

ARTÍCULO ORIGINAL

Variación intrapoblacional para caracteres de la madurez sexual en gallinas del cruzamiento Campero Casilda

Romera BM^{1,2}, Canet ZE^{2,3}, Ledesma JE^{2,3}, Librera JE^{2,3}, Advínculo SA²,
Martines A², Dottavio AM², Di Masso SA^{2*}

¹ Programa Estratégico de Formación de Recursos Humanos en Investigación y Desarrollo, Consejo Interuniversitario Nacional (Argentina).

² Cátedra de Genética. Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Nacional de Rosario (FCV-UNR) (Argentina).

³ EEA "Ing. Agr. Walter Kugler", INTA Pergamino (Argentina).

* Correspondencia: Ricardo J. Di Masso, FCV-UNR, Av. Ovidio Lagos y Ruta 33
Casilda (2170), Santa Fe, Argentina.
E-mail: rjdimasso@gmail.com

Recibido: 21 Febrero 2019. Aceptado: 25 Junio 2019. Disponible en línea: 4 Julio 2019
Editor: P. Beldomenico

RESUMEN. El análisis de componentes principales es una técnica estadística multivariada de síntesis de la información o reducción del número de variables, con la potencialidad de exponer relaciones entre caracteres no evidentes por sí mismas, contribuyendo así a una interpretación más eficiente de la información contenida en un conjunto de datos. Su aplicación a seis caracteres vinculados con la madurez sexual (edad y peso corporal a la puesta del primer huevo, peso del primero y de los 10 primeros huevos, número de días para poner los 10 primeros huevos y coeficiente de variación del peso de los mismos) permitió caracterizar la estructura de variabilidad intrapoblacional en gallinas del cruzamiento experimental de tres vías Campero Casilda. Las dos primeras componentes - PC1 y PC2- explicaron el 56% de la variación fenotípica total. La consideración conjunta de ambas permitió identificar a un grupo de aves caracterizadas por iniciar su postura con mayor edad y mayor peso corporal, con un comienzo de la etapa productiva más regular, con huevos uniformes de mayor peso, una conjunción de caracteres deseable para el inicio del ciclo. La trascendencia de esta identificación radica en la utilidad reconocida del análisis de componentes principales como estrategia para generar índices biológicos de selección.

SUMMARY. Intra-population variation for traits at sexual maturity in Campero Casilda hens. Principal components is a multivariate statistical technique of synthesis of information or reduction of the number of variables, with the potential to expose non-obvious relationships between characters, thus contributing to a more efficient interpretation of the information contained in a set of data. Its application to six traits associated to sexual maturity (age and body weight at first egg, weight of the first and the first ten eggs, number of days required to lay the first ten eggs and coefficient of variation of their weights) allowed to characterize the structure of intra-population variability in hens of the experimental three-way cross Campero Casilda. The first two components -PC1 and PC2- explained 56% of the total phenotypic variance. The joint consideration of both components allowed identifying a group of birds characterized for being older and heavier at sexual maturity, with a more regular onset of the productive phase, with uniform and heavier eggs, a conjunction of desirable characters for the beginning of the cycle. The importance of this identification lies in the recognized usefulness of principal components analysis as a strategy to generate biological selective indexes.

Palabras clave: avicultura de traspatio, peso del huevo, regularidad en la postura, uniformidad en el peso del huevo

Keywords: backyard poultry, egg weight, laying regularity, egg weight uniformity

Introducción

El pollo campero producido por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) con destino al Programa Pro-Huerta y a productores de la agricultura

familiar, proviene de cruzamientos entre las múltiples poblaciones sintéticas maternas y paternas disponibles en su Núcleo Genético (Bonino y Canet, 1999; Dottavio y Di Masso, 2010). Las gallinas camperas, junto con las gallinas criollas y con aquellas pertenecientes a estirpes

de las diferentes razas asimiladas disponibles en el país, representan un recurso de importancia para el suministro de proteína de alto valor biológico en el marco de la denominada avicultura de traspatio (Fernández et al., 2017). Entre los caracteres productivos a considerar en gallinas, tanto ponedoras como reproductoras, se incluyen aquellos vinculados con la madurez sexual. Su trascendencia radica en que la puesta del primer huevo marca el inicio de la vida productiva o reproductiva, dependiendo del destino posterior que se le dé al huevo. En la gallina, al igual que en otras especies, la maduración sexual es consecuencia de una compleja cascada de eventos vinculados con el eje hipotálamo-hipófisis-gonadal (Xu et al., 2011), dependiente de la edad y el peso corporal (Brody et al., 1984) y de la composición corporal, incluyendo esta última tanto el contenido de grasa corporal (Bornstein et al., 1984) como el contenido del cuerpo libre de grasa o tejido magro (Soller et al., 1984). A su vez, la importancia del peso corporal y de la edad en relación con la madurez sexual cambia de acuerdo al régimen de alimentación. De acuerdo con Katanbaf et al. (1989), en las reproductoras pesadas con alimentación *ad libitum* durante la fase pre-postura, la madurez sexual es un fenómeno edad-dependiente mientras que en aquellas restringidas es un fenómeno peso-dependiente. La edad a la cual las gallinas ponen su primer huevo es un carácter de mediana heredabilidad, que se ve afectado, entre otros factores, tanto por la estrategia de selección como por los esquemas de cruzamiento empleados en forma rutinaria en avicultura (Shalan et al., 2012). La edad a la cual se seleccionan las aves, por ejemplo, es un dato trascendente en relación con la respuesta correlacionada en la edad a la madurez sexual (Kerr et al., 2001). Paralelamente, la edad a la madurez sexual afecta diversos caracteres de trascendencia productiva entre los que cabe mencionar la persistencia de la postura y la producción total de huevos. En el caso de gallinas destinadas a la producción comercial de huevos, las empresas especializadas han ejercido durante mucho tiempo presión de selección para adelantar el momento de inicio de la puesta. Ello se debe a que, dentro de ciertos límites, una mayor precocidad implica mayor producción de huevos a lo largo de un ciclo de producción de duración establecida. A su vez, esta estrategia hace más eficiente la producción porque posibilita comenzar a recuperar antes la inversión realizada. En este sentido, en la búsqueda de una mayor eficiencia productiva, la edad a la madurez sexual disminuyó inicialmente en forma sostenida junto con un aumento en el peso de los huevos (Jackson et al., 1986; McMillan et al., 1990). El objetivo de este trabajo fue describir, mediante un enfoque multivariado, la variabilidad intrapoblacional existente para este tipo de caracteres en un cruzamiento experimental de gallinas camperas y reconocer la existencia de agrupamientos basados en dichos caracteres con miras a utilizar dicha información para generar la población base de una potencial población sintética doble propósito a ser utilizada en programas de seguridad alimentaria preferentemente, aunque no

de modo excluyente, en el ámbito de la agricultura familiar.

Materiales y métodos

Se evaluaron 99 gallinas Campero Casilda, cruzamiento experimental de tres vías entre machos de la población sintética paterna AH' (50% Hubbard 50% estirpe Anak grises) y hembras producto del cruzamiento simple entre las poblaciones sintéticas maternas ES (87,5% Cornish Colorado 12,5% Rhode Island Red) como padre y A (75% Cornish Colorado 25% Rhode Island Red) como madre. Las poblaciones sintéticas mencionadas se generaron y mantienen en la Sección Avicultura de la EEA "Ing. Agr. Walter Kugler" de INTA en Pergamino, en cuyas instalaciones se llevaron a cabo los cruzamientos mencionados y las incubaciones. Al nacimiento, las aves se vacunaron contra la enfermedad de Marek, se identificaron con banda alar y se trasladaron a la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad Nacional de Rosario, en la localidad de Casilda, provincia de Santa Fe. Todas las aves se mantuvieron bajo las condiciones establecidas en el protocolo de producción de pollos camperos (Bonino, 1997). Entre el nacimiento y los 35 días de edad, machos y hembras se criaron a piso, como un único grupo, con una densidad de 10 aves/m², un fotoperíodo de 16 horas con un ciclo mínimo de oscuridad de 8 horas y alimentación *ad libitum*. En la 5° semana de vida las aves se sexaron por el desarrollo de los atributos sexuales, las hembras se alojaron en jaulas individuales de postura y la oferta diaria de alimento se restringió en función del peso corporal promedio del lote. Se registró la edad (días) a la puesta del primer huevo como indicador de madurez sexual (EDADMS) y como caracteres productivos asociados, el peso corporal (g) en el inicio de la oviposición (PESOMS), el peso (g) del primero (PESHUE) y de los 10 primeros huevos (PES10H), el número de días necesarios para poner los 10 primeros huevos (NUMDIA), como indicador de regularidad en el inicio de la postura, y el coeficiente de variación del peso de los 10 primeros huevos (CVPESH), como indicador de uniformidad en el tamaño inicial del huevo. Los datos se analizaron en forma conjunta con la técnica multivariada de componentes principales (Carrasco y Hernán, 1993). Los valores de las dos primeras componentes principales (PC1 y PC2) se graficaron en un sistema de coordenadas cartesianas (X: PC1; Y: PC2) quedando definidos cuatro cuadrantes numerados en sentido contrario a las agujas del reloj comenzando por el superior derecho. Se identificaron las aves pertenecientes a los cuadrantes I y III y se compararon los valores de los seis caracteres registrados a la madurez sexual correspondientes a ambos grupos, con una prueba t de Student para datos independientes o U de Mann-Whitney según correspondiera.

Resultados

Como resultado del análisis multivariado se generaron seis variables artificiales o componentes principales. La Tabla 1 presenta los valores propios correspondientes a las seis componentes junto con la proporción de la variancia total que explica cada una de ellas en términos parciales y la variancia acumulada. La Tabla 2 resume la distribución del 100% del valor explicativo de cada carácter evaluado (valores de los coeficientes de determinación R^2) en dichas seis componentes. La primera componente principal (PC1) explicó el 36% de la variancia fenotípica total y se correlacionó en forma negativa y significativa ($p < 0,001$) con la edad a la puesta del primer huevo ($r = -0,714$), el peso corporal a la puesta del primer huevo ($r = -0,658$), el peso del primer huevo ($r = -0,620$) y el peso promedio de los 10 primeros huevos ($r = -0,760$). A mayor valor de esta componente corresponden aves más precoces (menor edad a la madurez sexual), de menor peso corporal, que ponen un primer huevo más liviano y cuyo peso promedio de los 10 primeros huevos también es menor. Esta componente se denominó “peso”. La segunda componente principal (PC2) explicó el 20% de la variancia fenotípica total y se correlacionó en forma positiva ($r = 0,670$) y significativa ($p < 0,001$) con el número de días requeridos para poner los 10 primeros huevos y, en menor grado, con el coeficiente de variación en peso de los 10 primeros huevos ($r = 0,538$) y con el peso del primer huevo ($r = 0,459$) y de los 10 primeros huevos ($r = 0,398$). A mayor valor de esta componente, menor regularidad en el inicio de la postura y menor uniformidad en el peso de los 10 primeros huevos, con huevos – tanto el primero, como los 10 primeros – de mayor peso. La componente se denominó “regularidad”. La tercera componente principal (PC3) explicó el 16,1% de la variancia fenotípica total y se correlacionó en forma positiva ($r = 0,585$) y significativa ($p < 0,001$) con el peso corporal a la puesta del primer huevo y en forma negativa ($r = -0,491$) y significativa ($p < 0,001$) con el peso del primer huevo. A mayor valor de PC3 corresponden aves más pesadas a la madurez sexual pero que ponen un primer huevo más liviano razón por la cual se la llamó “componente de asociación inversa peso-producción”. La cuarta componente principal (PC4) explicó el 13,1% de la variancia fenotípica total y se correlacionó en forma negativa ($r = -0,597$) y significativa ($p < 0,001$) con el número de días requeridos para poner los 10 primeros huevos y en forma positiva ($r = 0,646$) y significativa ($p < 0,001$) con el coeficiente de variación en el peso de los 10 primeros huevos. A mayor valor de esta componente corresponden aves con un inicio más regular de la postura en tanto requieren menos días para poner los 10 primeros huevos, pero esos primeros huevos son desuniformes en tamaño dado el mayor coeficiente de variación del peso de los mismos (“componente de regularidad y uniformidad en el inicio de la postura”). Las dos componentes finales explicaron fracciones de la variancia fenotípica total menores al 10%. La quinta componente principal (PC5) explicó el 8,3% de dicha variancia y se asoció en forma positiva ($r = 0,432$) y significativa ($p < 0,001$) con la edad a la madurez sexual

y en forma negativa ($r = -0,463$) y significativa ($p < 0,001$) con el peso corporal a la puesta del primer huevo. A mayor valor de PC5 corresponden aves menos precoces (mayor edad a la puesta del primer huevo) y más livianas a la madurez sexual: “componente de madurez tardía”. Por último, la sexta componente principal (PC6) explicó el 6,5% de la variancia fenotípica total y se asoció en forma negativa ($r = -0,367$) y significativa ($p < 0,001$) con el peso del primer huevo y en forma positiva ($r = 0,427$) y significativa ($p < 0,001$) con el peso de los 10 primeros huevos (“componente de relación inversa en el peso del huevo”). En conjunto las dos primeras componentes (PC1 y PC2) explicaron el 56% de la variancia fenotípica total. La distribución de las aves en los diferentes cuadrantes del plano cartesiano definido por la representación conjunta de sus valores (Figura 1) fue homogénea (Cuadrante I: $n = 17$; Cuadrante II: $n = 22$; Cuadrante III: $n = 31$; Cuadrante IV: $n = 29$; $\chi^2 = 5,00$; $p > 0,05$) y permitió caracterizar, en particular, a aquellas pertenecientes a los cuadrantes I y III. Los resultados de dicha evaluación se resumen en la Tabla 3. Las aves del Cuadrante I (CI: valores positivos de ambas componentes) presentaron menor edad cronológica (PC1) y menor peso corporal (PC1) a la puesta del primer huevo, menor peso del primero (PC1) y de los 10 primeros huevos (PC1), requirieron mayor número de días para poner los 10 primeros huevos (PC2) los que tuvieron menor uniformidad o mayor coeficiente de variación en peso (PC2). Las aves del Cuadrante III, por el contrario, (CIII: valores negativos de ambas componentes) presentaron mayor edad cronológica (PC1) y mayor peso corporal (PC1) a la puesta del primer huevo, mayor peso del primero (PC1) y de los 10 primeros huevos (PC1), requirieron menor número de días para poner los 10 primeros huevos (PC2) y los mismos presentaron mayor uniformidad o menor coeficiente de variación en peso (PC2).

Discusión

El análisis de componentes principales es una técnica estadística multivariada de síntesis de la información o reducción del número de variables, con la potencialidad de exponer relaciones no evidentes por sí mismas entre caracteres, contribuyendo así a una interpretación más eficiente de la información contenida en un conjunto de datos (Baker et al., 1988; Restrepo et al., 2012). Las nuevas variables artificiales que genera, tantas como variables originales se hayan incluido en el análisis, son combinaciones lineales de estas últimas que, en conjunto, explican el 100% de la variancia observada en los datos, con la particularidad que la fracción de la variancia que explica cada una de ellas es independiente de la que explican las restantes. Un aspecto clave de este análisis es la interpretación que se le da a las componentes generadas ya que la misma no viene explicitada *a priori*, sino que debe deducirse a partir de la observación de la relación entre las nuevas variables (componentes principales generadas en el análisis) y las variables reales introducidas originalmente (Carrasco y

Hernán, 1993). La aplicación de la técnica multivariada de componentes principales a datos biológicos permite clasificar la variación fenotípica total en sistemas independientes de caracteres correlacionados (Di Masso et al., 2010). En el caso particular analizado en este trabajo posibilitó caracterizar la variabilidad intrapoblacional de los caracteres a la madurez sexual. Las relaciones entre los diferentes caracteres productivos vinculados con el inicio de la actividad reproductiva presentan una estructura compleja. La inspección de los valores de los coeficientes de determinación (R^2) correspondientes a dichos caracteres, en cada una de las seis componentes principales, puso en evidencia una primera diferencia (y, por ende, cierto grado de independencia) por un lado, entre la edad y las variables que involucran pesos (corporal o del huevo) con un aporte proporcionalmente mayor en la primera componente (PC1); la regularidad en el inicio de la postura con una mayor presencia en la segunda componente (PC2) y la uniformidad inicial en el peso de los huevos con predominio en la cuarta componente (PC4). La regularidad y la uniformidad en el inicio de la postura presentan también fuentes de variancia contrapuestas. PC2 se asocia con signo positivo tanto con el número de días requeridos para poner los 10 primeros huevos como con el coeficiente de variación del peso de los mismos. Es decir que las gallinas menos regulares en el inicio de la postura son también las que ponen huevos con menor uniformidad en tamaño. PC4, por el contrario, se asocia con signo negativo con el número de días y con signo positivo con el CV. En este caso, las aves más regulares en el inicio de la postura son las que ponen huevos menos uniformes en peso. Ello guarda relación con el hecho que la variancia explicada por PC2 no está vinculada al peso corporal de las aves, pero si en forma directa al peso del huevo e inversa a la edad a la madurez sexual. En este sentido, las aves más precoces pondrían huevos de mayor peso, pero lo harían en forma irregular y desuniforme. PC4, en cambio, no se asocia en forma significativa ni con la edad ni con el peso, tanto corporal como del huevo. Esta fuente de variancia caracteriza a aquellas aves que, si bien tardan menor tiempo en poner sus diez primeros huevos, dicha regularidad se asocia con una mayor dispersión en sus tamaños. La edad y el peso corporal a la madurez sexual contribuyen principalmente a las componentes PC1, PC3 y PC5. Tanto en PC1 como en PC3 hay coincidencia en los signos de la correlación –negativos en el primer caso y positivos en el segundo– asociando la precocidad con un menor peso corporal. Se trataría de aves en las que la madurez sexual es edad dependiente más que peso dependiente en oposición a la propuesta de Katanbaf et al. (1989) según la cual, la madurez sexual es un fenómeno peso-dependiente en las reproductoras pesadas con alimentación restringida durante la fase pre-postura. En PC5, en cambio, los signos difieren, indicando que a menor precocidad mayor peso corporal. Esta última componente, si bien cuantitativamente menos trascendente dado que explica tan solo el 8% de la variancia total, identificaría a aquellas aves que rompen postura tardíamente y, por

ende, lo hacen con mayor peso. Probablemente, en ellas, la madurez sexual se comporta más como un fenómeno peso dependiente que edad dependiente. Las dos primeras componentes -PC1 y PC2- explicaron el 56% de la variancia fenotípica total. La consideración conjunta de ambas permitió dividir a las aves en cuatro grupos según el cuadrante que ocupan en el plano cartesiano definido por dichas componentes. La distribución de las aves fue homogénea en los cuatro cuadrantes y, dadas las asociaciones de las componentes con los caracteres que las definen, es de esperar que aquellas que combinan valores negativos de PC1 y PC2 si bien menos precoces rompan postura con mayor peso corporal y den comienzo a la etapa productiva en forma más regular, con huevos uniformes de mayor peso, una conjunción de caracteres deseable para el inicio del ciclo.

El análisis de componentes principales ha sido propuesto como una estrategia para generar índices biológicos de selección (Godshalk y Timothy, 1988; Di Masso et al., 1998; Abreu, 1999; Pinto et al., 2006). A diferencia de los híbridos utilizados en la avicultura industrial, especializados en la producción de carne o huevos, Campero Casilda es un cruzamiento de tres vías planteado como potencial ave de doble propósito. Con la finalidad de simplificar la producción de pollitos destinados a mejorar la nutrición en programas de seguridad alimentaria, así como también disponer de estas aves doble propósito para la producción en el marco de agricultura familiar, se plantea su utilización como cruzamiento base para la generación de una población sintética. En este sentido y tomando en cuenta sólo los caracteres a la madurez sexual, aquellas hembras ubicadas en el Cuadrante III producto de la consideración conjunta de las dos primeras componentes, se presentarían como las más adecuadas para tal finalidad

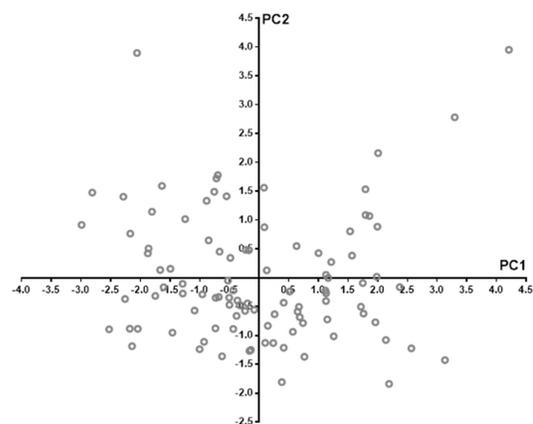


Figura 1. Distribución de las gallinas Campero Casilda en el plano definido por las dos primeras componentes principales

Tabla 1. Valor propio y proporción de la variancia total explicada por cada componente principal junto a la variancia total acumulada por las mismas.

Componente	Valor propio	Variancia parcial (%)	Variancia acumulada (%)
Primera componente (PC1)	2,160	35,999	35,999
Segunda componente (PC2)	1,201	20,009	56,007
Tercera componente (PC3)	0,967	16,113	72,121
Cuarta componente (PC4)	0,784	13,066	85,187
Quinta componente (PC5)	0,498	8,307	93,494
Sexta componente (PC6)	0,390	6,506	100,000

Tabla 2. Coeficiente de determinación (R^2) correspondiente a los diferentes caracteres a la madurez sexual en cada una de las seis componentes principales (PC).

Componente	EDADMS	PESOMS	PESHUE	PES10H	NUMDIA	CVPESH
PC1	0,50920	0,43300	0,38440	0,57710	0,08640	0,16980
PC2	0,08820	0,00460	0,21100	0,15800	0,44890	0,28980
PC3	0,15440	0,34240	0,24150	0,03380	0,09160	0,10310
PC4	0,00002	0,00150	0,00810	0,00020	0,35630	0,41770
PC5	0,18640	0,21450	0,02020	0,04490	0,00930	0,01820
PC6	0,06100	0,00330	0,13490	0,18240	0,00700	0,00170
Total	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000

Tabla 3. Caracteres productivos a la madurez sexual en dos grupos de gallinas Campero Casilda discriminadas en función de un análisis en componentes principales.

Carácter	Cuadrante I	Cuadrante III
¹ Edad cronológica (días)	173,3 ± 2,27 ^a	194,0 ± 2,09 ^b
¹ Peso corporal (g)	2576 ± 65,4 ^a	2873 ± 43,2 ^b
¹ Peso del primer huevo (g)	49,9 ± 1,43 ^a	51,9 ± 0,63 ^a
¹ Peso de los 10 primeros huevos (g)	51,8 ± 0,82 ^a	54,5 ± 0,40 ^b
² Nº de días para poner los 10 primeros huevos	17 (12,5 – 22) ^a	12 (11 – 14) ^b
² CV del peso de los 10 primeros huevos (%)	15,1 (8,9 – 16,4) ^a	5 (4,0 – 6,8) ^b

¹Valores: media aritmética ± error estándar (Análisis prueba t de Student)

²Valores: mediana (rango intercuartílico) (Análisis prueba U de Mann-Whitney)

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

Agradecimientos

Los autores agradecen la responsable colaboración de los alumnos de la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad Nacional de Rosario, cuyo trabajo contribuyó a la concreción de este Proyecto y a INTA Pergamino, en cuyas instalaciones se produjeron las aves evaluadas en el ensayo.

Este trabajo fue financiado con fondos aportados por la Facultad de Ciencias Veterinarias y por la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de Rosario y realizado en el marco del "Programa Estratégico de Formación de Recursos Humanos para la Investigación y Desarrollo (PERHID)" del CIN.

Bibliografía

Abreu VMN, de Almeida e Silva M, Cruz CD, Pereira de Figueiredo EA, de Abreu PG. 1999. Capacidade de combinação de características de produção de ovos de linhagens de matrizes de frango de forte, usando análise de componentes principais. Rev. Bras. Zootec. 28: 955-959.

Baker JF, Stewart TS, Long CR, Cartwright TC. 1988. Multiple regression and principal components analysis of puberty and growth in cattle. J. Anim. Sci. 66: 2147-2158.

Bonino MF. 1997. Pollo Campero. Protocolo para la certificación. INTA Pergamino.

Bonino MF, Canet ZE. 1999. Producción de pollos y huevos camperos. Boletín Técnico INTA. 39 pp.

Bornstein S, Plavnik I, Lev Y. 1984. Body weight and/or fatness as potential determinants of the onset of egg production in broiler breeder hen. Br. Poult. Sci. 25: 323-341.

Carrasco JL y Hernán MA. Estadística multivariante en las ciencias de la vida. Ed. Ciencia 3, Madrid, 1993. 363pp.

Di Masso RJ, Dottavio AM, Canet ZE, Font MT. 1998. Body weight and egg weight dynamics in layers. Poult. Sci. 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*). J. Basic Appl. Genet. 21:1852-1857.

Dottavio AM, Di Masso RJ. 2010. Mejoramiento avícola para sistemas productivos semi-intensivos que preservan el bienestar animal. *J. Basic Appl. Genet.* 21: 1-12.

Fernández R, Sindik M, Revidatti F, Sanz P, Sosa L, Ortíz D. 2017. Madurez sexual y producción de huevos en reproductoras pesadas Campero INTA. *AICA* 9: 20-26.

Godshalk EB, Timothy DH. 1988. Factor and principal component analyses as alternatives to index selection. *Theor. Appl. Genet.* 76: 352-360.

Jackson ME, Friars GW, Gavora JS, Lin CY, Gowe RS, McMillan I, Moran ET. 1986. Comparisons of control and selected strains, strain crosses, and commercial stocks of leghorns for egg production efficiency. *Poult. Sci.* 65: 16-25.

Katanbaf MN, Dunnington EA, Siegel PB. 1989. Restricted feeding in early and late-feathering chickens. 2. Reproductive responses. *Poult. Sci.* 68: 352-358.

Kerr CL, Hammerstedt RH, Barbato GF. 2001. Effects of selection for exponential growth rate at different ages on reproduction in chickens. *Avian Poult. Biol. Rev.* 12: 127-136.

McMillan I, Fairfull RW, Gowe RS, Gavora JS. 1990. Evidence for genetic improvement of layer stocks of chicken during 1950-80. *World's Poult. Sci. J.* 46: 235-245.

Pinto LFB, Packer IU, De Melo CMR, Ledur MC, Coutinho LL. 2006. Principal components analysis applied to performance and carcass traits in the chicken. *Anim. Res.* 55: 419-425.

Restrepo LF, Posada SL; Noguera RR. 2012. Aplicación del análisis por componentes principales en la evaluación de tres variedades de pasto. *Rev. Colomb. Cienc. Pecu.* 25: 258-266

Shalan H, El-Sayed N, Rizk RE. 2012. Estimates of genetic parameters for egg production and egg quality in local chicken strains. *Egypt. Poult. Sci.* 32: 399-411.

Soller M, Eitan Y, Brody T. 1984. Effect of diet and early quantitative feed restriction on the minimum weight requirement for the onset of sexual maturity in White Rock broiler breeders. *Poult. Sci.* 63: 1255-1261.

Xu H, Zeng H, Luo C, Zhang D, Wang Q, Sun L, Yang L, Zhou M, Nie Q, Zha, X. 2011. Genetic effects of polymorphisms in candidate genes and the QTL region on chicken age at first egg. *BMC genetics* 12: 33.