Se utilizaron 15 976 registros de producción de huevos, correspondientes a tres crianzas del 2016 en la provincia Ciego de Ávila. Se caracterizó la curva de puesta en condiciones similares a las propuestas por IIA (2013) en la República de Cuba. Se muestra la estimación de las curvas de puesta realizadas con las producciones medias correspondientes a tres etapas de 12 meses. Se aplicaron cuatro modelos matemáticos para el ajuste a dicha curva: Mc Nally, Wood, Cuadrática logarítmica y lineal hiperbólica. Para la validación se tomaron diferentes criterios estadísticos: coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>), (R<sup>2</sup> A), además del análisis de los residuos entre otros. Para cada período se obtuvo la media, desviación estándar DE, error estándar (EE) y coeficiente de variación (CV). La producción de huevos alcanzó valores entre 84,35 y 60,61 % de puesta y el mejor año fue el 2016, mientras que los valores más altos de EE y CV correspondieron al final del periodo de producción, como era de esperar. La bondad de ajuste y discriminación entre los modelos utilizados demostraron un alto criterio de ajuste en los cuatro modelos, pero el mejor fue Mc Nally (1971) con R<sup>2</sup> de 99,60 %, los R<sup>2</sup> ajustados con 99,42 %. La expresión Mc Nally, alcanzó los valores más altos de ajuste  $YM = -2233,62 - 18583,8 * (MES/426) - 0,29 * (MES/426)^2 + 780,241 * \log(426/MES) - 68,1269 * (\log(426/MES))^2$  y describe mejor la producción huevo de gallinas White Leghorn L33 en las condiciones de Ciego de Ávila.

**Palabras clave:** *avicultura, curvas de puesta, modelos, predicción*

### Laying Curve Model of White Leghorn Hens in the Last Three Years in the Province of Ciego de Avila, Cuba

#### ABSTRACT

A number of 15 976 egg production records from three hen batches in Ciego de Avila (2016) were used. The laying curve was characterized in similar conditions to IIA (2013), Republic of Cuba. Estimation of the laying curves made to mean productions from three stages in a year, was presented. Four mathematical models were applied for curve adjustment: McNally, Wood, quadratic logarithmic, and linear hyperbolic. Different statistical criteria were used for validation: determination coefficient (R<sup>2</sup>), (R<sup>2</sup>A), as well as residue analysis and others. Mean, standard deviation (SD), standard error (SE), and variation coefficient (VC) were achieved for each period. Egg production accounted for 84.35 and 60.61% of total laying, 2016 was the best year. The highest values of SE and VC were observed at the end of production, as expected. Adjustment and discrimination showed a high adjustment criterion in the four models, but the best values were observed with McNally (1971), in R<sup>2</sup> (99.60%), and adjusted R<sup>2</sup> (99.42%). McNally reached the highest adjustment values:  $YM = -2233.62 - 18583.8 * (MONTH/426) - 0.29 * (MONTH/426)^2 + 780.241 * \log(426/MONTH) - 68.1269 * (\log(426/MONTH))^2$ , and it described the best production of White Leghorn L33 hens in Ciego de Avila.

**Key words:** *aviculture, laying curves, models, prediction*

### INTRODUCCIÓN

La modelación para conocimiento, análisis e interpretación de las curva de producción de huevos en el tiempo, es de gran interés, ya que permite hacer predicciones de comportamiento, conocer en un momento dado el rendimiento productivo con respecto a lo esperado; además de hacer ba-

lances del rebaño, análisis de los picos, meseta de postura y su extensión con gallinas altas productoras en períodos de finales de puesta y a partir de registros parciales (Agudelo *et al.*, 2009)

Un modelo es una representación simplificada de la realidad y es frecuente que se propongan sucesivos modelos que cada vez intentan describir o

predecir mejor el comportamiento del mundo real. Budimulyati *et al.* (2012) definió al modelo como la expresión de un conjunto complejo de elementos funcionales directa o indirectamente relacionados entre sí de manera causal.

Agudelo *et al.* (2007) plantean que las investigaciones científicas relacionadas con la producción de huevos, es común el uso de diferentes modelos matemáticos, que son un apoyo en la solución de problemas complejos, los cuales permiten cuantificar la magnitud de las principales causas de variación, logrando de esta forma una mayor precisión en los resultados de las investigaciones.

Salvador y Guevara (2013) se propusieron caracterizar las curvas de producción de huevos para eso necesitaron conocer los modelos que mejor las definen, estos son los que permiten predecir los valores esperados y ayudan a estimar los coeficientes para conocer los valores más probables de las puestas extendidas puntualizó además que la metodología se basa en la obtención de una curva de producción de huevos estándar para grupos de animales, a partir de la cual y en combinación con la parte conocida durante la puesta, se estime la producción total.

La curva de producción de huevos ha sido modelada a partir de información (total o parcial) de la producción de huevos en periodos diarios o semanales para ello se han probado diversos modelos como: funciones Wood, Ali Schaeffer, Mc Nally, Cuadrático Logarítmico, Lineal hiperbólico. Además de los modelos anteriormente mencionados, se están explorando otras alternativas como la estadística Bayesiana redes neuronales artificiales en pruebas por Galeano-Vasco y Cerrón-Muñoz (2013).

Se usan modelos de regresión no lineal ampliamente para ajustar los datos de producción de huevos. Matemáticamente, las curvas producción de huevo pueden ser divididas en tres fases, la primera fase es el aumento en la puesta desde la aparición del primer huevo hasta que la gallina alcanza el punto máximo, la segunda es desde que comienza la meseta de postura hasta que comienza a disminuir la producción, y la tercera desde que comienza a disminuir la puesta hasta el fin (Aggrey *et al.*, 2009).

El objetivo del presente estudio es analizar los tres últimos años a través de varios modelos matemáticos para caracterizar la curva de producción

de huevos y los principales problemas en lotes de gallinas White Leghorn L 33

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron 15 976 registros de producción de huevo en ocho unidades con 90 mil gallinas cada una, sometidas a un sistema de explotación en baterías de forma piramidal, en tres crianzas consecutivas (desde 2014 al 2016). En cada unidad, la producción de huevos se recogió dos veces al día para tener el control mensual, el manejo de las aves se realizó según las normas del instructivo técnico del IIA (2013) para las ponedoras y sus reemplazos en la República de Cuba.

La producción por cada granja y crianza se organizó por meses. Para la caracterización de la curva de puesta se utilizaron las producciones medias, correspondientes a un máximo de tres etapas de 12 meses cada una, en función de la duración de la puesta de cada gallina. Se aplicaron cuatro modelos matemáticos para estudiar el ajuste a dicha curva: Mc Nally (1971), Wood (1967), Cuadrático Logarítmico y Lineal Hiperbólico.

La estimación de los parámetros de los modelos no lineales requirió de métodos iterativos y en la validación de los modelos se incluyó el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y el coeficiente de determinación ajustado ( $R^2$  ajustado) por tener los modelos diferente número de parámetros; así como el análisis de los residuos para verificar el cumplimiento de supuestos teóricos. Se utilizó ANOVA de la regresión, además de la dódima de significación de los parámetros. Para cada período de un mes, se obtuvieron la media, la desviación estándar (DE), el error estándar (EE), el coeficiente de variación (CV) y la dódima de Durbin-Watson (DW). Se utilizó el procedimiento iterativo de estimación de los parámetros de Gauss-Newton del NLIN, SAS 9.3 (2010). Este procedimiento fue propuesto por Wolfinger y O'Connell (1993).

Los modelos no lineales que se aplicaron para ajustar los datos de producción de huevo fueron:

$$Y_t = a - b * (t/426 - c * t/426)^2 + d * \quad \text{Modelo Mc Nally (1971)}$$

$$\log(426/t) - e * (\log(426/t))^2 \quad \text{Modelo Wood (1967)}$$

$$Y_t = a + bt + c(t)^2 + d(\log)t \quad \text{Función Cuadrático Logarítmico}$$

$$Y_t = a - b c/t \quad \text{Función Lineal Hiperbólico}$$

Donde  $Y_t$  = la producción de huevo por meses  
 $a$  = el valor asintótico de la producción de huevo a el punto máximo,  $b$  = la disminución de la producción después del pico de puesta (la disminución del h/a/día por meses),  $c$  = aumento en la producción del huevo,  $d$  = la disminución de la producción después de la puesta,  $f$  = la proporción de aumento.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tabla 1 muestra los valores promedio de producción de huevos mensual, correspondientes a los 12 intervalos de la curva de puesta, de un mes cada uno. Hay un rango entre 60,61 y 84,35 % para la producción mínima y máxima, respectivamente. Los parámetros de dispersión ( $EE_{\pm}$  y  $CV\%$ ) incrementaron sus valores en el período final de la curva de producción, lo que era de esperar debido a las variaciones de los valores mensuales. Estos valores son similares a los informados por la CANCA (2016), datos inéditos, y son superiores a los valores alcanzados por el resto de la nación. No obstante, son superiores a los informados internacionalmente por Johnson (2015) cuyas aves alcanzaron picos de puestas y persistencia superiores. También se han informado intensidades de postura superiores (88,1 a 90,3 % en aves ISA) hasta las 74 semanas de acuerdo con Van de Braak (2015) de la compañía Genética Hendrix.

Las figuras 1, 2, 3 y 4 muestran la curva de puesta correspondiente a cada uno de los modelos analizados que expresan las diferentes ecuaciones matemáticas donde se puede observar que la de mejor ajuste fue la de Mc Nally.

La tabla 2 presenta un resumen de los parámetros estimados de las curvas con sus  $EE_{\pm}$  y la significación de éstos. La bondad de ajuste y discriminación entre los tipos de modelos utilizados demostró (Tabla 3) un alto ajuste, pues los coeficientes de determinación en el caso del modelo Mc Nally estuvo por encima de 99 %, a diferencia del Lineal Hiperbólico, Cuadrático Logarítmico y el de Wood, así como para los valores de  $R^2_A$  que se mantuvieron de igual forma. La dódima Durbin-Watson en todos los casos no alcanzó significación ( $P > 0,05$ ) lo que indica que no hubo problemas de auto correlación.

La expresión Mc Nally alcanzó parámetros significativos y valores altos de ajuste. Además, cumplió con los supuestos de homogeneidad de

varianza, logrando mejores estimadores lineales insesgados y la varianza mínima. Cumplió también los supuestos en la validación de predicción de este modelo (Tabla 4), donde el 0,94 % se debió al error. Esto significa que dicha expresión describió mejor la producción de huevos de las gallinas White Leghorn  $L_{33}$  en las condiciones de la provincia Ciego de Ávila. Igualmente, se consideró que la integral definida de esta curva es también una alternativa para el cálculo del rendimiento de los niveles de puesta la que demostró 265,5 h/ave.

Al mejor modelo (Mc Nally) se le estimó el valor extremo o máximo, correspondiente al pico de producción., este se encontró en el comienzo del segundo mes de puesta, con una producción de huevos de 92,3 %. Ahmadi y Golian (2008) en un estudio con gallinas ligeras, encontraron que el pico de producción se halló entre final del primer mes y comienzos del segundo de incorporada la gallina a la producción, cifras bastante próximas a las informadas en el presente estudio. Estos autores informaron una producción promedio de huevos entre 90,7 y 91,2 % de puesta en el mes, similar a la de 92,3 %, obtenida en este estudio. La producción promedio, antes indicada, es superior entre 1,23 y 2,34 a los señalados por el instructivo técnico del IIA (2013).

En las curvas de puesta de las gallinas de Ciego de Ávila estudiadas bajo nuevos métodos y modelación matemática posibilita mejores predicciones y tomas de decisión en cuanto a etapas de la curva o el periodo completo de puesta en la predicción de la producción de huevo presente y futura, a través de diferentes modelos como el del presente estudio la entidad cuenta con una herramienta que solo admite hasta 5% de error de predicción.

## CONCLUSIONES

El modelo Mc Nally caracterizó mejor la producción de huevos en la provincia Ciego de Ávila y pudiera utilizarse en estudios posteriores que permitan, además, analizar los factores que afectan la curva de puesta e incluso estimar la curva libre de otros efectos fijos.

Esta modelación permite evaluar realmente la calidad con que llega la pollona del desarrollo y la edad a la madurez sexual y otros factores de la etapa de adaptación.

Los mejores resultados lo alcanzaron los años 2014 y 2016 con 75 % de puesta todo el año de vida productiva de la gallina.

## REFERENCIAS

- AGUDELO, D. A.; CERÓN, M. F. y RESTREPO, L. F. (2009). Modelación de las funciones de crecimiento aplicadas a la producción animal. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 21 (1), 39-58.
- AGUDELO, D. A., CERÓN, M. F. y RESTREPO, L. F. (2007). Modelación de las funciones de crecimiento aplicadas a la producción animal. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 21 (1), 39-58.
- AGGREY, S. E. (2009). Logistic Nonlinear Mixed Effects Model for Estimating Growth Parameters. *Poultry science*, 88 (2), 276-280.
- AHMADI, H y GOLIAN, A. (2008) Neural Network Model for Egg Production Curve. *Journal of Animal and Veterinary Advances* 2008; 7: 1168-1170. Recuperado el 20 de agosto de 2009, de <http://medwelljournals.com/fulltext/java/2008/1168-1170.pdf>.
- BUDIMULYATI, S.; NOOR, R. R.; SAEFUDDIN, A. y TALIB, C. (2012). Comparison on Accuracy of Logistic, Gompertz and von Bertalanffy Models in Predicting Growth of New Born Calf Until First Mating of Holstein Friesian Heifers. *Journal of the Indonesian Tropical Animal Agriculture*, 37 (3), 151-160.
- CANCA (2016). *Programa de preparación de las pollonas para el comienzo de la postura*. Memorias del III Congreso Nacional de Avicultura, Centro de Convenciones Plaza América, Varadero, Cuba.
- GALEANO-VASCO, L. y CERÓN-MUÑOZ, M. (2013). Modelación del crecimiento de pollitas Lohmann LSL con redes neuronales y modelos de regresión no lineal. *Revista MVZ Córdoba*, 18 (3), 3851-3860.
- IIA (2013). *Instructivo técnico*. La Habana, Cuba: Instituto de Investigaciones Avícolas.
- JOHNSON, L. (2015). *Factors that affect egg production in chickens. Panhandle*. Recuperado el 13 de marzo, de 2016, de [www.lfs.ufl.edu/phag2015/02/27](http://www.lfs.ufl.edu/phag2015/02/27).
- MCNALLY, D. H. (1971). Note: Mathematical Model for Poultry Egg Production. *Biometrics*, 27, (3), 735-738.
- SALVADOR, E. y GUEVARA, V. (2013). Desarrollo y validación de un modelo de predicción del requerimiento óptimo de aminoácidos esenciales y del comportamiento productivo en ponedoras comerciales. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 24 (3), 264-276.
- SAS (2010). *Statistical Analysis System* (versión 9.1.3). USA: (TSMO) Cary, NC.
- VAN DE BRAAK, T. (2015). Introducing the ISA Dual-ISA Focus. *ISA Newsletter*, (13). Recuperado el 18 de diciembre de 2016, de [www.isapoultry.com](http://www.isapoultry.com).
- WOLFINGER, R. y O'CONNELL, M. (1993). Generalized Linear Mixed Models a Pseudo-Likelihood Approach. *Journal of Statistical Computation and Simulation*, 48 (3-4), 233-243.
- WOOD, P. D. P. (1967). Algebraic Model of the Lactation Curve in Cattle. *Nature*, 216 (2), 164-165.

Recibido: 12-1-2017

Aceptado: 20-1-2017

**Tabla 1. Producción de huevos (u), de la Provincia Ciego de Ávila, en los años 2014, 2015 y 2016 en diferentes periodos de la curva de puesta de gallinas White Leghorn L-33**

Meses puesta	Medias año 2014*	Medias año 2015*	Medias años 2016*	EE±	CV, %	Máxima	Mínima
1	76,13	72,40	82,79	0,16	0,24	87,18	74,40
2	80,73	75,80	83,34	0,17	0,20	88,37	76,31
3	80,27	73,63	82,76	0,17	0,21	91,74	73,70
4	81,69	74,81	84,35	0,17	0,24	90,11	74,62
5	79,28	73,93	83,07	0,17	0,21	85,99	76,15
6	81,00	72,34	81,18	0,16	0,25	83,43	74,93
7	79,11	71,12	79,48	0,16	0,29	85,21	69,75
8	77,41	67,71	76,80	0,16	0,22	81,56	68,56
9	74,74	64,55	73,16	0,15	0,21	77,48	66,94
10	72,10	62,43	71,33	0,14	0,31	72,08	64,58
11	68,27	62,12	65,59	0,16	0,34	68,21	58,97
12	63,53	60,61	62,34	0,13	0,46	63,25	57,34
Media	75,35	69,28	75,52			81,23	69,52

\* CANCA (2016 datos inéditos)

**Tabla 2. Parámetros estimados, error estándar y significación de los modelos utilizados**

Modelos	Parámetros de los modelos matemáticos			
	a	b	c	d
Mc Nally	766,0±614,2	2,348±0,518	-0,231 ±0,104	-3,194 ±9,59
Wood (1967)	51,90±3,88	0,67±0,09	0,12±0,02	
Cuadrático				
Logarítmico	56,10± 3,16	-17,96±3,39	0,40±0,138	67,90±7,96
Lineal				
Hiperbólico	118,41±1,930	3,685±0,175	-78,105±2,908	

Significación de los parámetros				
Mc Nally	***	***	***	***
Wood (1967)	***	***	***	
Cuadrático				
Logarítmico	***	***	***	***
Lineal				
Hiperbólico	***	***	***	

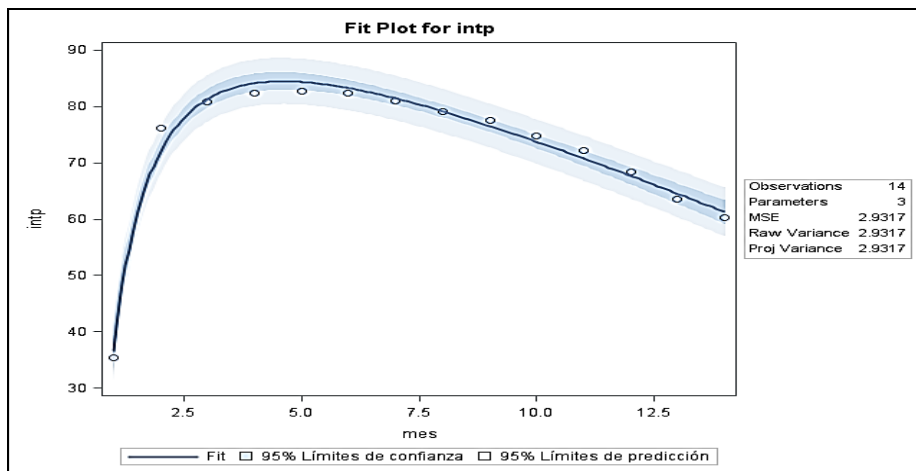
\*\*\* (P < 0,001)

**Tabla 3. Bondad de ajuste y determinación entre los tipos de modelos empleados**

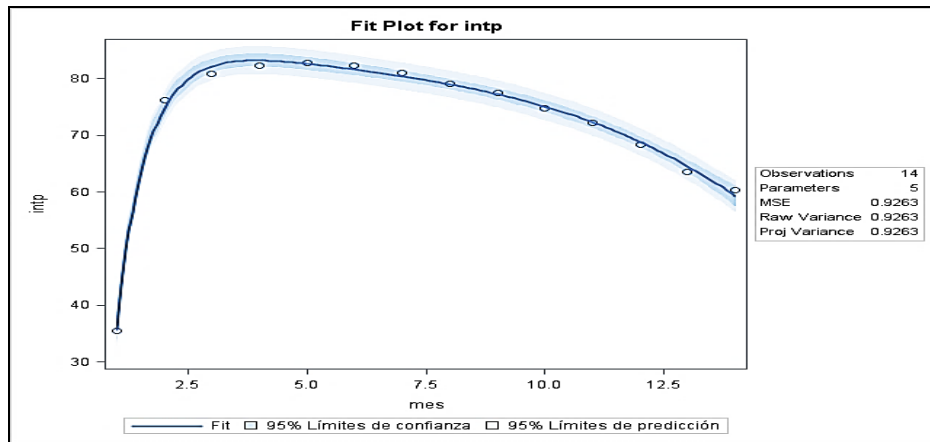
Modelo	Mc Nally	Wood (1967)	Cuadrático Logarítmico	Lineal Hiperbólico
Método de ajuste de los modelos	Gauss-Newton	Gauss-Newton	Gauss-Newton	Gauss-Newton
Significación del modelo	<,000	<,0001	<,0001	<,0001
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	99,60	86,50	95,29	98,50
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup> A	99,42	84,05	95,88	98,20
Des. estándar del error de estimación	11,26	5,136	3,180	13,71

**Tabla 4. Validación de predicción, según desglose de los residuos**

Residuos	Mc Nally	Wood	Cuadrático Logarítmico	Lineal Hiperbólico
MSE	0,954	26,378	10,115	2,932
MAE	0,636	3,069	2,088	1,178
MAPE	0,891	5,180	3,113	1,694
ME	0,0003	-0,0586	8,131	1,903
MPE	0,024	-1,1204	-0,321	-0,118

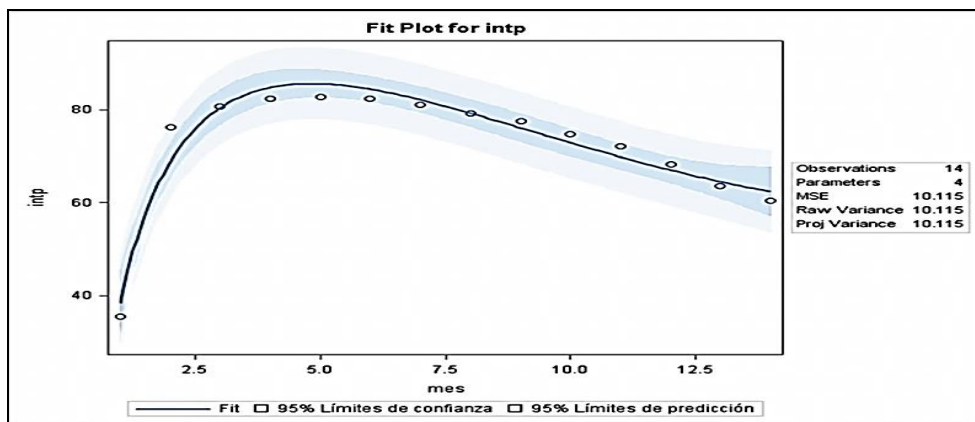


$Y_t = a - b \cdot (t/426 - c \cdot t/426^2 + d \cdot \log(426/t) - e \cdot (\log(426/t))^2)$   
**Fig. 1. Curva de puesta según modelo ajustado Mc Nally (1971)**



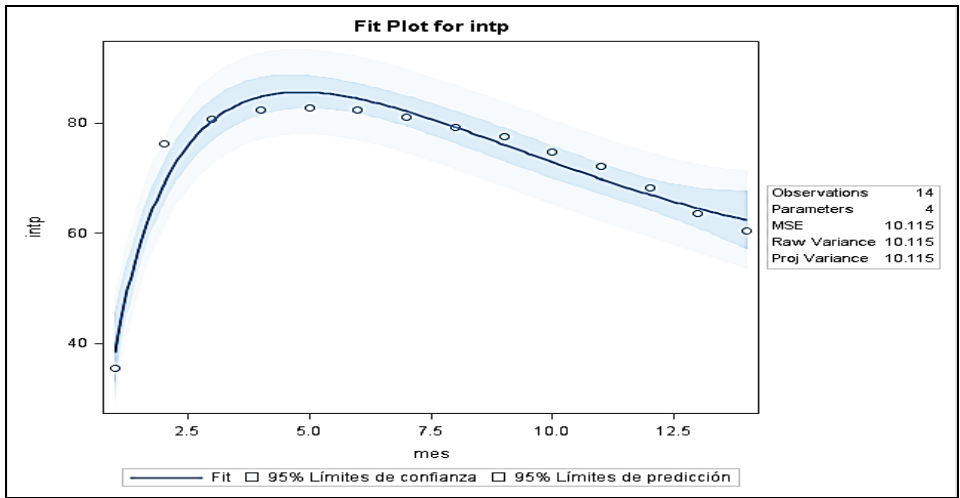
$$Y_m = 56,1073 - 17,9654 * \text{mes} + 0,401024 * \text{mes} * \text{mes} + 67,9058 * \log(\text{mes})$$

Fig. 2. Curva de puesta según modelo ajustado cuadrático logarítmico



$$Y_m = 118,408 - 3,6853 * \text{mes} - 78,1047 / \text{mes}$$

Fig. 3. Curva de puesta según modelo ajustado Lineal Hiperbólico



$$Y_m = 51,9082 * \text{mes}^{(0,670349)} * 2,71^{(-0,118063 * \text{mes})}$$

**Fig. 4. Curva de puesta según modelo Wood 1967**