

ASOCIACIÓN DE PATRONES DINÁMICOS DE PESO CORPORAL Y PESO DEL HUEVO EN GALLINAS CAMPERO CASILDA

Association of dynamic patterns of body weight and egg weight in Campero Casilda hens

Romera BM^{1*}, Canet ZE^{1,2}, Advínculo SA¹, Fernández R¹, Librera JE^{1,2}, Dottavio AM¹, Di Masso RJ¹

¹Cátedra de Genética. Facultad de Ciencias Veterinarias. Universidad Nacional de Rosario

²Estación Experimental "Ing. Agr. Walter Kugler", INTA Pergamino, Buenos Aires

*E-mail de contacto: martincasi@hotmail.com

RESUMEN

En avicultura, los comportamientos dinámicos del peso corporal y del peso del huevo adquieren trascendencia dada la incompatibilidad genética entre crecimiento y reproducción. Con el objetivo de identificar individuos con una combinación productivamente adecuada de ambos patrones dinámicos, los datos de peso corporal y peso del huevo versus la edad cronológica de 89 aves Campero Casilda se ajustaron con la función de Brody. Los estimadores de los parámetros de peso asintótico y tasa de maduración para ambos caracteres se consideraron nuevas variables aleatorias y se analizaron en forma conjunta con la técnica multivariada de componentes principales. La representación de los dos primeros componentes en un plano cartesiano permitió definir cuatro cuadrantes (C) numerados de I a IV comenzando por el superior derecho y avanzando en sentido antihorario e identificar diferentes tipos de aves según el cuadrante de pertenencia: aves con patrones extremos de peso corporal con una diferencia de 700 g en su valor asintótico (CII vs. CIV) sin diferencias significativas en el peso asintótico del huevo y aves con patrones intermedios y similares para peso corporal (CI y CIII) cuyos huevos difieren en promedio 11 g en sus valores asintóticos. Dado que la forma de ambas curvas de aumento de peso está definida por la combinación particular de sus asíntotas y sus tasas de maduración, las aves ubicadas en CIV presentaron la combinación productivamente más conveniente, con un patrón dinámico del peso del huevo intermedio, similar al de las aves de CII, pero con un patrón dinámico de peso corporal con menores valores para el carácter en los dos tercios finales del ciclo. La evidencia confirma la factibilidad de identificar aves con combinaciones ventajosas de ambos patrones dinámicos y revalorizan la propuesta de utilizar la técnica de componentes principales como estrategia para generar índices biológicos de selección.

Palabras clave. Función de Brody, análisis multivariado, gallinas doble-propósito, avicultura alternativa.

ABSTRACT

In poultry, the dynamic patterns of body weight and egg weight acquire importance because of the genetic incompatibility between growth and reproduction. In order to identify individuals with a productively adequate combination of both dynamic patterns, data on body weight and egg weight versus chronological age of 89 Campero Casilda birds were fitted with Brody's function. The estimators of the parameters of asymptotic weight and maturation rate for both traits were considered as new random variables and were analyzed jointly with the multivariate technique of principal components. The representation of the first two components in a Cartesian plane allowed to define four quadrants (C) numbered from I to IV starting with the upper right and moving counterclockwise and to identify different types of birds according to the quadrant they belong to: birds with extreme patterns of body weight with a difference of 700 g in its asymptotic value (CII vs. CIV) without significant differences in the asymptotic weight of the egg and birds with intermediate and similar patterns for body weight (CI and CIII) whose eggs differ on average 11 g in its asymptotic values. Since the shape of both weight gain curves is defined by the particular combination of their asymptotes and their maturation rates, the birds located in CIV presented the most convenient productive combination, with a dynamic pattern of intermediate egg weight, similar to that of CII birds, but with a dynamic pattern of body weight with lower values for the character in the final two thirds of the cycle. The evidence confirms the feasibility of identifying birds with advantageous combinations of both dynamic patterns and revalues the proposal of using the principal components technique as a strategy to generate biological selection indices.

Key words. Brody function, multivariate analysis, dual-purpose chickens, alternative poultry.

Recibido: Febrero 2022

Aceptado: Septiembre 2022

Introducción

La historia de la avicultura como actividad productiva presenta al menos dos etapas bien diferenciadas. En las primeras décadas del siglo pasado la posibilidad de sexar por cloaca a los pollitos de un día posibilitó la cría de cada sexo por separado e hizo posible la transición de una avicultura doble propósito a una avicultura especializada en la producción de carne o en la producción de huevos, proceso que continuó con una integración vertical que en la actualidad abarca desde la cría de reproductores hasta la producción de insumos y la faena (Dottavio y Di Masso 2010). Este cambio en el modelo productivo llevó a considerar las particularidades propias de los patrones de crecimiento y de aumento de peso del huevo y las vinculaciones entre ambos.

En producción animal, el peso corporal es el indicador más utilizado para describir la variable crecimiento de indudable importancia en el caso de las aves especializadas en producción de carne. En las gallinas ponedoras dicho carácter adquiere trascendencia debido a la ampliamente reconocida incompatibilidad genética entre crecimiento y reproducción (Barbato 1999; Etches 1996; Kerr *et al.* 2001). Esta es la razón por la cual las principales líneas de aves de postura pertenecen a razas livianas cuyos machos no son aptos para la producción de carne. Esta última circunstancia lleva a la necesidad de sacrificar millones de pollitos al momento del nacimiento, una práctica éticamente observable en un mundo afectado por la escasez de alimentos (Bruijn *et al.* 2015). Desde un punto de vista genético, la incompatibilidad mencionada presenta diferentes connotaciones según el tipo de producto final del sistema productivo. En las aves livianas productoras de huevos para consumo los objetivos de mejoramiento perseguidos en la progenie coinciden con lo requerido en las poblaciones progenitoras. Un caso diferente es el de las gallinas reproductoras utilizadas para producir los pollos parrilleros. Dada la prolificidad de la especie, en la gallina doméstica aproximadamente un 95% del alimento total es consumido por la generación de la progenie, mientras que solo el 5% restante corresponde a la generación de los progenitores. Debido a ello los criterios de mejoramiento genético han estado dirigidos mayoritariamente a aquellos caracteres vinculados con el aumento de peso, la relación de conversión y la calidad de la carne de dicha progenie (Decuyper *et al.* 2003). Concomitantemente con los avances logrados en este sentido, la aptitud reproductiva de las poblaciones se ha visto severamente afectada y ello llevó a la necesidad de controlar el peso de las líneas progenitoras a través del manejo del ambiente mediante el diseño y la aplicación de programas especiales de restricción alimenticia (Kerr *et al.* 2001; Siegel 2002).

Si bien en lo que a la producción de carne se refiere, la especialización resultó altamente eficiente para generar proteína animal de alta calidad a precios accesibles, también condujo a graves consecuencias en términos de bienestar animal (European Commission 2000). La necesidad de restringir a las reproductoras pesadas y mantenerlas en un estado de hambre crónico es un ejemplo en tal sentido (D'Eath *et al.* 2009). Frente a la propuesta productiva del modelo intensivo surgieron entonces iniciativas alternativas tales como la producción orgánica ecológica y/o de campo

(Crandal *et al.* 2009). Este enfoque, que incluye modalidades de cría semi-intensiva y extensiva, con acceso de las aves a espacios al aire libre durante parte del ciclo lo que les permite expresar los comportamientos propios de la especie, difiere de la avicultura convencional en materia de calidad de producto final, bienestar animal y sustentabilidad. Para este tipo de sistemas se ha postulado la utilización de aves doble propósito (Bassler 2005), modalidad productiva que utiliza genotipos menos especializados tanto para la producción de huevos como de carne. Si bien estas poblaciones se caracterizan por una producción menos eficiente en cada uno de dichos aspectos, que se traduce en menores ganancias para el productor y mayores precios para el consumidor, su utilización presenta beneficios en términos de las expectativas de un tipo particular de consumidores preocupado por el bienestar de los animales que consume (Hammershøj *et al.* 2021).

Con respecto al peso del huevo, se trata de un carácter de indudable importancia económica tanto para productores como para consumidores y, como tal, forma parte de los principales objetivos de mejoramiento genético (Savegnago *et al.* 2011; Yi *et al.* 2014). Si bien de fácil medición, es dificultoso de definir como criterio de selección debido a la demanda variable por parte de diferentes mercados. Por esta razón, en el caso de los huevos para consumo, no se dispone de un tamaño óptimo que pueda ser generalizado a todo tipo de mercado en tanto, a nivel internacional, las preferencias de los consumidores varían entre regiones (Koelkebeck *et al.* 2001; Yi *et al.* 2014). En el caso particular de las gallinas reproductoras el peso del huevo es uno de los múltiples factores a atender en relación con su incubabilidad, con valores recomendados comprendidos dentro del rango de 52 a 68 g.

Independientemente de la salida del sistema productivo avícola que se considere, carne o huevos, la multiplicidad de caracteres involucrados en cada caso limita la utilidad de los enfoques univariados y justifica su consideración como fenotipos complejos susceptibles de ser abordados mediante estrategias analíticas multivariadas (Di Masso *et al.* 2010). Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar con un enfoque multivariado el comportamiento conjunto de los patrones dinámicos de peso corporal y peso del huevo en una población de aves doble propósito destinada a sistemas de producción semi-intensivos y propuesta como población base para generar una raza sintética.

Materiales y Métodos

Se utilizaron gallinas Campero Casilda, resultantes del cruzamiento de tres vías entre machos de la población sintética paterna AH' (50 % Hubbard y 50 % estirpe Anak grises) y hembras producto del cruzamiento simple entre las poblaciones sintéticas ES (87,5 % Cornish Colorado y 12,5 % Rhode Island Red) como padre y A (75 % Cornish Colorado y 25 % Rhode Island Red) como madre. Las poblaciones sintéticas mencionadas fueron generadas y se mantienen actualmente en el Núcleo Genético de la Sección Avicultura de la EEA "Ing. Agr. Walter Kugler" del INTA, en la localidad bonaerense de Pergamino. Las aves evaluadas nacieron en la planta de incubación del Núcleo Genético. El día del

nacimiento se identificaron con banda alar numerada, se vacunaron contra la enfermedad de Marek y se las trasladó a las instalaciones del Sector Avicultura de la Facultad de Cs. Veterinarias de la Universidad Nacional de Rosario (Casilda, Prov. de Santa Fe). Las primeras 5 semanas se criaron a galpón, en lotes mixtos, con una densidad inicial de 15 aves por m². A partir de la 6ª semana de vida las aves expresaron el dimorfismo sexual propio de la especie lo que permitió sexarlas, descartar los machos, elegir al azar 104 hembras y alojarlas en jaulas individuales de postura. Entre el nacimiento y las 8 semanas recibieron alimento Iniciador (18% PB; 2.875 kcal EM), entre las 9 y las 16 semanas de edad alimento Crecimiento (15,4% PB; 2.881 kcal EM); entre las 17 y las 22 semanas, alimento Prepostura (16% PB; 2.833 kcal EM) y a partir de las 22 semanas de edad alimento Postura (15,6% PB; 2.824 kcal EM). Dada su condición de aves pesadas se aplicó un programa de restricción alimenticia cuantitativa individual acorde a sus curvas de peso. Se aplicó el plan sanitario establecido en el protocolo para aves camperas (Bonino 1997). Del total inicial, 89 aves completaron el ciclo de postura. A partir de las 20 semanas de edad se las pesó en forma individual a intervalos semanales y, simultáneamente, se registró el peso de todos los huevos puestos entre la madurez sexual y la finalización del ciclo a las 72 semanas. Los datos de peso corporal (g) versus edad cronológica (semanas) y peso promedio semanal del huevo (g) versus edad cronológica se ajustaron con el modelo exponencial asintótico de Brody (Fitzhugh 1976; Yoo *et al.* 1983; Minvielle *et al.* 1994):

$$W_t = A (1 - B \exp(-k \cdot t))$$

donde W_t = peso corporal (g) o peso promedio del huevo (g) en el tiempo t ; A = peso (g) asintótico (valor de W_t cuando $t \rightarrow \infty$); B = constante de integración, parámetro de posición sin valor biológico; k = tasa exponencial decreciente de aproximación a A ; y t = edad cronológica (semanas). Los ajustes se llevaron a cabo por regresión no lineal utilizando una técnica iterativa basada en el algoritmo de Marquardt y su bondad se evaluó a partir de la convergencia de las iteraciones en una solución, el valor del coeficiente de determinación no lineal ajustado (R^2) y la normalidad (test omnibus de D'Agostino & Pearson) y la aleatoriedad (test de rachas) de la distribución de los residuales. Los valores de los estimadores con valor biológico: peso corporal asintótico (ASIPES, g), tasa de maduración para peso corporal (MADPES, g⁻¹), peso asintótico del huevo (ASIHUE, g) y tasa de maduración para peso del huevo (MADHUE, g⁻¹) correspondientes a cada gallina se consideraron nuevas variables aleatorias y se analizaron en forma conjunta con la técnica multivariada de componentes principales. La representación de los valores de las dos primeras componentes (CP1 y CP2) en un plano cartesiano (CP1: abscisas y CP2: ordenadas) permitió definir cuatro cuadrantes (C) numerados de I a IV comenzando por el superior derecho y avanzando en sentido contrario a las agujas del reloj. La uniformidad de la distribución de las aves en los diferentes cuadrantes se evaluó con una prueba chi-cuadrado de bondad de ajuste a una hipótesis extrínseca a los datos. El efecto del cuadrante de pertenencia sobre los estimadores de los parámetros de tamaño asintótico (ASIPES y ASIHUE) y tasa de maduración (MADPES y MASHUE) se evaluó con un ANOVA

a un criterio seguido de la prueba de comparaciones múltiples de Tukey. El supuesto de homogeneidad de las variancias se evaluó con el test de Brown-Forsythe. Los datos se analizaron con el programa GraphPad Prism 9 para Windows (GraphPad Software, www.graphpad.com).

Resultados

Se analizó el valor y el significado estadístico de las asociaciones entre los caracteres evaluados (Tabla 1), encontrándose tanto para peso corporal como para peso del huevo una asociación negativa y significativa entre el tamaño asintótico y la velocidad requerida para lograrlo (tasa de maduración). El peso del huevo se correlacionó en forma positiva y significativa con el peso corporal. No se observó asociación entre las respectivas tasas de maduración.

La distribución de las aves en los cuatro cuadrantes resultantes de graficar los valores de CP1 y CP2 (Figura 1) no se apartó significativamente de lo esperado para un caso de distribución uniforme [CI: 19,1 % (17/89); CII: 25,8 % (23/89); CIII: 23,6 % (21/89) y CIV: 31,5 % (28/89); $\chi^2 = 2,87$; $P > 0,05$]. Se analizó la proporción de la variancia total explicada por cada una de las cuatro componentes generadas por el modelo junto con la variancia acumulada y los coeficientes o valores propios correspondientes a cada uno de los caracteres en las diferentes componentes (Tabla 2). En conjunto, las dos primeras componentes principales explicaron el 79,3% de la variancia total. La primera componente (CP1) explicó el 48,1% de la variancia total y se correlacionó en forma significativa ($P < 0,0001$) con todas las variables: negativa con ASIPES ($r = -0,695$), positiva con MADPES ($r = 0,626$), negativa con ASIHUE ($r = -0,772$) y positiva con MADHUE ($r = 0,673$). La segunda componente (CP2) explicó el 31,2% de la variancia total observada y se correlacionó en forma significativa ($P < 0,0001$) con todas las variables: positiva con ASIPES ($r = 0,540$), negativa con MADPES ($r = -0,617$), negativa con ASIHUE ($r = -0,460$) y positiva con MADHUE ($r = 0,605$).

A continuación, se analizaron los valores de las dos primeras componentes principales y los estimadores de los parámetros con valor biológico de la función de Brody correspondientes a los patrones dinámicos de aumento de peso corporal y aumento del peso del huevo (Tabla 3). En ningún caso se rechazaron las hipótesis de normalidad y homocedasticidad ($P > 0,05$). Se observó un efecto significativo ($P < 0,0001$) del cuadrante de pertenencia sobre todas las variables: CP1 ($F = 59,4$), CP2 ($F = 62,5$), ASIPES ($F = 25,4$), MADPES ($F = 36,6$), ASIHUE ($F = 22,1$) y MADHUE ($F = 39,6$). Las aves del CII presentaron el mayor peso corporal asintótico y la menor tasa de maduración para el carácter. En el otro extremo se ubicaron las aves del CIV con el menor peso asintótico y la mayor velocidad de aproximación al mismo. No se observaron diferencias entre los estimadores de la curva de crecimiento entre las aves ubicadas en CI y CIII, con valores intermedios de ambos. En relación con el peso del huevo el mayor valor asintótico correspondió a las aves del CIII, sin diferencias significativas para el carácter entre aquellas ubicadas en los tres cuadrantes restantes. Las aves del CIII presentaron la menor tasa de maduración y las del CI el mayor valor de la misma. En relación con las curvas de crecimiento (Figura 2): (i) las aves del CIV mantuvieron el menor peso corporal a lo largo de todo el ciclo, en particular a partir de las

Tabla 1. Matriz de correlaciones entre los estimadores de los parámetros con significado biológico de la función de Brody aplicada al ajuste de los patrones dinámicos de peso corporal y peso del huevo en una población de gallinas camperas.

Table 1. Correlation matrix among the estimators of the parameters with biological significance of the Brody function applied to fitting the dynamic patterns of body weight and egg weight in a population of free-range hens.

	ASIPES	MADPES	ASIHUE	MADHUE
ASIPES	1	-0,534	0,246	-0,062
MADPES	< 0,0001	1	-0,131	0,070
ASIHUE	0,022	0,231	1	-0,599
MADHUE	0,573	0,520	< 0,0001	1

Por sobre la diagonal principal: valores del coeficiente de correlación de Pearson

Debajo de la diagonal principal: significado estadístico de la asociación

ASIPES: peso corporal asintótico (g)

MADPES: tasa de maduración para peso corporal (g^{-1})

ASIHUE: peso asintótico del huevo (g)

MADHUE: tasa de maduración para peso del huevo (g^{-1})

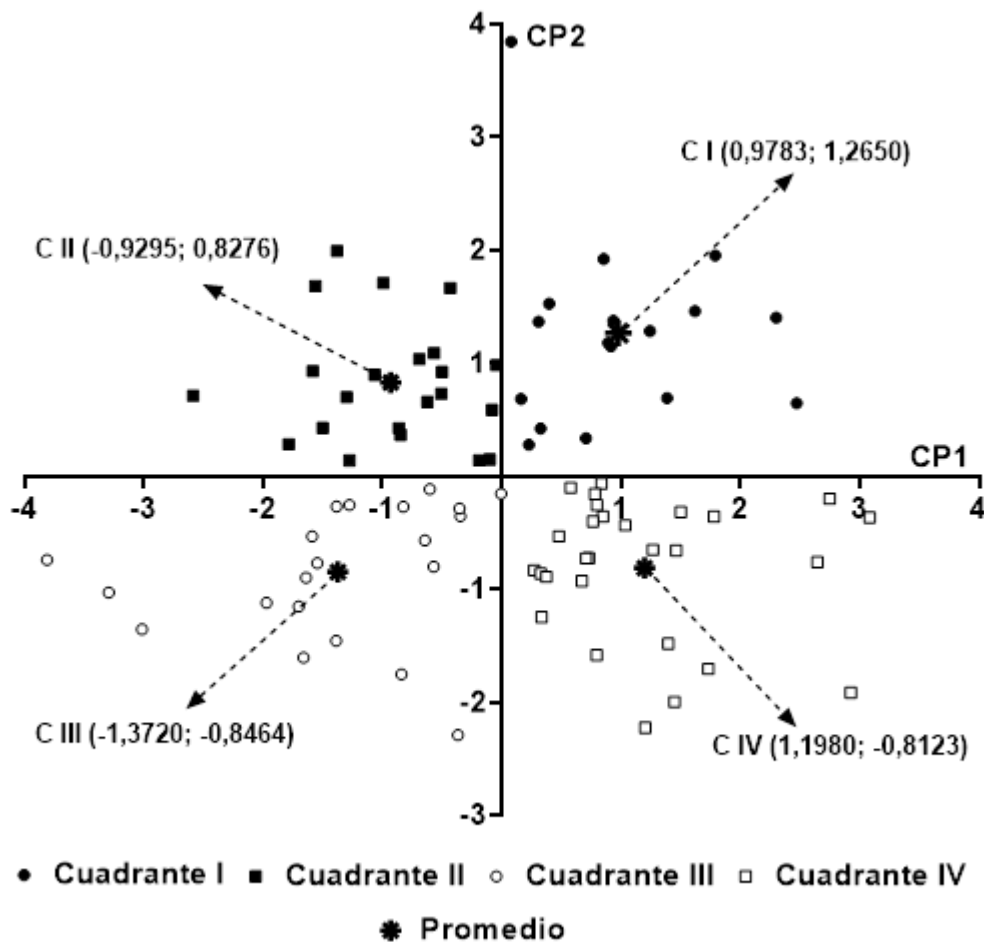


Figura 1. Distribución de las aves Campero Casilda en los cuadrantes del plano cartesiano definido por las dos primeras componentes principales.

Figure 1. Distribution of Campero Casilda hens in the Cartesian plane defined by the first two main components.

Tabla 2. Proporción de la variancia explicada, variancia acumulada y vectores propios correspondientes a cada componente**Table 2.** Explained variance ratio (%), cumulative variance and eigenvectors for each principal component.

	CP1	CP2	CP3	CP4
Variancia explicada	48,08	31,22	12,18	8,53
Variancia acumulada	48,08	79,30	91,48	100,00
ASIPES	- 0,5014	0,4828	0,5829	- 0,4191
MADPES	0,4514	- 0,5522	0,6400	- 0,2858
ASIHUE	- 0,5565	- 0,4113	0,3254	0,6444
MADHUE	0,4849	0,5411	0,3803	0,5722

ASIPES: peso corporal asintótico (g)

MADPES: tasa de maduración para peso corporal (g-1)

ASIHUE: peso asintótico del huevo (g)

MADHUE: tasa de maduración para peso del huevo (g-1)

Tabla 3. Estimadores de los parámetros con significado biológico de la función de Brody aplicada al ajuste de los datos peso corporal-edad cronológica y peso del huevo-edad cronológica en gallinas Campero Casilda discriminadas por el cuadrante que ocupan en el plano cartesiano definido por las dos primeras componentes principales**Table 3.** Estimators of the parameters with biological significance of the Brody function applied to the fit of body weight-chronological age and egg weight-chronological age data in Campero Casilda hens discriminated by their location in the quadrant of the Cartesian plane defined by the two first principal components.

	Cuadrante I n = 17	Cuadrante II n = 23	Cuadrante III n = 21	Cuadrante IV n = 28
CP1	0,978 ± 0,178 a	-0,929 ± 0,132 b	- 1,372 ± 0,220 b	1,198 ± 0,152 a
CP2	1,265 ± 0,204 a	0,828 ± 0,110 a	- 0,846 ± 0,130 b	- 0,812 ± 0,116 b
ASIPES	3.503 ± 81,2 a	3.807 ± 49,4 b	3.543 ± 58,7 a	3.118 ± 51,5 c
MADPES	0,075 ± 0,005 a	0,053 ± 0,004 b	0,076 ± 0,005 a	0,123 ± 0,006 c
ASIHUE	68,0 ± 1,08 a	71,8 ± 0,76 a	79,2 ± 1,32 b	70,0 ± 0,90 a
MADHUE	0,098 ± 0,007 a	0,059 ± 0,002 b	0,036 ± 0,003 c	0,072 ± 0,004 b

Todos los valores corresponden a la media aritmética ± error estándar

a, b, Valores con diferente letra difieren al menos al 0,05

34 semanas de edad; y (ii) las ubicadas en los tres cuadrantes restantes se comportaron como un grupo, del que las del CII se separaron a partir de las 46 semanas. En el caso del patrón de modificación del peso del huevo (Figura 3): (i) el comportamiento diferencial correspondió a las aves del CIII que pusieron los huevos más pesados a lo largo del ciclo; mientras que (ii) las ubicadas en los tres cuadrantes restantes, aún con particularidades, presentaron similares patrones dinámicos.

Discusión

La utilización de aves camperas en programas de avicultura orgánica (Crandal *et al.* 2009) requiere disponer de genotipos doble propósito (Bassler 2005) cuyos machos se destinen a la producción de carne y las hembras a la producción de huevos. Campero Casilda es el resultado de un programa de cruzamientos (Canet *et al.* 2021) destinado a

producir aves camperas para sistemas productivos semi-intensivos alternativos al modelo industrial que preservan el bienestar animal (Dottavio y Di Masso 2010). Inicialmente pensada como un ave para producción de carne, sus hembras también han sido evaluadas como ponedoras (Romera *et al.* 2020). En la actualidad es producido en el Núcleo Genético de la Sección Avicultura de INTA Pergamino desde donde es distribuido, mediante una red de multiplicadores, a la población objetivo que en la actualidad es el Programa ProHuerta, una política pública gestionada en conjunto por el Ministerio de Desarrollo Social y el INTA. Tomando en consideración este tipo de destinatarios se plantea su utilización como población base para el desarrollo de una raza sintética lo que implica también su uso como reproductoras. La asociación negativa entre crecimiento (peso corporal) y reproducción (postura) descrita en gallinas que llevó a la producción de líneas especializadas en producción de huevos o producción de carne atenta contra el logro de esta propuesta (Robinson *et al.* 1993; Barbato 1999; Etches 1996).

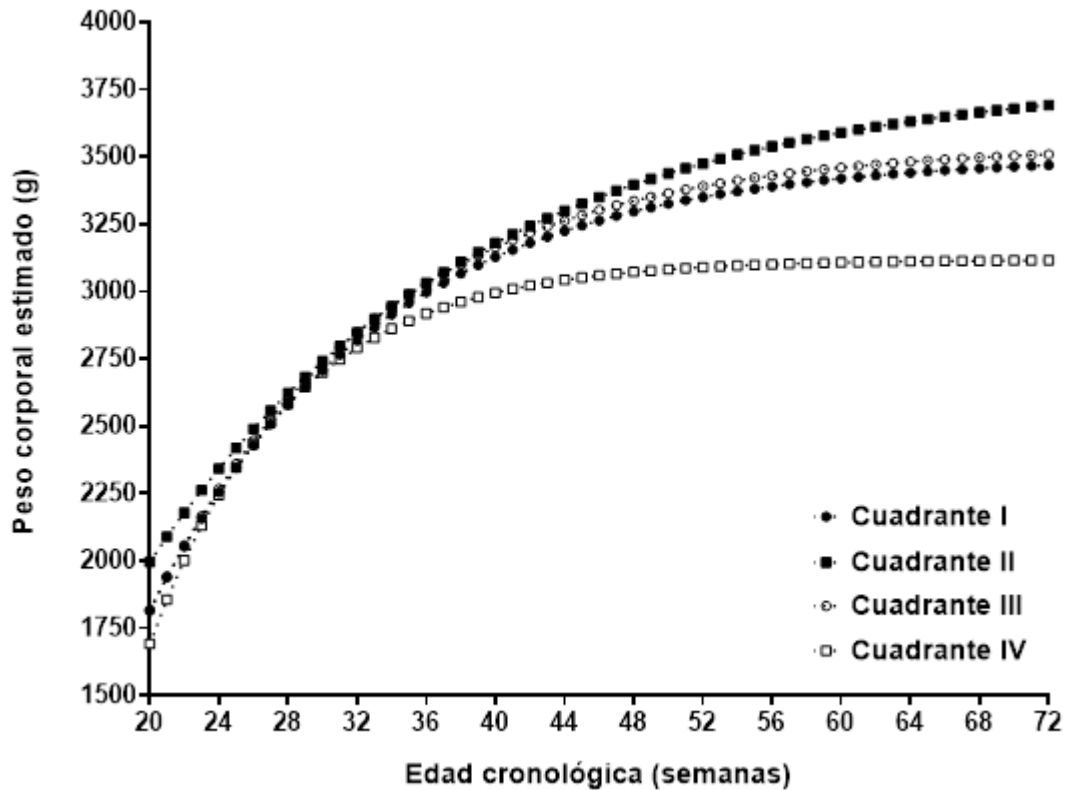


Figura 2. Patrones dinámicos del peso corporal de gallinas Campero Casilda según su ubicación en el plano cartesiano definido por las dos primeras componentes principales.
Figure 2. Body weight dynamic patterns of Campero Casilda hens according to their location in the Cartesian plane defined by the two first principal components.

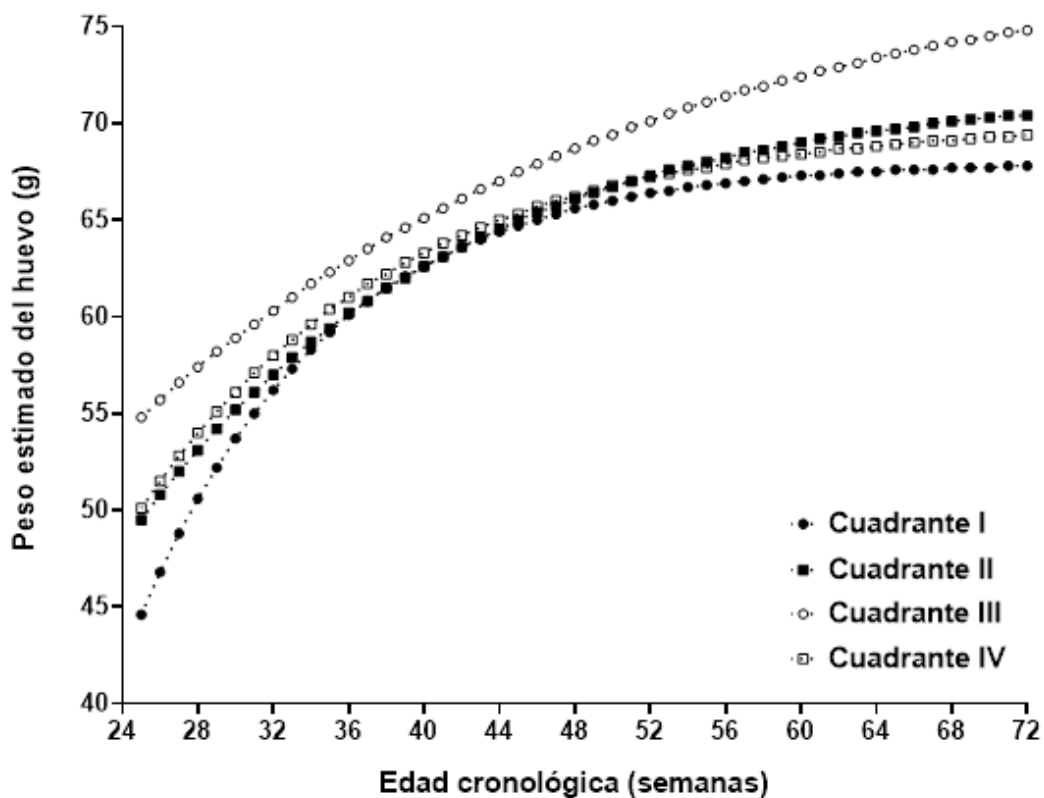


Figura 3. Patrones dinámicos del peso del huevo de gallinas Campero Casilda según su ubicación en el plano cartesiano definido por las dos primeras componentes principales.
Figure 3. Egg weight dynamic patterns of Campero Casilda hens according to their location in the Cartesian plane defined by the two first principal components.

En avicultura, el peso corporal de las reproductoras plantea desafíos de difícil solución. Mientras la hiperfagia asociada a la selección para alta tasa de crecimiento es causa de alteraciones fisiológicas tales como obesidad y reducción de la fertilidad (Siegel 2002), la disminución del consumo voluntario de alimento en los niveles de restricción cuantitativa requeridos para controlar el peso corporal impacta negativamente en el bienestar de las aves subalimentadas (D'Eath *et al.* 2009; van Krimpen y de Jong 2014). El peso del huevo, por su parte, aumenta en forma curvilínea con la edad de la gallina (Minvielle *et al.* 1994) y si bien el tamaño es uno de los principales determinantes del precio de venta, los huevos extremadamente grandes no son deseables porque experimentan una rápida disminución de su calidad, un aumento en la tasa de rotura y una disminución en su incubabilidad (Liu *et al.* 2018). Por estas razones la combinación de los patrones dinámicos de ambos caracteres adquiere particular relevancia. A este respecto, la evaluación multivariada de la población Campero Casilda puso en evidencia la presencia de aves con patrones extremos de peso corporal con una diferencia de 700 g en su valor asintótico (CII vs. CIV) que no difieren significativamente en el peso asintótico de sus huevos y aves con patrones intermedios para peso corporal (CI y CIII) cuyos huevos difieren en promedio 11 g en sus valores asintóticos. Dado que la forma de las respectivas curvas de aumento de peso está definida por la combinación particular de las asíntotas y las tasas de maduración, las aves ubicadas en el cuadrante IV presentan la combinación productivamente más conveniente, con un patrón dinámico del peso del huevo intermedio y similar al de las aves del cuadrante II, pero con un patrón dinámico de peso corporal caracterizado por presentar los menores valores para el carácter en los dos tercios finales del ciclo.

Los programas de mejora genética avícola han utilizado, clásicamente, índices selectivos que incluyen múltiples caracteres. Los aplicados a la producción de huevos han puesto énfasis en el número y el peso de los mismos, dos caracteres correlacionados negativamente y de baja heredabilidad en el caso del primero de ellos (Francesch *et al.* 1997), mientras que aquellos aplicados a la producción de carne lo han hecho básicamente sobre caracteres de buena heredabilidad tales como el peso corporal a edades fijas o la velocidad de crecimiento en períodos determinados del ciclo productivo (Mebratie *et al.* 2019; entre otros). Pese a la existencia de asociaciones crecimiento-reproducción no propicias a la utilización de aves doble propósito, los resultados confirman la posibilidad de identificar aves con combinaciones más favorables de ambos patrones dinámicos tal como lo observado en trabajos previos (Di Masso *et al.* 1998; Dottavio *et al.* 2001; Dottavio *et al.* 2003) y revalorizan la propuesta de utilizar la técnica de componentes principales como estrategia para generar índices biológicos de selección (Godshalk y Timothy 1988; Cerón-Rojas y Sahagún-Castellanos 2005).

El desempeño productivo de las especies animales de interés comercial aun cuando se enfatice en cada caso en algún aspecto en particular -ganancia de peso, producción de leche, lana o huevos, etc.- no depende de un único carácter lo que requiere tomar en consideración varios ya sea en forma

sucesiva o simultánea. Tradicionalmente la selección por múltiples caracteres ha hecho uso de una de tres estrategias: selección en tándem, selección por niveles independientes de rechazo y selección indexal descritas en el trabajo pionero de Hazel y Lush (1942). Si bien el uso de índices de selección se presenta como la opción más efectiva, su construcción requiere disponer de estimadores de la heredabilidad de los diferentes caracteres, de las correlaciones genéticas entre los mismos y de sus ponderaciones económicas. Dado que el proceso de selección modifica la estructura genética de la población que está siendo mejorada los valores de los parámetros genéticos cambian con el avance del proceso. A su vez los pesos económicos asignados a cada carácter también se ven afectados por cuestiones asociadas a particularidades del mercado. Estas cuestiones determinan que los índices de selección, además de requerir disponer de una gran cantidad de información, deban ser revisados y reformulados periódicamente. Cerón-Rojas y Sahagún-Castellanos (2005) derivaron un método para construir índices de selección basados en un análisis de componentes principales que, al estar asociado solo a la matriz de covarianzas fenotípicas, presenta como ventaja no requerir de estimaciones de los valores genotípicos como así tampoco de ponderaciones económicas. Esta posibilidad contribuye a la valoración de la técnica de componentes principales como estrategia en programas de selección multicarácter. Arnason y Thorsteinsson (1982) aplicaron la técnica de componentes principales al estudio genético de caracteres de la res en corderos con la finalidad de obtener carcasas compactas con una elevada relación músculo:grasa y concluyeron que la misma posibilitó agrupar las medidas de manera tal de obtener un número reducido de variables representativas a utilizar como criterio de selección sin una pérdida significativa de eficiencia. Vincent *et al.* (2014) en un estudio de la variancia morfo-estructural de carneros concluyeron que la técnica de componentes principales representaba una estrategia exitosa para eliminar variables redundantes en los programas de mejoramiento genético por múltiples caracteres. Un resultado similar menciona Amao (2018) en base a trabajos con dos líneas comerciales de pollos para carne. Batista Pinto *et al.* (2006) aplicaron la técnica de componentes principales al análisis del crecimiento y de un conjunto de caracteres registrados a la faena en una población F2 derivada de los cruzamientos recíprocos entre pollos parrilleros y gallinas ponedoras y concluyeron que la metodología utilizada resultó eficiente para evaluar la variancia total de los 10 caracteres correlacionados incluidos en el análisis a la vez que posibilitó reducir la dimensionalidad de los datos a incluir en un índice selectivo con fines de mejoramiento.

Conclusión

En la población de gallinas Campero Casilda coexisten individuos con diferentes combinaciones de sus patrones dinámicos de aumento de peso corporal y aumento de peso del huevo. Su caracterización mediante un análisis de componentes principales ofrece la posibilidad de elegir como reproductoras a aquellas aves que combinen patrones conjuntos adecuados para un planteo productivo basado en gallinas doble propósito.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Nacional de Rosario y al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria el apoyo prestado para la concreción de este trabajo. El autor principal, alumno del Doctorado en Ciencias Veterinarias de la Universidad Nacional de Rosario, agradece al Consejo Interuniversitario Nacional el otorgamiento de una beca doctoral del Programa Estratégico de Formación de Recursos Humanos en Investigación y Desarrollo (PERHID).

Bibliografía

- Amao SR (2018) Principal components analysis application on carcass indices of two commercial meat-type chickens under Southern Guinea Savanna Region of Nigeria. *International Journal of Applied Research and Technology* **7**, 21-27.
- Arnason TH, Thorsteinsson SS (1982) Genetic studies on carcass traits in iceland twin ram lambs. II. Analysis of principal components and construction of selection indices. *Livestock Production Science* **8**, 507-517.
- Barbato GF (1999) Genetic relationships between selection for growth and reproductive effectiveness. *Poultry Science* **78**, 444-452.
- Bassler AW (2005) 'Organic broilers in floorless pens on pasture'. Doctoral Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Suecia.
- Batista Pinto LF, Packer IU, Rodrigues de Melo CM, Correa Ledur M, Lehmann Coutinho L (2006) Principal components analysis applied to performance and carcass traits in the chicken. *Animal Research* **55**, 419-425.
- Bonino MF (1997) Pollo Campero. Protocolo para la certificación. INTA EEA Pergamino, Argentina.
- Bruijn MRN, Blok V, Stassen EN, Gremmen HGJ (2015) Moral "Lock-In" in responsible innovation: The ethical and social aspects of killing day-old chicks and its alternatives. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics* **28**, 939-960.
- Canet ZE, Dottavio AM, Romera BM, Librera JE, Advínculo SA, Martinez A, Di Masso RJ (2021) Estrategia de cruzamientos para el mejoramiento de pollos camperos. Un proyecto colaborativo INTA-Universidad. *Journal of Basic Applied Genetics* **32**, 59-70.
- Cerón-Rojas JJ, Sahagún-Castellanos J (2005) Un índice de selección basado en componentes principales. *Agrociencia* **39**, 667-677.
- Crandal PG, Seideman S, Ricke SC, O'Bryan CA, Fanatico AS, Rainey R (2009) Organic poultry: Consumer perceptions, opportunities, and regulatory issues. *Journal of Applied Poultry Research* **18**, 795-802.
- D'Eath RB, Tolkamp BJ, Kyriazakis I, Lawrence AB (2009) 'Freedom from hunger' and preventing obesity: the animal welfare implications of reducing food quantity or quality. *Animal Behaviour* **77**, 275-288.
- Decuyper E, Bruggeman V, Barato GF, Buyse J (2003) Growth and reproduction problems associated with selection for increased broiler meat production. In 'Poultry genetics, breeding and biotechnology'. (Eds. VM Muyir, SE Aggrey) (CABI Publishing: Wallingford, UK).
- Di Masso RJ, Dottavio AM, Canet ZE, Font MT (1998) Body weight and egg weight dynamics in layers. *Poultry Science* **77**, 791-796.
- Di Masso RJ, Pippa C, Silva PS, Font MT (2010) Componentes principales como fenotipos de sistemas biológicos complejos. Relación músculo-hueso en el ratón (*Mus musculus*). *Journal of Basic Applied Genetics* **21**, 15-25.
- Dottavio AM, Peralta L, Faletti C, Di Masso RJ, Font MT (2001) Peso corporal y peso del huevo en híbridos simples y de tres vías de gallinas ponedoras. *Investigación Veterinaria* **3**, 75-80.
- Dottavio AM, Canet ZE, Faletti C, Peralta L, Font MT, Di Masso RJ (2003) Peso corporal y peso del huevo en híbridos experimentales de gallinas ponedoras con diferente genotipo paterno. Análisis multivariado. *Journal of Basic Applied Genetics* **15**, 55-61.
- Dottavio AM, Di Masso RJ (2010) Mejoramiento avícola para sistemas productivos semi-intensivos que preservan el bienestar animal. *Journal of Basic Applied Genetics* **21**, 12.
- Etches RJ (1996) Reproduction in Poultry. (CAB International: Wallingford, UK).
- European Commission (2000) The welfare of chickens kept for meat production (Broilers). Report of the Scientific Committee on Animal Health and Animal Welfare.
- Fitzhugh HA (1976) Analysis of growth curves and strategies for altering their shape. *Journal of Animal Science* **42**, 1036-1051.
- Francesch A, Estany J, Alfonso L, Iglesias M (1997) Genetic parameters for egg number, egg weight, and eggshell color in three Catalan Poultry Breeds. *Poultry Science* **76**, 1627-1631.
- Godshalk EB, Timothy DH (1988) Factor and principal component analyses as alternatives to index selection. *Theoretical and Applied Genetics* **76**, 352-360.
- Hammershøj M, Hald Kristiansen G, Steinfeldt S (2021) Dual-purpose poultry in organic egg production and effects on egg quality parameters. *Foods* **10**, 897.
- Hazel LH, Lush JL (1942) The efficiency of three methods of selection. *Journal of Heredity* **33**, 393-399.
- Kerr CL, Hammerstedt RH, Barbato GF (2001) Effects of selection for exponential growth rate at different ages on reproduction of chickens. *Avian and Poultry Biology Reviews* **12**, 127-136.
- Koelkebeck KW, Bell DD, Carey JB, Anderson KE, Darre MJ (2001) Egg marketing in national supermarkets: products, packaging, and prices - part 3. *Poultry Science* **80**, 396-400.
- Liu Z, Sun C, Yan Y, Li G, Wu G, Liu A, Yang N (2018) Genome-Wide association analysis of age-dependent egg weights in chickens. *Frontiers in Genetics* **9**, Art. 128.
- Mebratie W, Madsen P, Hawken R, Romé H, Marois D, Henshall J, Bovenhuis H, Jensen J (2019) Genetic parameters for body weight and different definitions of residual feed intake in broiler chickens. *Genetics Selection Evolution* **51**, 53.

- Minvielle F, Mérat P, Monvoisin JL, Coquerelle G, Bordas A (1994) Increase of egg weight with age in normal and dwarf purebred and crossbred laying hens. *Genetics Selection Evolution* **26**, 453-462.
- Robinson FE, Wilson JL, Yu MW, Fasenko GM, Hardin RT (1993) The relationship between body weight and reproductive efficiency in meat-type chickens. *Poultry Science* **72**, 912-922.
- Romera BM, Martinez A, Advínculo SA, Fernández R, Librera JE, Canet ZE, Dottavio AM, Di Masso RJ (2020) Curva de postura de gallinas Campero Casilda de primer ciclo. *Ab Intus* **6**, 36-46.
- Savegnago RP, Caetano SL, Ramos SB, Nascimento GB, Schmidt GS, Ledur MC, Munari DP (2011) Estimates of genetic parameters, and cluster and principal components analyses of breeding values related to egg production traits in a White Leghorn population. *Poultry Science* **90**, 2174-2188.
- Siegel PB (2002) Body weight, obesity, and reproduction in meat-type chickens. *Avian and Poultry Biology Reviews* **13**, 209-213.
- van Krimpen MM, de Jong IC (2014) Impact of nutrition on welfare aspects of broiler breeders flocks. *Worlds Poultry Science Journal* **70**, 139-150.
- Vincent ST, Araku JO, Ayongu F, Chia SS, Momoh OM, Yakubu A (2014) Redundancy elimination from morpho-structures of Nigerian Uda Rams using principal component analysis. *Journal of Animal Production Advances* **4**, 520-526.
- Yi G, Liu W, Li J, Zheng J, Qu L, Xu G, Yang N (2014) Genetic analysis for dynamic changes of egg weight in 2 chicken lines. *Poultry Science* **93**, 2963-2969.
- Yoo BH, Sheldon BL, Podger RN (1983) Genetic parameters of egg weight vs. age curve and other egg production and egg weight traits in synthetic lines of chickens. *Australian Journal of Agricultural Research* **34**, 85-97.