

## **Dinámica del largo, el ancho y la forma del huevo en tres poblaciones de gallinas camperas**

### **Egg length, width and shape dynamics in three populations of free-range hens**

ROMERA, BM<sup>1,3</sup>; ADVÍNCULO, SA<sup>1</sup>; CANET, ZE<sup>1,2</sup>; DOTTAVIO, AM<sup>1</sup>; DI MASSO, RJ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Cátedra de Genética. Facultad de Ciencias Veterinarias. Universidad Nacional de Rosario. Ovidio Lagos y Ruta 33. 2170 Casilda.

<sup>2</sup>Estación Experimental Agropecuaria "Ing. Agr. Walter Kugler". Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Ruta 32 km 109. 2700 Pergamino. Buenos Aires. <sup>3</sup>Becario del Programa Estratégico de Formación de Recursos Humanos en Investigación y Desarrollo (PERHID).

### **RESUMEN**

Se evaluó la forma de los huevos puestos por tres genotipos de gallinas destinadas a sistemas semi-intensivos: Campero Casilda, Negra INTA y Rhode Island Red, con el objetivo de estudiar, con un criterio dinámico, su modificación a lo largo del ciclo de postura dada su relación con la resistencia a la rotura y su aptitud para la incubación. Entre las 25 y 69 semanas de edad se recolectaron mensualmente muestras aleatorias de 50 huevos de cada grupo, se midió su longitud y ancho, se calculó el índice de forma ( $IF = (\text{ancho} / \text{largo}) \times 100$ ) y se los clasificó en alargados  $IF < 72$ , satisfactorios  $72 \leq IF \leq 76$  y redondeados  $IF > 76$ . Los datos longitud y ancho del huevo se ajustaron en función de la edad con el modelo de Brody y los del índice de forma por regresión lineal. La asociación positiva entre el índice de forma y la resistencia de la cáscara y negativa con la incubabilidad determina que los huevos redondeados presenten mayor resistencia pero menor aptitud como huevos incubables y viceversa. Los huevos Campero Casilda presentan como ventaja comparativa durante una mayor proporción del ciclo una forma redondeada asociada a un mejor comportamiento frente a las roturas y como desventaja su menor adecuación como huevos incubables.

**Palabras clave:** (índice de forma), (longitud del huevo), (ancho del huevo), (avicultura alternativa).

Recibido: 17-07-2022

Aceptado: 28-02-2023

Correspondencia e-mail: Bernardo Martín Romera  
martincasi@hotmail.com

## SUMMARY

The shape of the eggs laid by three genotypes of hens suitable for semi-intensive systems: Campero Casilda, Negra INTA and Rhode Island Red was evaluated with the aim of studying, with a dynamic criterion, its modification throughout the cycle given its relationship with the resistance to breakage and its aptitude as incubating eggs. Random samples of 50 eggs from each group were collected monthly from 25 to 69 weeks of age. Egg length and width were measured and the shape index ( $IF = (\text{width} / \text{length}) \times 100$ ) was calculated. Eggs were classified as elongated  $IF < 72$ , satisfactory  $72 \leq IF \leq 76$  and rounded  $IF > 76$ . Egg length-age and width-age data were fitted with the Brody function. Shape index-age data were fitted by linear regression. The positive association between shape index and shell strength and the negative association with hatchability determines that rounded eggs have higher strength but less aptitude as hatching eggs and vice versa. As a comparative advantage, Campero Casilda eggs present during a greater proportion of the production cycle a rounded shape associated with a better behavior against breakage, but with the disadvantage of being less suitable for incubation purposes.

**Keywords:** (shape index), (egg length), (egg width), (alternative poultry)

## INTRODUCCIÓN

El huevo representa la principal salida de los sistemas de producción avícola de puesta y normalmente se lo clasifica en función de su peso dada la relación entre este carácter y el precio de venta. Si bien el registro del peso es simple de realizar y presenta como ventaja el no requerir la destrucción del huevo, dos razones por las cuales ha sido ampliamente utilizado como indicador de tamaño, en ocasiones es por sí solo insuficiente para definir sus características externas. Una segunda cuestión a considerar es su forma. En la actualidad, el envasado automático requiere que los huevos presenten la mayor uniformidad posible tanto en lo que se refiere a su tamaño como a su forma, característica que también es requerida por los consumidores. Si bien se han desarrollado diversos modelos para describir matemáticamente este carácter<sup>14</sup> el indicador más utilizado es el denominado "índice de forma" uno de los caracteres de calidad propuestos por FAO para la caracterización fenotípica de las gallinas. Este índice surge del cociente entre el ancho y el largo<sup>18</sup>, medidos ambos con la ayuda de un calibre. La forma del huevo de gallina es trascendente en relación

con su resistencia a la rotura<sup>22, 15</sup>. Frank *et al.*<sup>8, 9</sup> indicaron que el peso, la proporción y el espesor de la cáscara y la gravedad específica en conjunto no podían explicar más del 60 por ciento de la variación en la resistencia al aplastamiento. La inclusión del índice de forma en el análisis aumentó significativamente dicha proporción<sup>18</sup>. Los huevos presentan una zona de fractura localizada a nivel del máximo radio de curvatura meridional y se ha informado que la mayor fuerza necesaria para romper huevos de diferente forma correspondía a aquellos con altos valores del índice, es decir huevos redondeados<sup>1</sup>. La forma del huevo también guarda estrecha relación con su incubabilidad. El huevo de gallina, como el de otras aves, es un elipsoide alargado y asimétrico con una sección transversal circular y una sección longitudinal elipsoidal asimétrica<sup>13</sup>. Durante la incubación, las membranas testáceas se adelgazan para favorecer el intercambio gaseoso. La forma circular de la sección transversal del huevo permite que este gire. El volteo de los huevos durante la incubación posibilita que el espesor de las membranas se reduzca lo suficiente y por igual en toda la superficie<sup>23</sup>. El significado biológico de la elipse asimétrica propia de la sección longitudinal guarda relación con el

éxito de la incubación en tanto el desarrollo del embrión se ve afectado por las posiciones que adoptan los huevos durante dicho proceso. En casi todas las especies aviares, esta asimetría hace que el huevo se disponga naturalmente con un cierto ángulo, con el extremo más puntiagudo orientado hacia abajo. En el caso de la incubación artificial la importancia de dicho ángulo es tal que la orientación horizontal del eje del huevo lleva a una baja incubabilidad por lo que los huevos se incuban con el extremo como orientado hacia arriba<sup>21</sup>. El objetivo de este trabajo fue evaluar con un criterio dinámico la modificación del índice de forma del huevo como indicador de resistencia a la rotura y aptitud para la incubabilidad en tres genotipos de gallinas camperas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se evaluaron los huevos puestos por tres poblaciones de gallinas utilizadas en sistemas de producción semi-intensiva: Campero Casilda, Negra INTA y Rhode Island Red. Campero Casilda es un cruzamiento de tres vías entre machos de la población sintética paterna AH' (50 % Hubbard 50 % estirpe Anak grises) y hembras derivadas el cruzamiento simple entre gallos de la población sintética ES (87,5 % Cornish Colorado 12,5 % Rhode Island Red) y gallinas de la población sintética A (75 % Cornish Colorado 25 % Rhode Island Red). Negra INTA es una ponedora autosexante producto del cruzamiento de gallos Rhode Island Red por gallinas Plymouth Rock Barradas y Rhode Island Red es una estirpe de la raza propia de INTA. Las tres poblaciones se criaron de acuerdo a las indicaciones del Protocolo de aves camperas<sup>4</sup>, fueron alojadas en un único galpón y criadas en grupo hasta los 42 días de vida momento en el que fueron trasladadas a jaulas individuales donde se mantuvieron hasta el fin del estudio. La asignación de cada ave en cada jaula fue al azar y de manera intercalada entre los tres grupos. La alimentación fue a discreción en las aves semipesadas Negra INTA y Rhode Island Red mientras que Campero Casilda recibió un esquema de restricción cuantitativa de alimento en relación a su curva de crecimiento durante todo el ciclo, manejo propio de aves pesadas.

Mensualmente, entre las 25 y 69 semanas de edad, se recolectaron muestras aleatorias de 50 huevos del total de los puestos por las aves de cada población. La longitud y el ancho de cada huevo se midieron con calibre micrométrico y aproximación a la centésima de mm. Los valores individuales de ambas mediciones se utilizaron para calcular el índice de forma (IF) de acuerdo con la siguiente expresión:  $IF = (\text{ancho} / \text{largo}) \times 100^{18}$ . Adicionalmente los huevos se clasificaron por su forma de acuerdo con el siguiente criterio: forma alargada  $IF < 72$ , forma satisfactoria  $72 \leq IF \leq 76$  y forma redondeada  $IF > 76^1$ .

Los valores promedio de longitud, ancho y forma correspondientes a cada grupo genético se graficaron en función de la edad cronológica de las aves. Los datos -longitud promedio del huevo versus edad cronológica- y -ancho promedio del huevo versus edad cronológica- se ajustaron por regresión no lineal con el modelo exponencial asintótico de Brody<sup>7</sup>  $Y_t = A \cdot (1 - B \cdot 2,71828^{-k \cdot t})$ , donde  $Y_t$  = valor de la variable longitud (mm) o ancho (mm) del huevo en el tiempo  $t$ ,  $A$  = valor asintótico de la variable longitud o ancho del huevo (valor de  $Y_t$  cuando  $t$  tiende a  $\infty$ ),  $B$  = parámetro de posición (constante de integración) sin valor biológico que ajusta la función para valores iniciales de  $t \neq 0$ ,  $k$  = tasa de maduración (velocidad de aproximación al valor asintótico  $A$ ) y  $t$  = edad cronológica en semanas. La bondad de los ajustes se evaluó en base a la convergencia de las iteraciones en una solución, el valor del coeficiente de determinación no lineal ajustado ( $R^2$ ) y la normalidad (test ómnibus de D'Agostino & Pearson) y la aleatoriedad (test de rachas o ciclos) de la distribución de los residuales. Los datos -índice de forma del huevo versus edad cronológica- se ajustaron por regresión lineal. La comparación de los estimadores de los parámetros de la función lineal se llevó a cabo con un análisis de la covarianza.

## RESULTADOS

### Longitud del huevo

La Tabla N° 1 resume los valores de los estimadores de los parámetros con valor biológico de la función de Brody en las tres poblaciones.

**Tabla 1.** Estimadores de los parámetros de la función exponencial asintótica de Brody aplicada al ajuste de los datos longitud promedio del huevo versus edad cronológica en tres genotipos de ponedoras camperas.

<b>Grupo genético</b>			
	Campero Casilda	Negra INTA	Rhode I. Red
A ± SA	60,1 ± 0,29	60,4 ± 0,35	58,9 ± 0,25
k ± Sk	0,0828 ± 0,01181	0,0682 ± 0,01285	0,1020 ± 0,02055
R <sup>2</sup> ajustado	0,970	0,958	0,932
Aleatoriedad	p= 0,424	p= 0,392	p= 0,652
Normalidad	p= 0,160	p= 0,747	p= 0,622

Se constató un muy buen ajuste de los datos experimentales a juzgar por los valores del coeficiente de determinación lineal ajustado (R<sup>2</sup>) y del comportamiento de los residuales. Se rechazó la hipótesis de una función común a los tres grupos (F= 7,672; p< 0,0001). Campero Casilda y Negra INTA pusieron huevos que tendieron hacia un valor asintótico similar, pero con una tasa de maduración mayor en el cruzamiento de tres vías que en la ponedora autosexante. En consecuencia, Campero Casilda se diferenció significativamente de Negra INTA (F= 6,177; p= 0,0045), con huevos de menor longitud al inicio del ciclo y una diferencia entre ambos genotipos no evidente al final del ciclo

de postura. Rhode Island Red, por su parte, también se diferenció de Campero Casilda (F= 6,819; p= 0,0029) en tanto comenzó poniendo huevos de longitud intermedia y dicha longitud aumentó hacia un valor asintótico menor, pero con mayor velocidad. Estos comportamientos se presentan en la Figura N° 1 porción superior.

#### **Ancho del huevo**

La Tabla N° 2 presenta los valores de los estimadores de los parámetros con valor biológico de la función de Brody en los tres grupos de aves.

**Tabla 2.** Estimadores de los parámetros de la función exponencial asintótica de Brody aplicada al ajuste de los datos ancho promedio del huevo versus edad cronológica en tres genotipos de ponedoras camperas.

<b>Grupo genético</b>			
	Campero Casilda	Negra INTA	Rhode I. Red
A ± SA	45,7 ± 0,35	45,4 ± 0,20	44,5 ± 0,24
k ± Sk	0,0799 ± 0,01803	0,0806 ± 0,01750	0,0980 ± 0,03173
R <sup>2</sup> ajustado	0,931	0,947	0,871
Aleatoriedad	p= 0,933	p= 0,854	p= 0,533
Normalidad	p= 0,077	p= 0,090	p= 0,544

También en este caso se constató un muy buen ajuste de los datos experimentales. Se rechazó la hipótesis de una única función para describir el comportamiento de los datos de los tres grupos genéticos ( $F= 7,432$ ;  $p< 0,0001$ ). Campero Casilda y Negra INTA pusieron huevos que tendieron hacia un valor asintótico similar, pero con una tasa de maduración mayor en el cruzamiento de tres vías que en la ponedora autosexante. Campero Casilda se diferenció de Negra INTA ( $F= 7,556$ ;  $p= 0,0018$ ) en tanto comenzó poniendo huevos más angostos si bien la diferencia entre ambos genotipos no fue evidente al final del ciclo de postura. Rhode Island Red también se diferenció de Campero Casilda ( $F= 6,906$ ;  $p= 0,0027$ ). Inició el ciclo poniendo huevos con un ancho

intermedio y dicho componente de la forma aumentó hacia un valor asintótico menor al de Campero Casilda, pero con mayor velocidad. La porción intermedia de la Figura N° 1 presenta gráficamente estos comportamientos.

### Forma del huevo

La Tabla 3 presenta los valores de los estimadores de los parámetros de la función lineal en los tres grupos de ponedoras. Todas las pendientes presentaron signo negativo. Si bien el desvío de la linealidad fue no significativo, se observó una notoria dispersión de los valores experimentales, a juzgar por los valores del coeficiente de determinación, en particular en Campero Casilda y Rhode Island Red.

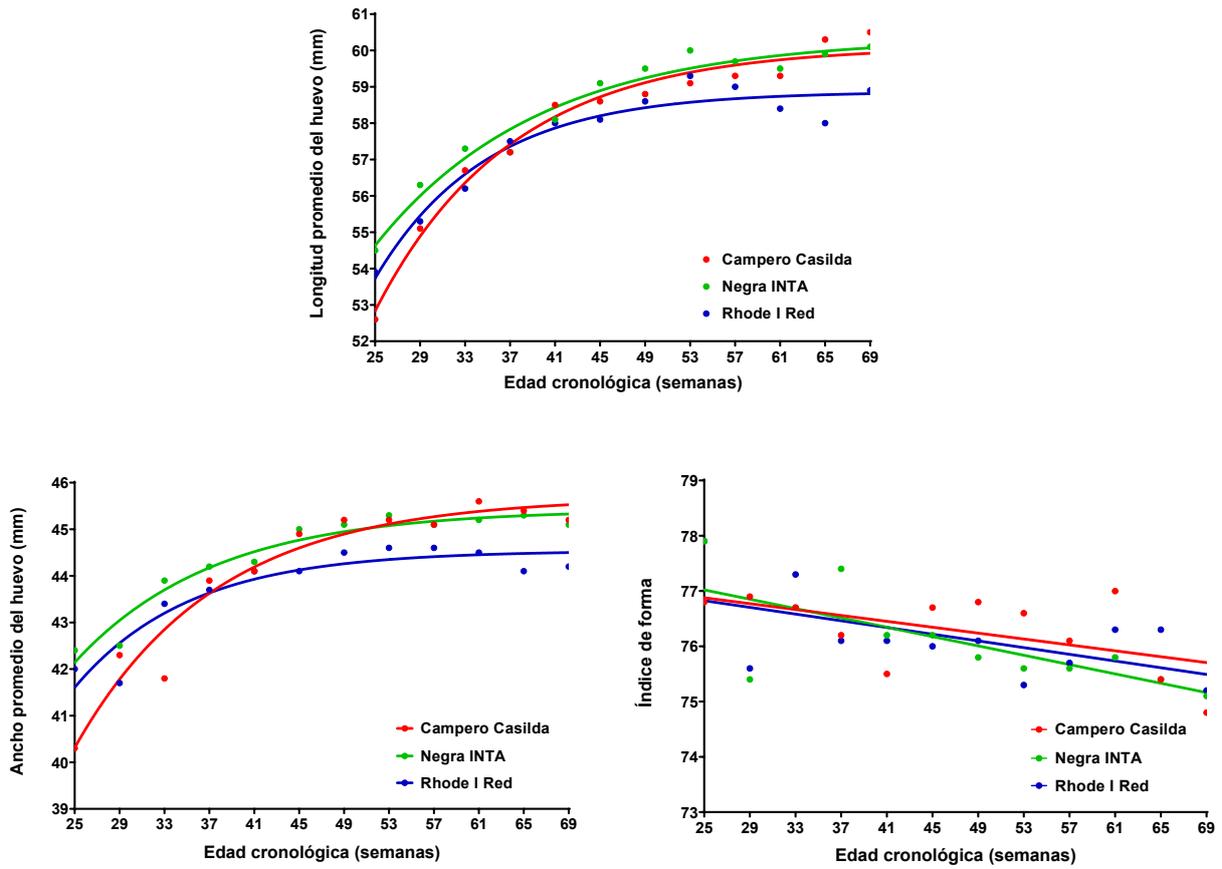
**Tabla 3.** Estimadores de los parámetros de la función lineal aplicada al ajuste de los datos forma del huevo versus edad cronológica en tres genotipos de ponedoras camperas.

	Grupo genético		
	Campero Casilda	Negra INTA	Rhode I. Red
$b \pm Sb$	$-0,0267 \pm 0,01303$	$-0,0422 \pm 0,01304$	$-0,0303 \pm 0,01400$
$a \pm Sa$	$77,5 \pm 0,638$	$78,1 \pm 0,639$	$77,6 \pm 0,686$
$R^2$	0,295	0,512	0,320
$H_0) \beta= 0$	$F= 4,188$ ; $p= 0,068$	$F= 10,48$ ; $p= 0,009$	$F= 4,694$ ; $p= 0,056$
Aleatoriedad	$p= 0,197$	$p= 0,825$	$p= 0,854$
Normalidad	$p= 0,991$	$p= 0,073$	$p= 0,914$

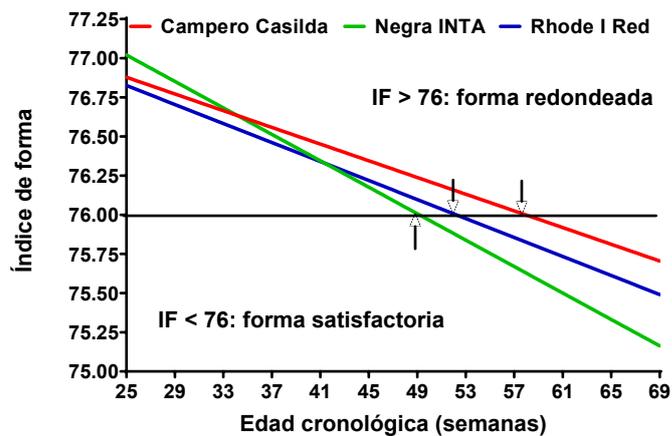
En dichos genotipos, y posiblemente debido a la variancia mencionada, las pendientes fueron marginalmente diferentes de cero, situación diferente a la constatada en Negra INTA. Sin embargo, la comparación de las pendientes mostró un efecto no significativo del grupo genético ( $F= 0,370$ ;  $p= 0,694$ ) lo que permitió calcular una pendiente común para los tres grupos ( $bc = -0,0331$ ) y comparar las alturas de las rectas de regresión. La

comparación de las ordenadas tampoco fue estadísticamente significativa ( $F= 0,317$ ;  $p= 0,731$ ), con un valor común a los tres grupos de  $ac = 77,73$ .

La porción inferior de la Figura N° 1 describe el comportamiento mencionado, mientras que la Figura N° 2 pone en evidencia las diferencias entre genotipos en la edad a la que sus huevos pasan de presentar forma redondeada a forma satisfactoria.



**Figura 1.** Comportamiento dinámico de la longitud (porción superior), el ancho (porción inferior izquierda) y el índice de forma (porción inferior derecha) de los huevos puestos por tres genotipos de gallinas camperas.



**Figura 2.** Comportamiento teórico del índice de forma del huevo en tres genotipos de ponedoras camperas. Las flechas muestran la edad a la cual la forma del huevo pasa de redondeada a satisfactoria.

## DISCUSIÓN

Campero Casilda es un cruzamiento de tres vías producto de un plan de cruzamientos llevado a cabo conjuntamente por la Cátedra de Genética de la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad Nacional de Rosario (FCV-UNR) y la Sección Avicultura de la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Pergamino del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) destinado a producir pollos con menor velocidad de crecimiento para sistemas de avicultura alternativa<sup>6</sup>. Como tal ha sido extensamente caracterizado para la producción de carne y, con esa finalidad se lo distribuye en todo el país a través de la red de multiplicadores del Programa Prohuerta. En la actualidad, sus hembras están siendo evaluadas como ponedoras con la finalidad de utilizar el cruzamiento de tres vías como población fundacional de una población sintética doble propósito. La forma de sus huevos adquiere relevancia por su relación con la resistencia a la rotura y con la incubabilidad. A medida que el ciclo de producción progresa y aumenta la edad de las gallinas, no solo aumenta el peso de sus huevos sino que también cambia su forma y los huevos se vuelven más alargados<sup>11</sup>. En coincidencia con esta afirmación, el índice de forma de los huevos puestos por las aves de los tres genotipos en evaluación presentó un patrón decreciente con la edad. Dado que se trata de una variable derivada que relaciona la longitud y el ancho del huevo, dos caracteres con patrones crecientes a medida que progresa la etapa de postura, la disminución del valor del índice de forma surge de un aumento proporcionalmente mayor del denominador de la fórmula de cálculo (la longitud del huevo) que de su numerador (el ancho del huevo). El aumento de la longitud fue del 15,0 % (52,6 a 60,5 mm) en Campero Casilda, del 10,3 % (54,5 a 60,1 mm) en Negra INTA y del 9,3 % (53,9 a 58,9 mm) en Rhode Island Red. El aumento del ancho del huevo, por su parte fue del 12,2 % (40,3 a 45,2 mm), del 6,4 % (42,4 a 45,1 mm) y del 5,2 % (42,0 a 44,2 mm), respectivamente. La relación entre ambos se tradujo en una reducción del valor del índice de forma del 2,6 % (76,6 a 74,8), del 3,6 % (77,9 a 75,1) y del 3,5 % (77,9 a 75,2) en los mismos genotipos. Similar comportamiento ha sido descrito por Kul y Seker<sup>12</sup> y por Nowaczewski<sup>17</sup> en huevos de codorniz, por Kontecka<sup>10</sup> en huevos de avestruz y

por Nowaczewski<sup>16</sup> en huevos de gallinas de Guinea. Esta modificación de la forma del huevo se debe a que la misma es función de la tonicidad muscular del oviducto de la gallina y dicha tonicidad depende de la edad<sup>20</sup>. El índice de forma del huevo está positiva y significativamente correlacionado con la resistencia de la cáscara y negativamente correlacionado con la incubabilidad<sup>3</sup> dos razones que justifican monitorear los cambios que muestra durante el ciclo. Canet *et al.*<sup>5</sup> estudiaron la forma y el tamaño de los huevos puestos por gallinas de cinco poblaciones sintéticas utilizadas como genotipos maternos para la producción de pollos Campero INTA, en dos edades del primer ciclo de postura (30 y 43 semanas). Dos de dichas poblaciones -las sintéticas A y ES- participan del cruzamiento utilizado como progenitor femenino de Campero Casilda. Las aves de la sintética A se caracterizaron por poner huevos redondeados (índice de forma > 76) en las dos edades, con diferencias significativas con respecto tanto a la sintética ES como a los tres poblaciones restantes que tendieron, en conjunto, a poner huevos de forma satisfactoria. Este efecto del grupo genético sobre la forma de los huevos ha sido observado en gallinas Leghorn<sup>2,3</sup> y en cuatro razas de pollos de origen kurdo<sup>19</sup>.

## CONCLUSIONES

La asociación positiva entre el índice de forma y la resistencia de la cáscara y negativa entre el mismo y la incubabilidad, determina que los huevos redondeados presenten mayor resistencia pero menor aptitud como huevos incubables y viceversa. Aun cuando ninguna de estas dos condiciones se evaluaron en forma directa, la dinámica de la forma posibilita hacer inferencias respecto de las mismas. Si bien en relación con los otros dos grupos de aves camperas, los huevos Campero Casilda presentan como ventaja comparativa una forma asociada a un mejor comportamiento frente a las roturas durante mayor parte del ciclo, dicha característica deberá ser tomada en consideración en relación con su incubabilidad ante el planteo mencionado de utilizar a este genotipo como población base para el desarrollo de una sintética doble propósito destinada a sistemas semi-intensivos.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Altuntas, E.; Sekeroglu, A. Effect of egg shape index on mechanical properties of chicken eggs. *J. Food Eng., 2008*; 85: 606-12. doi:10.1016/j.jfoodeng.2007.08.022
2. Anderson, K.E.; Tharrington, J.B.; Curtis, P.A.; Jones, F.T. Shell characteristics of eggs from historic strains of single comb White Leghorn chickens and the relationship of egg shape to shell strength. *Int. J. Poult. Sci.* 2004; 3(1): 17-9. doi:10.3923/ijps.2004.17.19
3. Blanco, A.E.; Icken, W.; Ould-Ali, D.; Caverro, D.; Schmutz, M. Genetic parameters of egg quality traits on different pedigree layers with special focus on dynamic stiffness. 2014; *Poult. Sci.* 93(10):2457-63. doi:10.3382/ps.2014-04132
4. Bonino, M.F. 1997. Pollo Campero. Protocolo para la certificación. INTA. EEA Pergamino.
5. Canet, Z.E.; Romera, B.M.; Librera, J.E.; Dottavio, A.M.; Di Masso, R.J. Caracterización productiva de cinco poblaciones sintéticas de gallinas reproductoras camperas. *Veterinaria Cuyana* 2018/19; 3:5-17.
6. Canet, Z.E.; Dottavio, A.M.; Romera, B.M.; Advínculo, S.A.; Martines, A.; Librera, J.E.; Di Masso, R.J. Estrategia de cruzamientos para la producción de pollos camperos. Un proyecto colaborativo INTA-Universidad. *BAG. J. Basic Appl. Genet.* 2021; 32(2): 40-47. DOI: 10.35407/bag.2021.32.02.08
7. Fitzhugh Jr, H.A. Analysis of growth curves and strategies for altering their shape. *J. Anim. Sci.* 1976; 42(4): 1036-51. doi: 10.2527/jas1976.4241036x
8. Frank, F.R.; Swanson, M.H.; Burger, R.E. The relationship between selected physical characteristics and the resistance to shell failure of *Gallus domesticus* eggs. *Poult. Sci.* 1964; 43(5):1228-35. doi:10.3382/ps.0431228
9. Frank, F.R.; Burger, R.E.; Swanson, M.H. The relationships among shell membrane, selected chemical properties and the resistance to shell failure of *Gallus domesticus* eggs. *Poult. Sci.*, 1965; 44(1):63-69. doi: 10.3382/ps.0440063
10. Kontecka, H.; Woźnicka, J.; Witkiewicz, K.; Nowaczewski, S. Laying, egg and hatchability characteristics in ostrich (*Struthio camelus*) at different age. *Folia Biol.* 2011; 59(3-4):163-7. doi:10.3409/fb59\_3-4.163-167
11. Kontecka, H.; Nowaczewski, S.; Sierzula, M.M.; Witkiewicz, K. Analysis of changes in egg quality of broiler breeders during the first reproduction period. *Ann. Anim. Sci.* 2012; 12(4): 609-20. doi: 10.2478/v10220-012-0051-1
12. Kul, S.; Seker, I. Phenotypic correlations between some external and internal egg quality traits in the japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*). *Int. J. Poult. Sci.* 2004; 3(6): 400-405. doi:10.3923/ijps.2004.400.405
13. Mao, K.M.; Murakami, A.; Iwasawa, A.; Yoshizaki, N. The asymmetry of avian egg-shape: An adaptation for reproduction on dry land. *J. Anat.* 2007; 210: 741-748. doi: 10.1111/j.1469-7580.2007.00737.x
14. Narushin, V.G. Shape geometry of the avian egg. *J. agric. Engng Res.* 2001;79(4): 441-8. doi:10.1006/jaer.2001.0721
15. Nedomova, S.; Severa, L.; Buchar, J. Influence of hen egg shape on eggshell compressive strength. *Int. Agrophysics* 2009; 23(3): 249-56.
16. Nowaczewski, S.; Witkiewicz, K.; Frątczak, M. *et al.* Egg quality from domestic and French guinea fowl. *Nauka Przyr. Technol.* 2008; 2(2): 1-9.
17. Nowaczewski, S.; Witkiewicz, K.; Kontecka, H.; Krystianiak, S.; Rosiński, A. Eggs weight of Japanese quail vs. Eggs quality after storage time and hatchability results. *Arch. Anim. Breed.* 2010; 53(6):720-30. doi:10.5194/aab-53-720-2010
18. Richards J.F.; Staley L.M. The relationships between crushing strength, deformation and other physical measurements of the hen's egg. *Poult. Sci.* 1967;46(2):430-7. doi: 10.3382/ps.0460430
19. Shaker, A.S.; Kirkuki, S.M.S.; Aziz, S.R.; Jalal, B.J. Influence of genotype and hen age on the egg shape index. *Int. J. Biochem. Biophys. Mol. Biol.* 2017; 2(6):68-70. doi: 10.11648/j.ijbbmb.20170206.12

20. Travel, A.; Nys, Y.; Lopes, E. Facteurs physiologiques et environnementaux influençant la production et la qualité de l'œuf. *INRA Prod. Anim.* 2010; 23(2):155-66. doi: 10.20870/productions-animales.2010.23.2.3297
21. Van Schalkwyk, S.J.; Cloete, S.W.; Brown, C.R.; Brand, Z. Hatching success of ostrich eggs in relation to setting, turning and angle of rotation. *Br. Poult. Sci.* 2000; 41(1):46-52. doi: 10.1080/00071660086394
22. Voisey, P.W.; Hunt, J.R. Measurement of eggshell strength. *Journal of Texture Stud.* 1974; 5(2):135-82. doi: 10.1111/j.1745-4603.1974.tb01099.x
23. Yoshizaki, N.; Saito, H. Changes in shell membranes during development of quail embryos. *Poult. Sci.* 2002; 8(2):246-51. doi:10.1093/ps/81.2.246