

## MANEJO Y ALIMENTACIÓN

### Uso de modelos no lineales para el crecimiento, desarrollo y postura de gallinas White Leghorn L<sub>33</sub> con relación a indicadores económicos

Jorge E Gómez Cuello\*, Luis M Fraga Benítez\*\*\*, Redimio M. Pedraza\*\*, Roberto Vázquez Montes de Oca\*\* 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 determinaron los factores zootécnicos que establecieron los principales indicadores bioeconómicos del comportamiento del ciclo productivo comercial de las gallinas White Leghorn L<sub>33</sub> en la provincia de Ciego de Ávila, Cuba. Se analizaron 55 ciclos durante los años 2002 a 2014 y 18 ciclos de 2014 a 2016 para la validación de los modelos matemáticos. Se utilizaron estadística descriptiva, modelos mixtos generalizados (GLIMMIX) y modelado con cinco funciones. Se utilizó el programa SAS 9.3. Los ciclos productivos se caracterizaron por su aproximación al estándar establecido para esta raza y línea en Cuba. La puesta fue de 293 huevos / ave, con conversión de 1,40 kg de pienso / 10 huevos y el costo del huevo de 0,36 CUP. Las naves de inicio y el año influyeron en el peso vivo, largo de tarso, uniformidad y ganancia diaria hasta 175 días. La granja influyó en la edad a la madurez sexual, la conversión, la producción de huevo, el costo del huevo y el ingreso neto; mientras que la nave de inicio, dentro de cada finca, y los años influyeron significativamente en la mayoría de los indicadores biológicos. Se encontraron efectos bajos, pero significativos de la acción integrada de las variables climáticas en los indicadores bioeconómicos. Los modelos de Gompertz para el crecimiento y Mc Nally para la puesta demostraron ser los mejores predictores del comportamiento productivo que, junto con el uso de GLIMMIX, permitirá criterios adecuados para una mejor toma de decisiones con el fin de aumentar la producción de huevos.

**Palabras clave:** *modelos mixtos, gallinas, granjas, peso vivo, puesta*

#### Use of Non-Linear Models for Growth, Development, and Posture of L-33 White Leghorn Hens, in Relation to Economic Indicators

#### ABSTRACT

The Zootechnical Factors established by the main bioeconomic behavior indicators were determined for the productive-commercial cycle of L-33 White Leghorn hens in the province of Ciego de Avila, Cuba. A number of 55 cycles were analyzed for validation of mathematical models between 2002 and 2014; along with other 18 cycles, between 2014 and 2016. Descriptive statistics, generalized mixed models (GLIMMIX), and modeling with five functions were used, along with SAS 9.3. The productive cycles were similar to the standard set up for the Cuban breed and line. Laying accounted for 293 eggs/poultry, with a conversion of 1.40 feed kg/10 eggs, and a cost of \$ 0.36 CUP an egg. The starting houses and the year had effects on live weight, tarsus length, uniformity, and daily weight gain up to 175 days. Sexual maturity, conversion, egg production, egg cost, and net income were influenced by the farm, whereas each farm's starting house and the years, had negative effects on most biological indicators. Low, but significant effects of combined action of climate variables were observed in the bioeconomic indicators. The Gompertz models for growth, and MacNally for laying, were the best predicting tools for production. Along with GLIMMIX, they will contribute with suitable criteria for better decision making to increase egg production.

**Key words:** *mixed models, hens, farms, live weight, laying*

#### INTRODUCCIÓN

El ciclo productivo de las gallinas comerciales comienza con la entrada de las pollitas de un día en el que se busca principalmente el desarrollo del tracto digestivo y desarrollo del sistema inmune, buen corte de pico e iluminación y buen estado sanitario (Carvalho *et al.*, 2015).

La pollita de un día debe tener peso corporal adecuado, para la mayoría de las estirpes ligeras el peso ideal es 36 g; el bajo peso puede ser causa de mortalidad de las aves en la primera semana de vida, también afecta su desarrollo y se manifiesta en la desigualdad de la parvada (Rodríguez y Valdiviá, 2015).

En el periodo de producción de huevos se debe tener en cuenta también los factores ambientales, de manejo y el alto potencial de las ponedoras, que se logra, no solo con mayor persistencia de la postura, alimentación balanceada y estado sanitario impecable, sino con un desarrollo precoz en la etapa anterior, lo que permite disponer de 15 a 20 huevos más por ponedora con una rápida arrancada de la producción, buena persistencia del pico y de la meseta de postura, que posibilita un alto índice de puesta y, desde luego, un incremento sostenido del peso y la calidad del huevo, así como su rentabilidad (Herrera, 2014).

Por todo lo antes expuesto el presente trabajo tiene como objetivos: determinar la influencia de efectos fijos y aleatorios en indicadores económicos del ciclo productivo y comprobar el valor predictivo de los modelos matemáticos de mejor ajuste empleados en el crecimiento y puesta de las aves.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en unidades comerciales de la Empresa Avícola de Ciego de Ávila, ubicada en la provincia homónima y localizada en la zona central de la República de Cuba a los 21°.56 latitud Norte y 79°.10 Oeste. Presenta una topografía con relieve fundamentalmente llano, con altitud media de 27 m sobre el nivel del mar (Esquivel, 2013).

El estudio abarcó una unidad de inicio, una de desarrollo y seis de producción de huevos, en total fueron incluidas 73 crianzas durante 17 años (55 en el periodo 2002-2014 y 18 crianzas para la validación de modelos, durante el período 2014-2016).

### *Selección y descripción de la muestra*

Se utilizaron dos poblaciones: la primera para el estudio de los factores zootécnicos y la segunda para la validación de los modelos matemáticos de mejor ajuste.

Los periodos comprendidos en el estudio fueron: inicio (42 días), crecimiento y desarrollo (43-112 días), adaptación (113-175 días) y puesta (176 días en adelante). Para las corridas de los modelos se consideraron los efectos de edad o mes de producción ajustados para los otros efectos del modelo (humedad relativa, velocidad del viento y temperatura) con respecto a la evaluación del peso vivo (PV), largo del tarso (LT) e intensidad de puesta (IP). La unidad experimental fue la nave y las evaluaciones se realizaron a las edades de 1; 15; 30; 42; 64; 84; 112; 140 y 175 días y la intensidad de puesta mensual a los 12 meses a partir de 175 días hasta la decrepitud.

El manejo de las aves en cada categoría se realizó tal como se describe en el instructivo técnico de IIA (2013). El Proc NLIN se empleó para las funciones de crecimiento y puesta.

La estimación de los parámetros de los modelos no lineales requirió de métodos iterativos, en la validación de los modelos se incluyó el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y el coeficiente de determinación ajustado ( $R^2A$ ). Para cada período de un mes se obtuvieron la media, la desviación estándar (DE), el error estándar ( $EE\pm$ ), el coeficiente de variación (CV%) y la dócima de Durbin-Watson (DW) y su significación. Se utilizó el método modificado de Gauss-Newton, disponible en el Proc NLIN del SAS versión 9.3. Para la selección de los modelos, se consideraron los criterios de ajuste recomendados por Guerra, Cabrera y Fernández (2003), Macciotta *et al.* (2005, 2006) y Torres *et al.* (2012).

### *Análisis de datos*

Se utilizó el Ins Ight del SAS (2010) para analizar el cumplimiento de la normalidad a través de la prueba de Kolmogorov-Smirnov y se realizó el análisis de mejor ajuste para la transformación de los datos con el empleo del Proc Severity.

Se empleó un Modelo Lineal Generalizado Mixto (Proc Glimmix), propuesto por Wolfinger y O'Connell (1993), para el análisis de los datos considerando la opción de efectos aleatorios. Se usó la dócima de Tukey-Kramer (Kramer, 1956) para la comparación de medias con niveles de significación inferiores al 5 %.

El ajuste de las medidas para todos los análisis efectuados se hizo con la distribución Logn con Link Identity, según sugerencias del Proc Severity, y la retransformación se realizó con el empleo de la función de potencia con base Euler (e).

*Funciones matemáticas empleadas*

Para el estudio de las curvas de crecimiento y de puesta, luego de un estudio inicial de más de 14 modelos para las dos etapas, fueron seleccionados los siguientes modelos no lineales:

Etapas de crecimiento:

Funciones	Año	Ecuación
Gompertz	1925	$Y=a e^{(-b e^{(-c x)})}$

Donde:

Y: variable dependiente medida en g/ave o mm para PV y LT, respectivamente.

(a, b, c y e): parámetros de los modelos

X: variable independiente medida en el tiempo (días).

Etapas de puesta:

Funciones	Año	Ecuación
Mc Nally	1971	$Y= -a Xb e^{(-cX + dX^{(0,5)})}$

Donde:

Y: variable dependiente, intensidad de puesta (%)

(a, b, c, d y e): parámetros de los modelos

X: variable independiente (meses).

Para la selección del mejor modelo se consideraron los siguientes criterios de ajuste sugeridos por Guerra, Cabrera y Fernández (2003), Macciotta, Vicario y Cappio-Borlino (2005), Macciotta *et al.* (2006) y Torres *et al.* (2012):

- 1)  $R^2$  y  $R^2$  ajustado a los grados de libertad del modelo.
- 2) El valor del Cuadrado medio del error de predicción (CME).
- 3) La dócima de significación del modelo.
- 4) La dócima de significación de los parámetros.
- 5) El número de iteraciones que determina la mayor o menor dificultad de convergencia.
- 6) La distribución gráfica de los residuos.
- 7) Curvas atípicas en por ciento que consideran los  $R^2$  por debajo de 0,50 y 0,90 % en la salida del Proc NLIN de SAS (Steri, 2013).

*Integral definida usada en los periodos crecimiento, desarrollo y puesta*

Se usó la integral definida para determinar el área debajo de la curva de crecimiento, como ejemplo de aplicación de los modelos *in silico* para ayudar a la toma de decisiones; se usaron para el crecimiento y la puesta las siguientes integrales:

$$\int_1^{175} 1681,21 * 2.72 (-3,37 2.72 (-0,20 \text{ edad}))$$

$$\int_3^{14} 711.8\text{mes}^{(2,286 * 2,72 (-0,222 \text{ mes}) + (-3,096 \text{ mes}))^{0,5}}$$

Se empleó en procedimiento en línea descrito por Scherfgen (2016).

Se consideraron los datos primarios relacionados con variables económicas tomados de los registros contables de las unidades de producción involucradas en el estudio y considerados bajo los precios oficiales del sector (CANCA, 2016). A partir de esta información se calcularon en CUP:

Costo del huevo (COPH) = costo de la formación del reemplazo y el costo de la ponedora/número de huevos producidos por gallina alojada.

Ingresos netos por peso de producción sin considerar los ingresos por decrepitud (INPPRO) = total ingresos sin la decrepitud menos total de gastos /total de gastos.

Ingresos netos por peso de producción considerando los ingresos por decrepitud (INPPROD) = total ingresos considerando la decrepitud menos total de gastos/total de gastos.

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En la Tabla 1 se observa que para el inicio, crecimiento y desarrollo de las pollitas el modelo de Gompertz (1925) presentó adecuados ajustes de estas fases atendiendo a los mismos criterios que se utilizaron

Uso de modelos no lineales para el crecimiento, desarrollo y postura de gallinas White Leghorn L<sub>33</sub> con relación a indicadores económicos

en la etapa experimental. En ambos casos el modelo evaluado mostró que el peso asintótico (a) fue superior a la tasa de madurez (c); sin embargo, el coeficiente de integración (b) fue inferior a (a) y superior a (c) y mostró significación tanto el modelo como sus parámetros.

**Tabla 1. Validación de las curvas de crecimiento y puesta en gallinas ponedoras White Leghorn L<sub>33</sub> en la provincia Ciego de Ávila durante 2014-2016**

Modelos	Parámetros			
	a ± EE	b ± EE	c ± EE	d ± EE
Gompertz (1925)	1 681,21 ± 11,747	3,37 ± 0,039	0,20 ± 0,003	-
Mc Nally (1971)	711,80 ± 108,710	2,29 ± 0,009	- 0,22 ± 0,020	- 3,09 ± 0.183
Significación de los parámetros				
Gompertz (1925)	***	***	***	
Mc Nally (1971)	***	***	***	***
Ecuaciones resultantes				
Gompertz (1925)	$Y_e = 1\ 681,21 * 2,72^{(-3,37 * 2,72^{(-0,20 * edad)})}$			
Mc Nally (1971)	$Y_m = 711,80 * mes^{(2,29 * 2,72^{((-0,22 * mes)+(-3,09 * mes(0,5))})}$			

Parámetro: (a) valor asintótico de crecimiento y puesta, (b) parámetro de ajuste, (c) tasa de crecimiento y postura, (d) parámetro de ajuste para la puesta

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

La modelación del peso vivo en función de la edad, para la validación de todo el periodo de formación de la pollita de reemplazo, en lo referente a la ganancia media diaria (GMD) arrojó un rango de variación que osciló entre 8,6 y 12,3 g/ave/día, cercanas a los estándares establecidos para la gallina White Leghorn L<sub>33</sub> (IIA, 1998, 2003, 2013).

El modelo Mc Nally (1971) tuvo un buen ajuste para la puesta y también fueron significativos tanto el modelo como sus parámetros de forma similar a los resultados obtenidos anteriormente.

Resultados similares informó Savagnago *et al.* (2012), quienes lograron predecir la producción de huevos de gallinas White Leghorn con seis modelos, todos con buenos criterios de ajustes, los de mejores condiciones predictivas fueron el Yang logístico, Polinomial segmentado y Grossman, de 5 a 54 semanas de producción, que lograron picos de puestas de más de 92 % y alta persistencia de la meseta de postura, con 282 huevos por ave alojada y una conversión masal de 1,69 kg de alimentos por cada kilogramo de huevos producidos.

Igualmente, se consideró que la integral definida de esta curva es también una alternativa para el cálculo del rendimiento de los niveles de puesta, donde el 70 % es la intensidad de puesta promedio bajo la curva. Durante el año de puesta se obtienen 255,5 huevos/ave, típico de la provincia evaluada. Fraga *et al.* (2003), en estudio preliminar de las curvas de lactancia en búfalas mestizas, utilizaron la integral definida para predecir la producción de leche.

En la Tabla 2 se comparan los criterios de ajuste entre ambas etapas de estudio, según Guerra, Cabrera y Fernández (2003) y Torres *et al.* (2012). Como puede apreciarse se obtuvo un adecuado desempeño de los criterios de ajuste en la validación del modelo de crecimiento Gompertz, con un R<sup>2</sup> ajustado de 99,27 %, muy similar al obtenido durante el estudio previo (99,13 %), acompañado de una media absoluta del error de 20,69; esta es más pequeña que la obtenida en el estudio experimental de 14 años (26,17). Se alcanzó 50,09 para la desviación estándar del error de estimación muy similar al 51,16 del anterior.

**Tabla 2. Comparación de los modelos empleados en la fase experimental (1) y validación (2) de los resultados en el periodo de crecimiento y puesta**

Modelos	Parámetros			
	Gompertz 1	Gompertz 2	Mc Nally 1	Mc Nally 2
Significación de los modelos	***	***	***	***
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	99,34	99,53	99,60	99,76
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup> A	99,13	99,27	99,42	99,54
D. Estándar del Error de Estimación	51,16	50,09	0,97	0,95
Media absoluta del Error	26,17	20,69	1,32	1,29
Prueba de Durbin-Watson	2,10	2,04	2,13	2,09
Significación	**	**	**	**

R<sup>2</sup>A coeficiente de determinación ajustado, D desviación

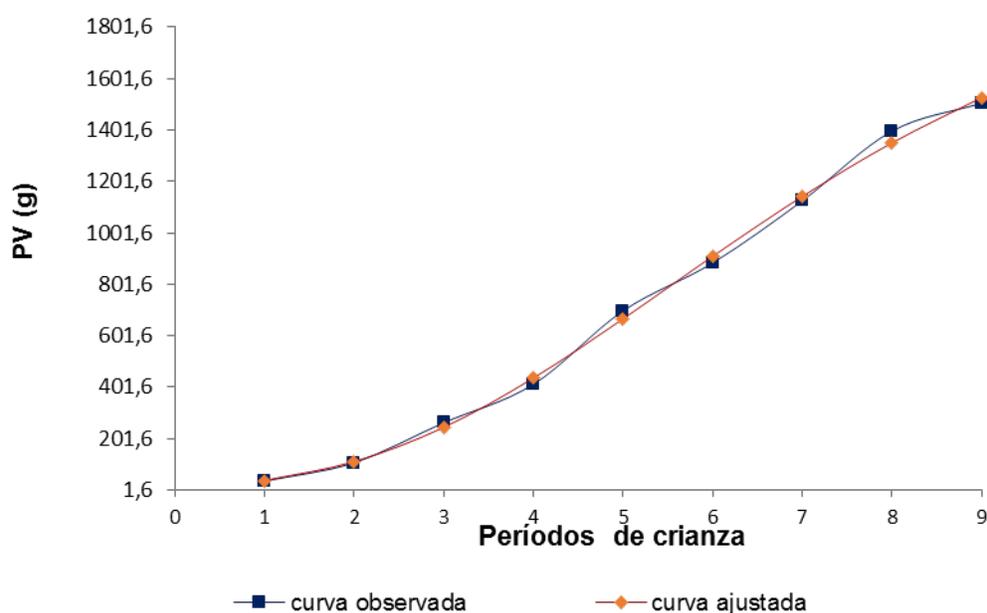
\*\* (P < 0,01)

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

Se cumplieron los indicadores de ajuste en la validación de modelo, pues se alcanzó 0,95 para la desviación estándar del error de estimación muy similar al 0,97 del anterior y se obtuvo para la media absoluta del error 1,29 en el presente estudio, semejante a 1,32 hallado en la fase experimental y el estadístico Durbin Watson próximos a 2, demuestra que no existió autocorrelación de los errores de los modelos en estudio de validación ni experimental.

Esto significa que dicha expresión describió adecuadamente la variación mensual de la intensidad de puesta de las gallinas White Leghorn L<sub>33</sub> en las condiciones de la provincia Ciego de Ávila en el período de 2014 a 2016, similar a Mitat y Fernández (2012) que, en el estudio de la curva de lactancia en búfalas, utilizaron ese mismo método para predecir futuras producciones y otros indicadores. Aunque no se realizaron en las aves no dejan de mostrar un gran valor predictivo y de pronóstico para la producción animal.

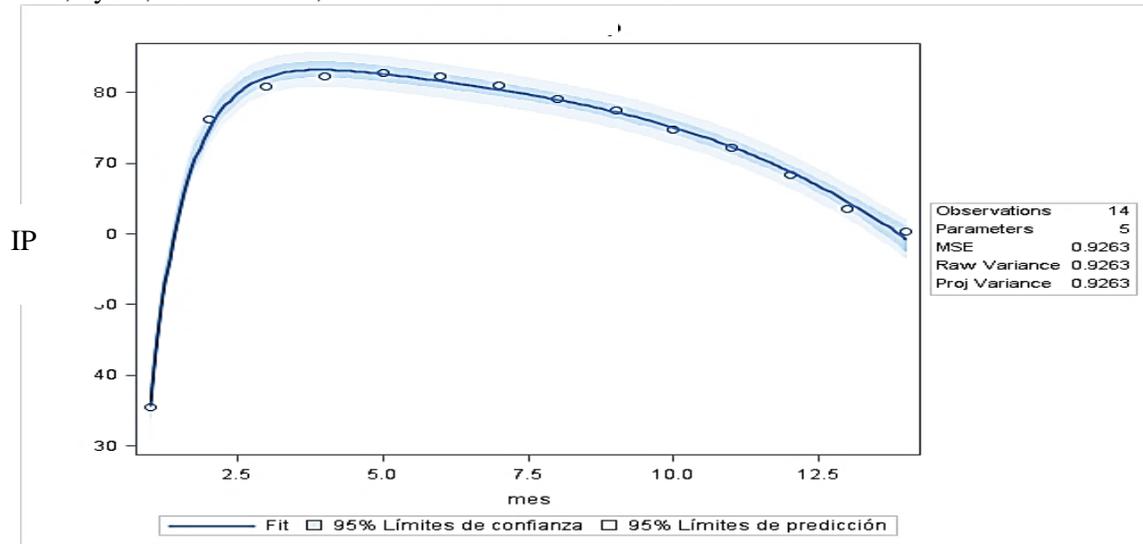
La función Gompertz (Fig. 1) no sobreestimó el valor del peso vivo en ninguno de los puntos de la curva observada, esto se pudiera explicar por el repique que se realiza a los 65 días de comienzo de la crianza, y la cantidad de pollitas que fueron sometidas a este procedimiento (Sacranie *et al.*, 2015), lo cual ocasiona reducción en el consumo voluntario hasta 17 días disminuyendo así las tasas de incremento de peso.



**Fig. 1. Curvas observadas y estimadas del modelo Gompertz (1925) validado para el periodo de crecimiento**

Botelho, Serafim y Butolo (1998) plantearon que el comportamiento hallado estuvo sujeto a la relación peso y edad en condiciones normales de producción, estos resultados coinciden también con los obtenidos por Galeano-Vasco y Cerón-Muñoz (2013) quienes refirieron que las líneas comerciales son capaces de obtener pesos vivos superiores a 1 550 g .

En el estudio de la puesta (Fig. 2) el mejor modelo (Mc Nally, 1971) no sobreestimó ninguno de los 14 puntos de la curva observada, se le estimó el valor extremo o máximo correspondiente al pico de producción de huevos, que se encontró en el comienzo del segundo mes de puesta, con una producción de 91,4 %. Forainne (2016) en un estudio con gallinas Hy Line, encontró que el pico de producción estuvo entre final del primer mes y comienzos del segundo de incorporada la gallina a la producción, cifras próximas a las obtenidas en el presente estudio. Este autor informó una intensidad de puesta promedio entre 90,7 y 91,2 % en el mes, también similar a la informada en este estudio.



**Fig. 2. Curvas observadas y estimadas del modelo Mc Nally (1971) validado para el periodo de producción de huevos. Salida SAS**

Se considera que el modelo Mc Nally caracterizó mejor la producción de huevos en la provincia Ciego de Ávila y pudieran utilizarse otros modelos en estudios posteriores que permitan, además, analizar los factores que afectan la curva de puesta como el arribo a la madurez sexual, las dietas por fases y balanceadas y los efectos del clima.

Fialho, Ledur y Ávila (2001) utilizaron el modelo polinomial segmentado para predecir con qué edad comenzó la puesta y se alcanzó el inicio y pico de puesta, dicha expresión describió mejor la producción de huevos de las gallinas White Leghorn L<sub>33</sub> en las condiciones de la provincia Ciego de Ávila, en comparación con los demás modelos. No obstante, al estudiar la atipicidad, el modelo de Alí-Schaeffer tuvo 0 % valores por debajo del  $R^2=0,90$ ; mientras que en Mc Nally tuvo 90,7 % por debajo de  $R^2= 90 \%$ , pero analizando los demás criterios de ajustes el modelo Mc Nally resultó mejor por lo explicado anteriormente en la Tabla 2.

#### *Resultados económicos*

En la Tabla 3 se puede apreciar el análisis de varianza de estos indicadores que muestra los efectos significativos de la granja de ponedora ( $P < 0,05$ ) y de los años de inicio de crianza en las variables económicas COPH, INPP e INPPD. Se evidenció que el costo de mantener una ponedora fue más del doble de lo que costó producir su reemplazo y que el huevo se obtuvo con un costo de 0,36 CUP, mientras que los ingresos netos por peso producido fueron de 0,42 CUP sin considerar la venta de gallinas a la decrepitud, pero de 0,51 CUP, si es considerada en el período promedio de los 14 años analizados, lo que hace de esta actividad un proceso económico de interés.

**Tabla 3. Influencia de los efectos fijos en algunos indicadores económicos evaluados en gallinas White Leghorn L<sub>33</sub>**

Efectos	GL (Num/Den)	Valor P				
		COCO	COPON	COPH	INPPRO	INPPROD
Granja	5/213	0,2907	0,2664	0,0164	0,0140	0,0131
NI/NC(G)	30/213	0,6995	0,8288	0,0595	0,0685	0,3848
Año	13/213	0,5788	0,4818	0,0166	0,0156	0,0202
CA	3/213	0,0447	0,0545	0,3722	0,3987	0,7531

Num/Den: Numerador/Denominador, CA: Crianzas por año, COPON costo de la ponedora sola, COCO costo de la pollita y la ponedora a la incorporación a la producción, COPH costo del huevo, INPPRO ingreso neto por peso de producción y INPPROD ingreso neto por peso de producción más la decrepitud

Los valores DE, CV y EE son bajos, lo que significa que estos indicadores tuvieron muy poca variación en la toma de información. Resultados inferiores informaron Ferrufino y Rosales (2005), con gallinas ponedoras comerciales ISA-Brown en Santa Cruz Bolivia, que lograron un costo de producción del huevo de 0,43 centavos por peso de producción; sin embargo, mejoró el costo de la ponedora con 68,91 pesos por 70,84 CUP en el presente estudio.

En la Tabla 4 se aprecia que las granjas de ponedoras 5 y 6 tuvieron el mejor comportamiento en los tres indicadores económicos evaluados, lo cual expresa la importancia del efecto granja asociado a la mejora de los indicadores productivos. Estos resultados están muy relacionados a un mejor trabajo realizado por los obreros y personal técnico y administrativo.

**Tabla 4. Efecto de granja de producción en algunos indicadores económicos (CUP) evaluados en gallinas White Leghorn L<sub>33</sub>**

Granja	COPH		INPP		INPPD	
	Media	EE±	Media	EE ±	Media	EE ±
1. S. Tomás	0,360 <sup>b</sup>	0,003	0,420 <sup>b</sup>	0,005	0,516 <sup>b</sup>	0,006
2. A. Voisin	0,370 <sup>a</sup>	0,004	0,408 <sup>c</sup>	0,004	0,497 <sup>d</sup>	0,006
3. XXX Aniv.	0,362 <sup>b</sup>	0,003	0,418 <sup>b</sup>	0,004	0,504 <sup>c</sup>	0,005
4. M. Morales	0,363 <sup>b</sup>	0,003	0,416 <sup>b</sup>	0,004	0,508 <sup>c</sup>	0,006
5. Florencia	0,356 <sup>c</sup>	0,003	0,424 <sup>a</sup>	0,004	0,515 <sup>b</sup>	0,006
6. P. Enero	0,355 <sup>c</sup>	0,003	0,426 <sup>a</sup>	0,005	0,523 <sup>a</sup>	0,006

<sup>a,b,c,d</sup> Medias con diferentes superíndices en las columnas difieren significativamente

\* (P < 0,05), según Tukey-Kramer (Kramer, 1956)

COPH: costo del huevo, INPPRO: Ingreso neto por peso producido, INPPROD: Ingreso neto por peso producido con la decrepitud

Resultados inferiores informó Pérez (2011) cuando logró mejorar en 4,5 % la intensidad de puesta y disminuyó a 0,41 CUP los costos del huevo con la evaluación de la hidroterapia en el comportamiento productivo de ponedoras en la Empresa Avícola Tunas. Además Castellanos (2011), con gallinas White Leghorn L<sub>33</sub>, obtuvo mejores costos del huevo en un sistema de crianza en jaula que fue el de mejor comportamiento con 0,39 CUP, más alto que en el presente trabajo.

Por otra parte, la granja 6 (Primero de Enero) es un ejemplo de lo mencionado anteriormente y ha sido reconocida como referente nacional por varios años consecutivos. Estos indicadores deben ser tomados como referencia aunque se pudieran mejorar (CANCA 2017; UECAN 2017).

En la Tabla 5 se puede ver que el costo del huevo y los ingresos netos por peso producido con y sin la decrepitud difieren significativamente (P < 0,05) en los años de crianza evaluados.

En la venta de huevos resultante de reemplazos que cumplen sus estándares de peso vivo y uniformidad a las 18 semanas de edad, se aumentan los ingresos en CUP, lo cual justifica económicamente la necesidad de obtener reemplazos de ponedoras con adecuados pesos vivos, uniformidad y arribo a la madurez sexual en tiempo; sin embargo, los reemplazos por debajo de los indicadores deseados según este autor, a la larga, traen grandes pérdidas económicas.

**Tabla 5. Costo del huevo e ingresos netos por peso producido (CUP) en gallinas White Leghorn L<sub>33</sub>**

Años	COPH		INPPRO		INPPROD	
	Media	EE ±	Media	EE ±	Media	EE ±
2002	0,35 <sup>d</sup>	0,005	0,43 <sup>ab</sup>	0,006	0,53 <sup>a</sup>	0,008
2003	0,35 <sup>cd</sup>	0,004	0,43 <sup>a</sup>	0,005	0,52 <sup>b</sup>	0,008
2004	0,37 <sup>b</sup>	0,004	0,41 <sup>cd</sup>	0,005	0,50 <sup>d</sup>	0,008
2005	0,36 <sup>c</sup>	0,004	0,42 <sup>c</sup>	0,005	0,51 <sup>b</sup>	0,007
2006	0,37 <sup>a</sup>	0,005	0,41 <sup>e</sup>	0,006	0,49 <sup>e</sup>	0,009
2007	0,36 <sup>d</sup>	0,004	0,42 <sup>b</sup>	0,006	0,524 <sup>b</sup>	0,008
2008	0,36 <sup>bc</sup>	0,004	0,43 <sup>a</sup>	0,005	0,514 <sup>c</sup>	0,007
2009	0,36 <sup>b</sup>	0,004	0,42 <sup>c</sup>	0,006	0,52 <sup>b</sup>	0,008
2010	0,37 <sup>b</sup>	0,004	0,41 <sup>cd</sup>	0,005	0,49 <sup>e</sup>	0,007
2011	0,36 <sup>c</sup>	0,004	0,41 <sup>cd</sup>	0,005	0,50 <sup>d</sup>	0,007
2012	0,35 <sup>d</sup>	0,005	0,42 <sup>c</sup>	0,005	0,50 <sup>d</sup>	0,007
2013	0,37 <sup>a</sup>	0,010	0,42 <sup>c</sup>	0,005	0,5 <sup>c</sup>	0,009
2014	0,35 <sup>a</sup>	0,009	0,40 <sup>e</sup>	0,012	0,49 <sup>e</sup>	0,014

a, b, c, d: Medias con diferentes superíndices en las columnas difieren significativamente, según Tukey Kramer (1956)

COPH costo de producción del huevo, INPPRO ingreso neto por peso de producido, INPPROD ingreso neto por peso de producido adicionándole la decrepitud (P < 0,05)

Fueron los años 2002, 2003 y 2008 los de mejores ingresos (P < 0,05) cuando no se consideró la decrepitud. Las variaciones entre años pueden deberse a las oscilaciones en el precio de los piensos utilizados, enfermedades presentadas y variaciones relacionadas con las categorías de THV (combinaciones de valores de temperatura, humedad relativa y velocidad del viento) y cambios climáticos, que pudieron provocar efectos estresantes en las aves.

## CONCLUSIONES

Los indicadores bioeconómicos medios de 18 ciclos productivos para la validación de las gallinas comerciales White Leghorn L<sub>33</sub> de Ciego de Ávila, de manera general, se caracterizaron por su acercamiento al estándar establecido para esta raza y línea en Cuba, con pesos a los 175 días de 1 588 g, conversión de 1,40 kg/10 huevos y 294 huevos/ave promedio. Se obtuvo un costo de producción del huevo de 0,36 CUP e ingresos netos sin decrepitud de 0,42 CUP.

Las funciones de Gompertz (1925) para el crecimiento, y de Mc Nally (1971) para la puesta en pollitas y gallinas White Leghorn L<sub>33</sub>, respectivamente, alcanzaron los mejores criterios de la bondad de ajuste y se validaron como predictores para el ciclo productivo, lo que muestra su potencial utilidad para la toma de decisiones.

## RECOMENDACIONES

Concebir una herramienta informática basada en el valor predictivo de los modelos utilizados en este estudio, que permita a la Empresa Avícola hacer simulaciones para la toma de decisiones con vistas a incrementar la producción de huevos.

Valorar en futuros estudios, el comportamiento del ciclo productivo de las ponedoras considerando el efecto de las condiciones ambientales *in situ* y de los factores subjetivos que marcan las diferencias de indicadores productivos entre granjas y naves.

## REFERENCIAS

- BOTELHO, F. G.; SERAFÍN, F. V y BUTOLO, E. A. (1998, abril). *Estado do desempenho de galinhas poedeiras alimentadas com níveis crescentes de levedurade caña de açúcar (Saccharomyces cerevisiae)*. Reunião de sociedade brasileira de zootecnia, Botucatu, Anais.
- CANCA (2016, enero). *Inicio, crecimiento y producción de huevos*. Plenaria de Avicultura, Combinado Avícola Nacional, Ciego de Ávila, Cuba.
- CANCA (2017). *Producción de huevos*. Plenaria de Avicultura, Combinado Avícola Nacional, Ciego de Ávila, Cuba

- CARVALHO, T. S. G.; ZANGERONIMO, M. G.; SAAD, C. E. P.; ALVARENGA, R. R.; ASSIS, V. D. L., PEREIRA, V. M. y SILVA, J. P. (2015). Behaviour of cockatiels (*Nymphicus hollandicus*) at two temperatures in captivity. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 67 (6), 1669-1674.
- CASTELLANOS, S. O. (2011). *Evaluación de parámetros productivos en aves ligeras según el cumplimiento o no del sistema de crianza*. Tesis presentada en opción del título de Máster en Producción Animal para la Zona Tropical, ICA, Mayabeque, Cuba.
- ESQUIVEL, E. (2013, febrero). *Topografía y localización geográfica en territorio avileño*. Simposio Morón 2013, Ciego de Ávila, Cuba.
- FERRUFINO, H. R. y ROSALES, C. P. (2005). *Costos de producción en gallinas ponedoras comerciales*. Santa Cruz, Bolivia: Facultad de Ciencias Veterinarias.
- FIALHO, F. B., LEDUR, M. C., y de ÁVILA, V. S. (2001). Método para comparar curva de produção de ovos usando um modelo matemático. *Embrapa Suínos e Aves*, 3 (1), 1-4.
- FORAINNE, J. C. (2016). Different Effects of Infrared and One-Half Hot Blade Beak Trimming on Beak Topography and Growth. *Poultry Science*, 89 (1), 59-64.
- FRAGA, L. M.; GUTIÉRREZ, M.; FERNÁNDEZ, L.; FUNDORA, O. y GONZÁLEZ, M. E. (2003). Estudio preliminar de las curvas de lactancia en búfalas mestizas de Murrah. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 37 (2), 151-155.
- GALEANO-VASCO, L. M., CERÓN-MUÑOZ, M. (2013). Modelación del crecimiento de pollitas Lohmann LSL con redes neuronales y modelos de regresión no lineal. *Rev. MVZ Córdoba*, 18 (3), 61-67.
- GOMPERTZ, B. (1925). On the Nature of the Function Expressive of the Law of Human Mortality, and On a New Mode of Determining the Value of Life Contingencies. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 115 (1), 513-585.
- GUERRA, C. W.; CABRERA, A. y FERNÁNDEZ, L. (2003). Criterios para la selección de modelos estadísticos en la investigación científica. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 37 (1), 3-9.
- HERRERA, G. M. (2014). *Caracterización y manejo de un sistema de alimentación alternativo para pollos cuello desnudo heterocigotos en pastoreo*. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Veterinarias, Mayabeque, Cuba.
- INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AVÍCOLA (2013). *Manual de crianza de las ponedoras y sus Reemplazos*. La Habana. Cuba: IIA.
- KRAMER, C. Y. (1956). Extension of Multiple Range Tests to Group Means with Unequal Numbers of Replications. *Biometrics*, 12 (3), 307-310.
- MACCIOTTA, N. P. P.; DIMAURO, C.; CATILLO, G.; COLETTA, A. y CAPPIO-BORLINO, A. (2006). Factors Affecting Individual Lactation Curve Shape in Italian River Buffaloes. *Livestock Science*, 104 (1), 33-37.
- MACCIOTTA, N. P. P.; VICARIO, D. y CAPPIO-BORLINO, A. (2005). Detection of Different Shapes of Lactation Curve for Milk Yield in Dairy Cattle by Empirical Mathematical Models. *Journal of Dairy Science*, 88 (3), 78-91.
- MC NALLY, D. H. (1971). Mathematical Model for Poultry Egg Production. *Biometrics*, 27 (1), 37-43.
- MITAT, A. y FERNÁNDEZ, L. (2012). *La producción de leche en el día de control para la selección de búfalas en Cuba*. Tesis de Doctorado en Ciencias Veterinarias, La Habana, Cuba.
- PÉREZ, R. R. (2011). *Evaluación de la hidroterapia en el comportamiento productivo de ponedoras en la Empresa Avícola Tunas*. Tesis de Maestría en Producción Animal para la zona Tropical Mención Monogástricos. Mayabeque. Cuba.
- RODRÍGUEZ, R. y VALDIVIÉ, M. (2015). *Actualidad y perspectivas de la Producción Avícola*. Instituto de Ciencia Animal, Universidad de Granma, Bayamo, Cuba.
- SACRANIE, A.; SVIHUS, B.; DENSTADLI, V.; MOEN, B.; IJI, P. A.; CHOCT, M. (2012). The Effect of Insoluble Fiber and Intermittent Feeding on Gizzard Development, Gut Motility, and Performance of Broiler Chickens. *Poultry Science*, 91 (3), 693-700.
- SAS (1995). *SAS User's Guide for Windows Environment Cary*. EE.UU.: SAS Institute Inc.
- SAVEGNAGO, R. P.; CRUZ, V. A. R.; RAMOS, S. B.; CAETANO, S. L.; SCHMIDT, G. S.; LEDUR, M. C. y MUNARI, D. P. (2012). Egg Production Curve Fitting using Nonlinear Models for Selected and Nonselected Lines of White Leghorn Hens. *Poultry science*, 91 (11), 77-87.
- SCHERFGEN, D. (2016). *Calculate Integrals on Line*. Recuperado el 25 de noviembre de 2015, de [www.integralcalculator.com](http://www.integralcalculator.com).
- STERI, R. (2010). *The Mathematical Description of the Lactation Curve of Ruminants: Issues and Perspectives*. Tesi di Dottorato in Scienze dei Sistemi Agrari e Forestalie del le Produzioni Alimentar Indirizzo Scienze e Tecnologie Zootecniche, Italia.

Uso de modelos no lineales para el crecimiento, desarrollo y postura de gallinas White Leghorn L<sub>33</sub> con relación a indicadores económicos

TORRES, V.; BARBOSA, I.; MEYER, R.; NODA, A. y SARDUY, L. (2012). Criterios de bondad de ajuste en la selección de modelos no lineales en la descripción de comportamientos biológicos. *Rev. Cubana Cienc. Agric*, 46 (4), 12-17.

UECAN (2017). Resultados de la producción del año. Indicadores de eficiencia productivos y económicos. La Habana, Cuba: MINAG.

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.

Recibido: 12-7-2017

Aceptado: 20-7-2017