
Sección: Artículos de investigación

Comportamiento dinámico del peso del huevo en gallinas camperas discriminadas por indicadores productivos a la madurez sexual

Artículo de Romera BM, Martines A, Canet ZE, Dottavio AM, Di Masso RJ

CIENCIA VETERINARIA, Vol. 22, Nº 2, julio-diciembre de 2020, ISSN 1515-1883 (impreso) E-ISSN 1853-8495 (en línea), pp. 71-96

DOI: <http://dx.doi.org/10.19137/cienvet202022201>

Comportamiento dinámico del peso del huevo en gallinas camperas discriminadas por indicadores productivos a la madurez sexual

Romera BM^{1,3}, Martines A¹, Canet ZE^{1,2}, Dottavio AM¹, Di Masso RJ¹

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

² Estación Experimental Agropecuaria "Ing. Agr. Walter Kugler". Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Pergamino. Buenos Aires.

³ Becario del Programa Estratégico de Formación de Recursos Humanos en Investigación y Desarrollo (PERHID).

Correo electrónico: rjdimasso@gmail.com

RESUMEN

Se caracterizó el efecto de cinco caracteres a la madurez sexual sobre el patrón dinámico del peso del huevo, en gallinas Campero Casilda. A la puesta del primer huevo se registró el peso corporal y la edad de las aves, el peso de los 10 primeros huevos, los días necesarios para ponerlos y el coeficiente de variación de dichos pesos. Se pesaron todos los huevos entre la madurez sexual y las 72 semanas de edad. Los datos peso promedio semanal del huevo versus edad de postura se ajustaron por regresión no lineal con el modelo de Weatherup & Foster. Las aves se categorizaron por los valores de cada carácter a la madurez sexual tomado por separado y se evaluó el efecto de la categoría sobre los estimadores de los parámetros del modelo. Las aves menos precoces, presentaron mayor peso corporal y pusieron huevos de mayor tamaño inicial y asintótico, sin diferencias en la tasa de maduración del peso del huevo respecto de aquellas más precoces. Estas últimas iniciaron su postura de manera irregular, requirieron más días para poner los 10 primeros huevos y el peso de esos huevos presentó mayor coeficiente de variación. Las aves que comenzaron su postura con huevos más uniformes en peso mantuvieron esa diferencia en toda la curva. La selección temprana de aves que inicien su postura con mayor edad y peso corporal, en forma regular y con huevos más



Esta obra se publica bajo licencia Creative Commons 4.0 Internacional. (Atribución-No Comercial-Compartir Igual) a menos que se indique lo contrario, <http://www.creativecommons.org.ar/licencias.html>

pesados y uniformes estaría acompañada de un patrón dinámico favorable en el peso del huevo.

Palabras clave: precocidad sexual, peso corporal, peso del huevo, regularidad en la postura, uniformidad en la postura, modelo de Weatherup & Foster

Dynamic behavior of egg weight in free-range hens discriminated by productive indicators at sexual maturity

ABSTRACT

The effects on the dynamic pattern of egg weight of five traits at sexual maturity were characterized in Campero Casilda hens. When the first egg was laid, body weight, age (an indicator of sexual precocity), weight of the first 10 eggs (an indicator of their initial weight), days needed to lay them (an indicator of regularity) and coefficient of variation of these weights (an indicator of uniformity) were recorded. All the eggs laid between sexual maturity and 72 weeks of age was weighed. Longitudinal data relating weekly average egg weight versus laying age were adjusted by non-linear regression with the Weatherup & Foster model. Birds were categorized by the values of each trait measured at sexual maturity and the category effect on the estimators of the function parameters was evaluated. Less precocious birds were heavier and laid larger eggs at the beginning of the cycle and in the asymptote, without differences on the egg weight maturation rate, in comparison to those more precocious. The latter began the laying period irregularly, requiring a greater number of days to lay the first 10 eggs and the weight of these had a higher coefficient of variation. The birds that began laying more uniform eggs in weight maintained that difference throughout the curve. Early selection of birds that begin laying at an older age, with greater body weight, more regularly and with heavier eggs uniform in size would show a favorable dynamic pattern in egg weight.

Key words: sexual precocity, body weight, egg weight, laying regularity, laying uniformity, Weatherup & Foster model

Comportamento dinâmico do peso dos ovos em galinhas caipiras discriminadas por indicadores produtivos de maturidade sexual

RESUMO

O efeito de cinco caracteres na maturidade sexual sobre o padrão dinâmico de peso dos ovos foi caracterizado em galinhas Campero Casilda. Quando o primeiro ovo foi posto, foram registrados o peso corporal e a idade das aves, o peso dos 10 primeiros ovos, os dias necessários para a postura e o coeficiente de variação desses pesos. Todos os ovos foram pesados entre a maturidade sexual e as 72 semanas de idade. Os dados médios semanais de peso do ovo versus idade da postura foram ajustados por regressão não linear com o modelo de Weatherup & Foster. As aves foram categorizadas pelos valores de cada caractere na maturidade sexual tomadas separadamente e o efeito da categoria nos estimadores dos parâmetros do modelo foi avaliado. As aves menos precoces apresentaram maior peso corporal e postura de ovos maiores e assintóticos, sem diferenças na taxa de maturação do peso dos ovos em relação aquelas mais precoces. Estas últimas começaram sua postura de maneira irregular, exigindo mais dias para colocar os 10 primeiros ovos, e o peso desses ovos apresentou um coeficiente de variação maior. As aves que começaram sua postura com ovos mais uniformes no peso mantiveram essa diferença ao longo da curva. A seleção precoce de aves que começam a postura com idade avançada e peso corporal, regularmente, e com ovos mais pesados e uniformes seriam acompanhadas por um padrão dinâmico favorável no peso dos ovos.

Palavras-chave: Precocidade sexual, peso corporal, peso dos ovos, regularidade postural, uniformidade postural, modelo de Weatherup & Foster

Fecha recepción: 16-04-2020

Aceptado para publicar: 09-06-2020

Introducción

En la gallina, la oviposición es un carácter complejo, afectado por factores genéticos intrínsecos de cada ave y por condiciones ambientales que afectan al lote en su conjunto. Respecto de estos últimos pueden

mencionarse, entre otros, la nutrición ^(1,2) y el fotoperíodo ⁽³⁾, ambos susceptibles de ser controlados mediante decisiones de manejo en las poblaciones comerciales. Los factores genéticos, por su parte, ejercen su influencia tanto sobre el inicio de la producción como sobre su persistencia. Si bien cada uno de ellos ha sido estudiado individualmente en profundidad, la manera en que el genotipo y el ambiente interaccionan en la regulación de la postura aún no ha sido completamente dilucidada. Uno de los momentos clave a caracterizar en el ciclo de la gallina es la madurez sexual, definida por la puesta de su primer huevo. La misma ha sido, desde hace ya tiempo, asociada a la edad, el peso y la composición corporal de las aves ^(4,7), en vinculación con la secuencia de eventos que involucran al eje hipotálamo-hipófisis-gonadal ⁽⁸⁾ y a la actividad ovárica ⁽⁹⁾ que llevan al inicio de la actividad reproductiva. Además de su relación con la edad y el peso corporal de la gallina, la madurez sexual también puede caracterizarse a partir del estudio de otros caracteres de potencial trascendencia en el ciclo productivo. Entre estos últimos se incluyen el peso de los primeros huevos, la uniformidad de dichos pesos y la regularidad en el ritmo inicial de puesta. Canet et al (2012) ⁽¹⁰⁾ y Romera et al (2019) ⁽¹¹⁾ evaluaron todas estas variables en forma conjunta aplicando un análisis multivariado de componentes principales a una población de gallinas camperas pesadas. En el marco de ese estudio corroboraron la estructura compleja de las relaciones entre los diferentes caracteres productivos vinculados con el inicio de la oviposición e identificaron a un grupo de aves caracterizadas por iniciar su postura a mayor edad y con mayor peso corporal, con un comienzo de la etapa productiva más regular y con huevos de mayor peso y uniformes en tamaño, una conjunción de caracteres deseable para el inicio del ciclo. A nivel comercial, la precocidad en la madurez sexual si va acompañada de un tamaño adecuado del huevo y de regularidad en la postura, maximiza la producción potencial de huevos y disminuye los costos por unidad. Por dichas razones, la evaluación de los indicadores de estos caracteres productivos trasciende el momento particular de inicio de la actividad reproductiva y proyecta su importancia a la totalidad del ciclo. La producción de huevos representa la principal salida de los sistemas tanto de gallinas ponedoras como de reproductoras. La misma incluye dos aspectos que se caracterizan por presentar patrones dinámicos particulares a lo largo del ciclo: el número de huevos puestos y el peso de dichos huevos y ambos guardan relación con la madurez sexual. ⁽¹²⁾ El objetivo de este trabajo fue caracterizar el efecto de cinco caracteres productivos relevados a la madurez sexual - el peso corporal y la edad de las aves, el peso promedio de los 10 primeros huevos, el número de días necesarios para poner los 10 primeros huevos y el coeficiente de variación del peso de los 10 primeros huevos, sobre el

patrón dinámico de modificación del peso de los huevos puestos por un cruzamiento experimental de gallinas camperas en su primer ciclo.

Materiales y métodos

Se evaluaron gallinas Campero Casilda [CC], cruzamiento experimental de tres vías entre machos de la población sintética paterna AH' y hembras producto del cruzamiento simple entre las poblaciones sintéticas ES como padre y A como madre. Las poblaciones sintéticas mencionadas fueron generadas y se mantienen en el Núcleo Genético de la Sección Avicultura de la Estación Experimental Agropecuaria "Ing. Agr. Walter Kugler" del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, en la localidad bonaerense de Pergamino. Su composición genética (Bonino, comunicación personal) es: Sintética AH' (50% Hubbard 50% estirpe Anak grises), Sintética ES (87,5% Cornish Colorado 12,5% Rhode Island Red) y Sintética A (75% Cornish Colorado 25% Rhode Island Red). Las aves nacieron en la planta de incubación del Núcleo Genético. En dicho momento se identificaron con banda alar numerada, se vacunaron contra la enfermedad de Marek y se trasladaron a las instalaciones del Sector Avicultura de 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.⁽¹³⁾ Hasta las 5 semanas de edad, machos y hembras se criaron a galpón, como un único grupo, con una densidad inicial de 10 aves por m², un fotoperíodo de 16 horas con un ciclo mínimo de oscuridad de 8 horas y alimentación *ad libitum*. A los 35 días de edad las aves se sexaron por inspección visual del desarrollo de los ornamentos sexuales. Se eligieron al azar 104 hembras las que se alojaron en jaulas individuales de postura y, dada su condición de aves pesadas, se sometieron a un régimen de restricción alimenticia cuantitativa acorde a sus curvas de peso.⁽¹⁰⁾

En el momento de la madurez sexual -puesta del primer huevo- se registraron, en forma individual, cinco indicadores productivos: el peso corporal (PESOMS, g), la edad (EDADMS, días) como indicador de precocidad sexual, el peso promedio de los 10 primeros huevos (PES10H, g) como indicador del peso inicial del huevo, 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 inicio de la postura.

Se registró diariamente y en forma individual, con aproximación a la décima de gramo, el peso de todos los huevos puestos por todas las aves, entre la madurez sexual y las 72 semanas de edad.

Los datos longitudinales peso promedio semanal del huevo (g) versus edad de postura (semanas) se ajustaron por regresión no lineal con el modelo de Weatherup & Foster (W&F) (1980)⁽¹⁴⁾ $W(t) = A - B * r^t$, donde: $W(t)$ = peso del huevo (g), en el tiempo t ; A = peso asintótico del huevo (g); B = rango del peso del huevo (g) entre $t = 0$ y A ; r = tasa de aproximación del peso del huevo al valor asintótico A ($a > r <$ velocidad) y t = edad (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 el comportamiento aleatorio de los residuales de acuerdo con el resultado de un test de rachas o ciclos.⁽¹⁵⁾

Las gallinas se discriminaron en cuatro categorías por la edad y el peso corporal a la puesta del primer huevo y por el peso de los 10 primeros huevos, tomando como criterio el valor de los cuartiles de orden 1, 2 (mediana) y 3; y en dos categorías (valores por debajo y por encima de la mediana) en el caso del número de días necesarios para poner los 10 primeros huevos y del coeficiente de variación del peso de los 10 primeros huevos.

Además, se generaron dos planos cartesianos. El primero de ellos vinculó en el eje de las abscisas la edad (días) y en el eje de las ordenadas el peso corporal (g) a la puesta del primer huevo. El segundo vinculó el coeficiente de variación del peso promedio de los 10 primeros huevos en las abscisas y el peso promedio de los 10 primeros huevos en las ordenadas. Ambos planos se dividieron en cuatro cuadrantes numerados en forma correlativa del I al IV comenzando por el superior derecho utilizando el valor mediano de cada indicador en cada eje.

Análisis estadístico

La normalidad de la distribución de las variables se evaluó con el test ómnibus de D'Agostino & Pearson.

El efecto del cuartil de pertenencia sobre los valores medianos de los estimadores de la función de W&F, en el caso de las variables EDADMS, PESOMS y NUMDIA y del cuadrante de pertenencia en los análisis conjuntos peso-edad a la madurez sexual y uniformidad-regularidad en el inicio de la postura, se evaluó con el test no paramétrico de Kruskal-Wallis seguido de la prueba de comparaciones múltiples de Dunn. En los casos en que se consideraron sólo dos categorías (NUMDIA y CVPESH) se utilizó la prueba U de Mann-Whitney.

La asociación entre variables se estimó a partir del cálculo del coeficiente de correlación no paramétrico de Spearman.

Resultados

En todos los casos el criterio de categorización permitió diferenciar grupos de aves con valores significativamente diferentes de los caracteres utilizados con tal finalidad. Del mismo modo, en todas las categorizaciones, se rechazó la hipótesis de normalidad en al menos alguno de los grupos y en todas las variables.

Con relación a la bondad de los ajustes, en todos ellos se observó una rápida convergencia en una solución, con valores del coeficiente de determinación no lineal ajustado (R^2) mayores a 0,8 y distribución aleatoria de los residuales.

La Tabla N° 1 resume las correlaciones entre los indicadores de los caracteres productivos a la madurez sexual.

La edad a la puesta del primer huevo se asoció en forma positiva y significativa con el peso corporal y el peso promedio de los primeros huevos y negativa y significativamente con el número de días requeridos para poner los 10 primeros huevos y el coeficiente de variación del peso de los mismos.

El peso corporal a la madurez sexual se asoció positivamente con el peso de los primeros huevos y el número de días requerido para poner esos huevos se asoció con signo positivo con el coeficiente de variación de dichos pesos.

Tabla N° 1. Matriz de correlaciones fenotípicas (coeficiente r de Spearman) entre los indicadores de caracteres productivos a la madurez sexual

	EDADMS	PESOMS	PES10H	NUMDIA	CVPESH
EDADMS	1	0,495***	0,375***	-0,237*	-0,215*
PESOMS		1	0,307**	0,008 ^{ns}	-0,096 ^{ns}
PES10H			1	-0,082 ^{ns}	-0,175 ^{ns}
NUMDIA				1	0,202
CVPESH					1

EDADMS: edad (días) a la puesta del primer huevo (precocidad)

PESOMS: peso corporal (g) a la puesta del primer huevo

PES10H: peso promedio (g) de los 10 primeros huevos

NUMDIA: número de días requeridos para poner los 10 primeros huevos (regularidad)

CVPESH: coeficiente de variación (%) del peso de los 10 primeros huevos (uniformidad)

^{ns}($P > 0,05$) *($P < 0,05$) **($P < 0,01$) ***($P < 0,001$)

EFFECTO DE LA EDAD A LA MADUREZ SEXUAL

La Tabla N° 2 resume el valor de los estimadores del modelo de W&F en función del cuartil de edad a la puesta del primer huevo.

El Gráfico N°1 describe el comportamiento dinámico teórico del peso del huevo en cada grupo.

Sólo se observó un efecto significativo del criterio de clasificación sobre el peso teórico del primer huevo (A: P= 0,280; B: P= 0,222; r: P= 0,998; (A-B): P= 0,006).

Las aves más precoces comenzaron la postura con un menor peso del huevo, el que aumentó con la edad de inicio de la postura.

La similitud en la tasa de maduración explicó el paralelismo de las curvas de aumento de peso del huevo. Si bien sin alcanzar el significado estadístico, las aves del cuarto cuartil presentaron también un mayor peso asintótico.

El efecto combinado de las diferencias en los valores de los estimadores de los parámetros del modelo se reflejó en una diferencia en el peso teórico del huevo a lo largo de todo el ciclo productivo, favorable a las aves de menor precocidad.

Tabla N° 2. Estimadores de los parámetros de la función de Weatherup & Foster aplicada al ajuste de los datos peso promedio semanal del huevo versus edad de postura de gallinas Campero Casilda discriminadas por su madurez sexual

Variable	Cuartil 1	Cuartil 2	Cuartil 3	Cuartil 4
Edad a la puesta del primer huevo (g)	172 a 168-174	181 b 179-182	187 c 185-192	200 d 198-207
Peso asintótico del huevo (A – g)	70,2 65,4-73,5	71,0 67,2-73,0	69,7 68,1-75,5	74,0 69,6-77,7
Rango de pesos de los huevos (B – g)	21,5 18,6-25,6	19,6 16,2-22,1	20,8 17,2-23,2	19,2 17,4-21,7
Tasa de maduración (r – g ⁻¹)	0,944 0,920-0,954	0,943 0,927-0,956	0,940 0,931-0,958	0,938 0,926-0,967
Peso teórico del primer huevo (A-B g)	49,3 a 44,8-51,9	51,3 ab 48,3-54,6	52,1 ab 48,9-57,3	53,5 b 51,2-57,2

Todos los valores corresponden a la mediana (rango intercuartílico)

Tamaño muestral: n= 25 aves por categoría

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

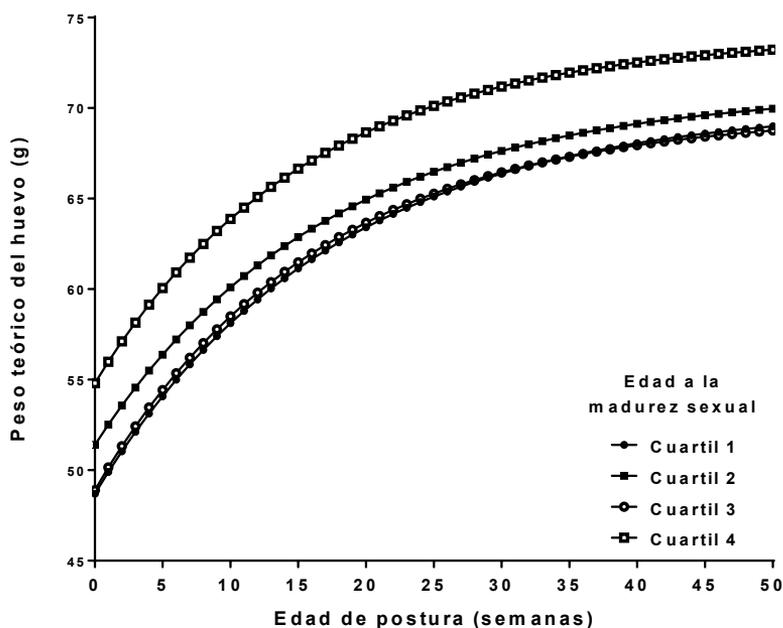


Gráfico N° 1. Patrón dinámico del peso de los huevos puestos por gallinas Campero Casilda de primer ciclo, discriminadas por su edad a la puesta del primer huevo

EFFECTO DEL PESO CORPORAL A LA MADUREZ SEXUAL

La Tabla N° 3 resume el valor de los estimadores de la función de W&F en función del cuartil de peso corporal a la puesta del primer huevo.

El Gráfico N° 2 describe el comportamiento dinámico del peso del huevo.

Se constató un efecto significativo del peso corporal a la madurez sexual tanto sobre el peso del primer huevo como sobre el peso asintótico (A: $P=0,022$; B: $P=0,111$; r: $P=0,248$; (A-B): $P=0,019$).

Ambas variables aumentaron con el aumento del peso a la madurez sexual correspondiendo, en ambos casos, el menor valor a las aves del Cuartil 1 y el mayor a aquellas ubicadas en el Cuartil 4.

Tabla N° 3. Estimadores de los parámetros de la función de Weatherup & Foster aplicada al ajuste de los datos peso promedio semanal del huevo versus edad de postura de gallinas Campero Casilda discriminadas por su peso corporal a la madurez sexual

Variable	Cuartil 1	Cuartil 2	Cuartil 3	Cuartil 4
Peso corporal a la puesta del 1 ^{er} huevo (g)	2472 a 2404-2567	2686 b 2652-2749	2862 c 2833-2881	3078 d 3016-3207
Peso asintótico del huevo (A - g)	69,7 a 64,7-72,7	70,3 ab 66,6-73,4	72,2 ab 69,3-75,9	72,7 b 69,6-79,6
Rango de pesos de los huevos (B - g)	21,0 18,2-23,1	17,8 15,9-21,9	20,7 19,2-27,5	20,3 18,5-22,7
Tasa de maduración ($r - g^{-1}$)	0,942 0,915-0,955	0,940 0,923-0,951	0,941 0,928-0,960	0,952 0,931-0,967
Peso teórico del primer huevo (A-B g)	49,3 a 44,8-52,8	50,6 ab 48,2-54,1	53,0 ab 48,9-57,2	53,7 b 50,3-58,0

Todos los valores corresponden a la mediana (rango intercuartílico)
 Tamaño muestral: n= 25 aves por categoría
 a,b,c,d Valores con diferente letra difieren al menos al 0,05

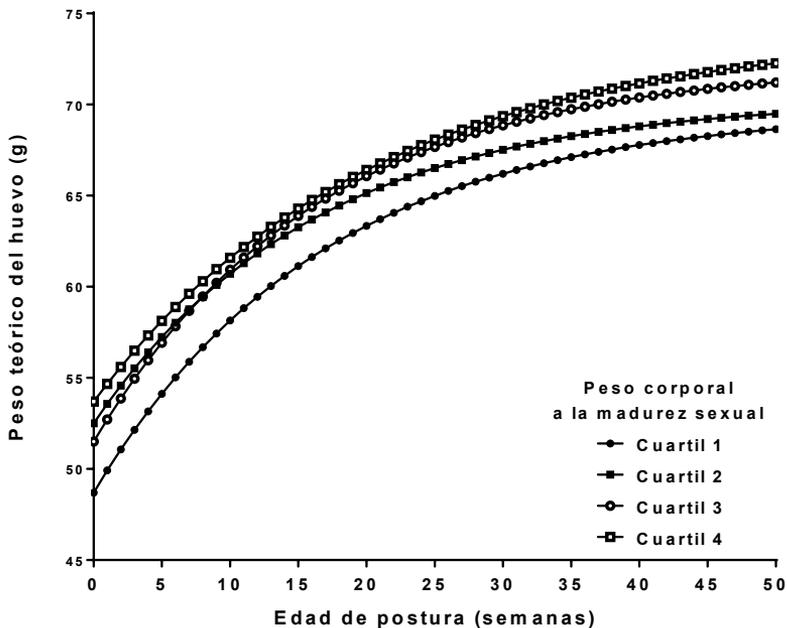


Gráfico N° 2. Patrón dinámico del peso de los huevos puestos por gallinas Campero Casilda de primer ciclo, discriminadas por su peso corporal a la puesta del primer huevo

EFFECTO CONJUNTO DE LA EDAD Y EL PESO CORPORAL A LA MADUREZ SEXUAL

El valor de los estimadores de la función de W&F en función del cuadrante de pertenencia en el plano cartesiano definido por la edad y el peso corporal a la madurez sexual se presenta en la Tabla N° 4.

Las trayectorias de las curvas de aumento de peso del huevo se describen en el Gráfico N° 3.

Las dos variables mencionadas presentaron una asociación positiva y significativa (r de Spearman= 0,509; $P < 0,0001$). Las aves ubicadas en el Cuadrante I, de mayor edad y peso corporal a la madurez sexual, pusieron huevos de mayor peso inicial y asintótico.

Las aves más precoces, ubicadas en los Cuadrantes II y III, comenzaron su postura con un menor peso inicial del huevo y presentaron, a continuación, el mayor rango de aumento.

Las aves en los Cuadrantes I y III, que asocian ambas variables en el sentido de la correlación fenotípica, presentaron paralelismo en sus patrones dinámicos de modificación del peso del huevo. Los patrones de aquellas ubicadas en los Cuadrantes II y IV, que asocian a las variables en sentido contrario al signo de la correlación fenotípica, se intersecaron aproximadamente a las 16-18 semanas de postura.

Tabla N° 4. Estimadores de los parámetros de la función de Weatherup & Foster aplicada al ajuste de los datos peso promedio semanal del huevo versus edad de postura de gallinas Campero Casilda discriminadas en forma conjunta por su edad y por su peso corporal a la madurez sexual

Variable	Cuadrante I N = 28 Edad > 185 d Peso > 2740 g	Cuadrante II N = 27 Edad ≤ 185 d Peso > 2740 g	Cuadrante III N = 31 Edad ≤ 185 d Peso ≤ 2740 g	Cuadrante IV N = 11 Edad > 185 d Peso ≤ 2740 g
Edad a la madurez sexual (días)	199 a (193 - 207)	181 b (176 - 185)	174 b (169 - 181)	193 a (188 - 197)
Peso corporal a la madurez sexual (g)	2961 a (2871 - 3145)	2836 a (2811 - 2990)	2574 b (2419 - 2652)	2612 b (2482 - 2693)
Peso asintótico del huevo (A - g)	74,0 a (70,6 - 78,7)	71,7 ab (67,3 - 78,3)	70,2 b (65,8 - 73,3)	69,7 b (63,7 - 74,5)
Rango de pesos de los huevos (B - g)	20,5 ab (18,5 - 23,1)	20,7 a (17,4 - 27,4)	20,8 ab (17,8 - 23,2)	17,7 b (16,2 - 21,5)
Tasa de maduración (r - g ⁻¹)	0,947 (0,932 - 0,967)	0,941 (0,909 - 0,957)	0,944 (0,929 - 0,955)	0,932 (0,920 - 0,952)
Peso teórico del primer huevo (A-B g)	53,6 a (51,0 - 58,0)	51,1 b (46,9 - 56,8)	49,8 b (46,4 - 52,7)	51,1 b (48,5 - 54,6)

Todos los valores corresponden a la mediana (rango intercuartílico)
a,b Valores con diferente letra difieren al menos al 0,05

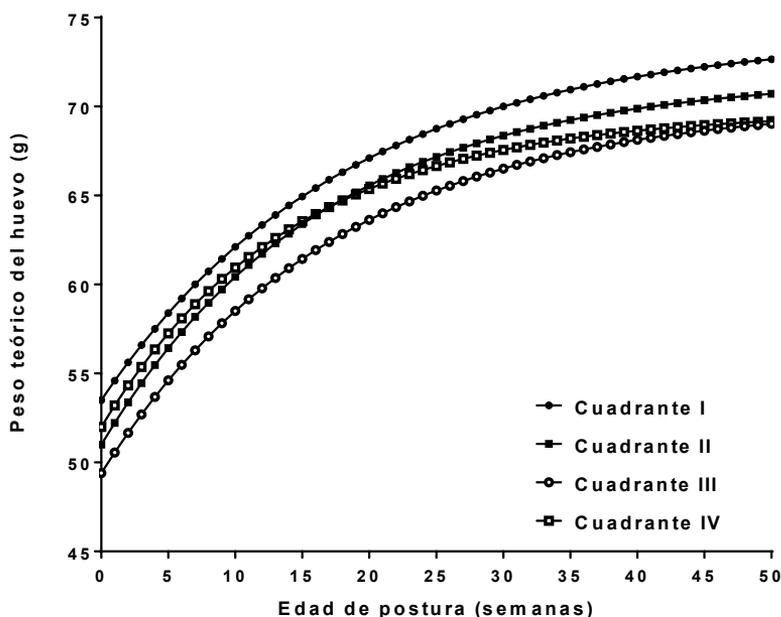


Gráfico N° 3. Patrón dinámico del peso de los huevos puestos por gallinas Campero Casilda de primer ciclo, discriminadas en forma conjunta por su edad y su peso corporal a la puesta del primer huevo

EFEECTO DEL PESO DE LOS 10 PRIMEROS HUEVOS

La Tabla N° 5 resume el valor de los estimadores de la función de W&F en función del cuartil de peso de los 10 primeros huevos.

El comportamiento dinámico se visualiza en el Gráfico N°4.

Se constató un efecto significativo del criterio de clasificación sobre el peso inicial y el peso asintótico del huevo (A: $P < 0,0001$; B: $P = 0,994$; r: $P = 0,105$; (A-B): $P = 0,0001$) correspondiendo, para ambos caracteres el menor valor a las aves del Cuartil 1 y el mayor a las del Cuartil 4.

Tabla N° 5. Estimadores de los parámetros de la función de Weatherup & Foster aplicada al ajuste de los datos peso promedio semanal del huevo versus edad de postura de gallinas Campero Casilda discriminadas por el peso promedio de los 10 primeros huevos

Variable	Cuartil 1	Cuartil 2	Cuartil 3	Cuartil 4
Peso promedio de los 10 primeros huevos (g)	49,1 a 47,8-49,7	52,2 b 51,1-52,8	54,7 c 54,0-55,1	58,9 d 56,7-60,1
Peso asintótico del huevo (A - g)	67,7 a 64,0-70,5	69,6 ab 66,8-72,9	72,2 b 70,0-74,0	77,8 c 74,3-84,0
Rango de pesos de los huevos (B - g)	20,2 16,9-23,7	20,7 16,8-23,6	20,1 18,4-22,0	20,5 17,4-23,3
Tasa de maduración ($r - g^{-1}$)	0,941 0,914-0,950	0,943 0,913-0,952	0,938 0,927-0,956	0,953 0,932-0,973
Peso teórico del primer huevo (A-B g)	46,9 a 43,5-49,8	50,1 ab 48,4-52,2	52,9 b 51,0-54,0	57,5 c 56,5-59,3

Todos los valores corresponden a la mediana (rango intercuartílico)

Tamaño muestral: n= 25 aves por categoría

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

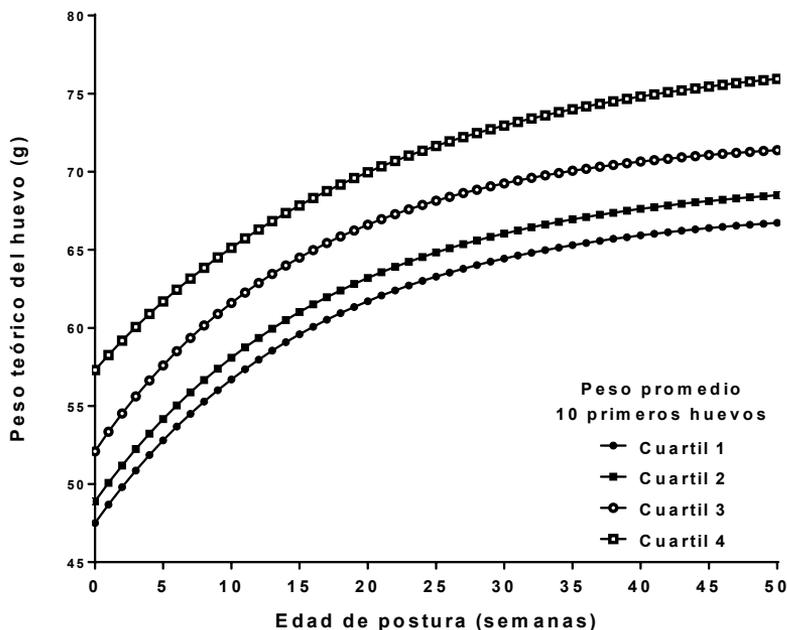


Gráfico N° 4. Patrón dinámico del peso de los huevos puestos por gallinas Campero Casilda de primer ciclo, discriminadas por el peso promedio de los 10 primeros huevos

EFFECTO DE LA REGULARIDAD EN EL INICIO DE LA POSTURA

El valor de los estimadores de la función de W&F en función de la regularidad en el inicio de la postura se presenta en la Tabla N° 6 y se describe en el Gráfico N° 5.

Las aves con un inicio más regular de la oviposición presentaron un mayor peso inicial y asintótico del huevo y menor velocidad de aproximación a dicho valor asintótico ($> r$), sin diferenciarse de aquellas más irregulares en el rango de aumento de peso del huevo.

Tabla N° 6. Estimadores de los parámetros de la función de Weatherup & Foster aplicada al ajuste de los datos peso promedio semanal del huevo versus edad de postura de gallinas Campero Casilda discriminadas por el número de días requeridas para poner los 10 primeros huevos

Variable	Categoría		Contraste	
	< Mediana ≤ 14 días	> Mediana ≥ 15 días	U de Mann-Whitney	P
N° de días para poner los 10 primeros huevos	12 11-13	17 15-19	0	< 0,0001
Peso asintótico del huevo (A - g)	72,5 68,9-77,3	70,2 66,4-73,2	902	0,041
Rango de pesos de los huevos (B - g)	19,8 17,4-22,6	20,7 18,1-24,2	1012	0,210
Tasa de maduración ($r - g^{-1}$)	0,946 0,933-0,961	0,938 0,901-0,951	795,5	0,0049
Peso teórico del primer huevo (A-B g)	52,8 50,5-56,0	49,0 44,8-53,8	768	0,0025

Todos los valores corresponden a la mediana (rango intercuartílico)
Tamaño muestral: n= 50 aves por categoría

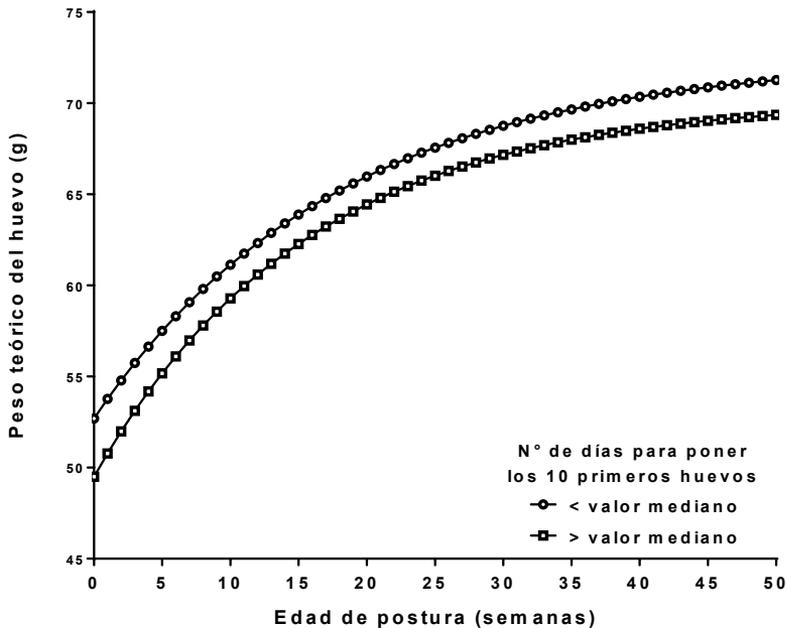


Gráfico N° 5 - Patrón dinámico del peso de los huevos puestos por gallinas Campero Casilda de primer ciclo, discriminadas por el número de días requeridos para poner los 10 primeros huevos

EFECTO DE LA UNIFORMIDAD EN EL INICIO DE LA POSTURA

La Tabla N° 7 resume el valor de los estimadores de la función de W&F en función de la uniformidad en el peso de los huevos puestos en el inicio de la postura.

Si bien no se observaron diferencias estadísticamente significativas en los valores de los estimadores entre aves con oviposición regular o irregular en peso de los huevos producidos a la madurez sexual, como resultado de presentar un mayor peso inicial del huevo, una menor velocidad de aproximación al peso asintótico ($> r$) y un mayor peso asintótico, las aves más regulares muestran mayor peso del huevo a lo largo de todo el ciclo (Gráfico N° 6).

Tabla N° 7. Estimadores de los parámetros de la función de Weatherup & Foster aplicada al ajuste de los datos peso promedio semanal del huevo versus edad de postura de gallinas Campero Casilda discriminadas por el coeficiente de variación del peso de los 10 primeros huevos

Variable	Categoría		Contraste	
	< Mediana CV ≤ 6,6 %	> Mediana CV ≥ 6,7 %	U de Mann-Whitney	P
CV del peso de los 10 primeros huevos (%)	5,2 4,2-6,0	8,9 7,5-14,4	0	< 0,0001
Peso asintótico del huevo (A - g)	72,2 67,9-75,5	70,8 67,3-76,7	1173	0,724
Rango de pesos de los huevos (B - g)	20,1 17,4-22,9	20,7 17,9-23,6	1129	0,507
Tasa de maduración (r - g ⁻¹)	0,941 0,927-0,955	0,943 0,918-0,956	1219	0,974
Peso teórico del primer huevo (A-B g)	52,1 48,7-55,9	51,1 47,3-55,2	1096	0,373

Todos los valores corresponden a la mediana (rango intercuartílico)
Tamaño muestral: n= 50 aves por categoría

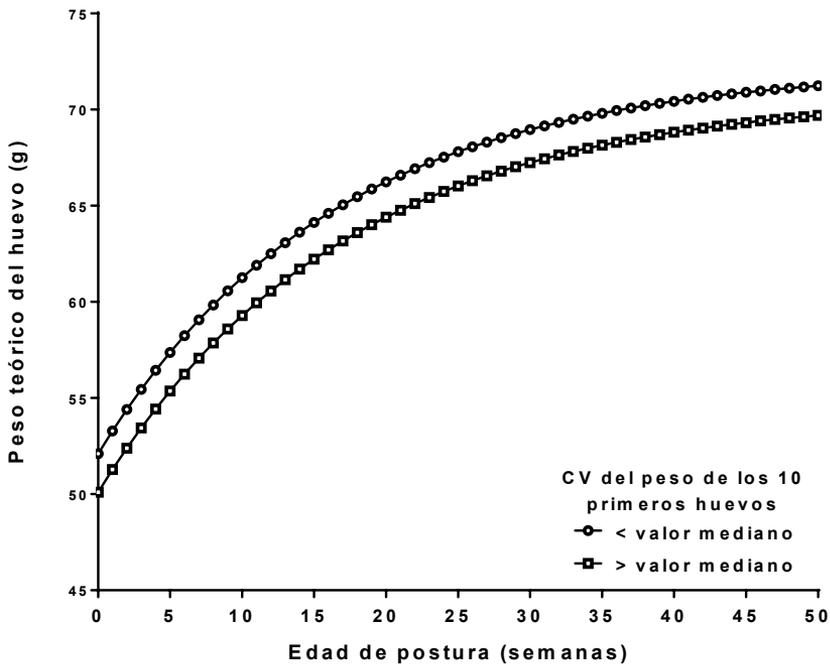


Gráfico N° 6 - Patrón dinámico del peso de los huevos puestos por gallinas Campero Casilda de primer ciclo, discriminadas por el coeficiente de variación del peso de los 10 primeros huevos

EFFECTO CONJUNTO DE LA REGULARIDAD Y LA UNIFORMIDAD DE LA POSTURA EN EL INICIO DEL CICLO

Los estimadores de la función de W&F en función del cuadrante de pertenencia en el plano cartesiano definido por la regularidad y la uniformidad de la postura en el inicio del ciclo productivo se presentan en la Tabla N° 8.

Las dos variables mencionadas presentaron una asociación positiva y significativa (r de Spearman= 0,202; $P= 0,046$), si bien de bajo valor absoluto.

Independientemente de la uniformidad en el peso de los primeros huevos, las aves de los Cuadrantes I y II con un inicio irregular, comenzaron su postura con huevos de menor tamaño. Sin diferencias significativas en el peso asintótico de los huevos, las aves del Cuadrante II presentaron mayor velocidad de aproximación ($< r$) a un peso final del huevo algo menor.

Los patrones de aumento de peso del huevo de los cuatro grupos se describen en el Gráfico N° 7.

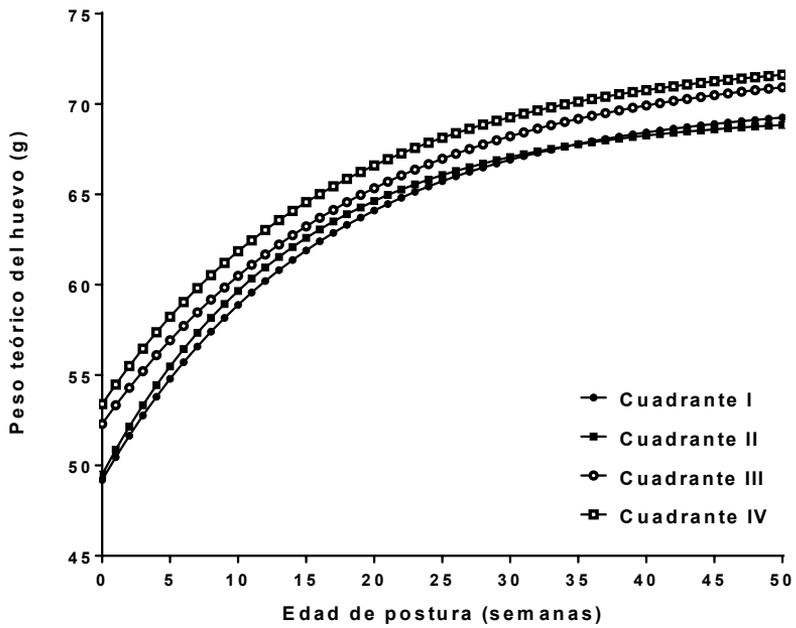


Gráfico N° 7. Patrón dinámico del peso de los huevos puestos por gallinas Campero Casilda de primer ciclo, discriminadas en forma conjunta por la regularidad y uniformidad de su postura al inicio del ciclo

Tabla N° 8. Estimadores de los parámetros de la función de Weatherup & Foster aplicada al ajuste de los datos peso promedio semanal del huevo versus edad de postura de gallinas Campero Casilda discriminadas en forma conjunta por la regularidad y uniformidad de su postura al inicio del ciclo

Variable	Cuadrante I N = 23 CV > 6,8 N° ≥ 15	Cuadrante II N = 18 CV ≤ 6,8 N° ≥ 15	Cuadrante III N = 33 CV ≤ 6,8 N° < 15	Cuadrante IV N = 25 CV > 6,8 N° < 15
N° días para poner los 10 primeros huevos	16 a (15 - 19)	17 a (15 - 19)	12 b (11 - 13)	12 b (12 - 14)
CV del peso de los 10 primeros huevos (%)	8,2 a (7,4 - 14,1)	5,9 b (5,3 - 6,2)	4,8 b (3,8 - 6,0)	9,5 a (7,5 - 14,6)
Peso asintótico del huevo (A - g)	70,2 (68,2 - 70,3)	69,4 (65,1 - 76,5)	72,4 (69,7 - 76,0)	72,7 (67,2 - 78,7)
Rango de pesos de los huevos (B - g)	21,0 (19,0 - 23,6)	19,9 (17,4 - 26,3)	20,1 (17,4 - 22,5)	19,3 (16,1 - 24,2)
Tasa de maduración ($r - g^{-1}$)	0,940 ab (0,902 - 0,952)	0,931 a (0,901 - 0,951)	0,949 b (0,932 - 0,957)	0,944 b (0,934 - 0,967)
Peso teórico del primer huevo (A-B g)	49,0 a (44,6 - 52,7)	49,0 a (45,5 - 56,8)	52,9 b (51,1 - 55,8)	52,6 b (49,6 - 56,6)

Todos los valores corresponden a la mediana (rango intercuartílico)

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

Discusión

La modificación del peso del huevo con la edad muestra un patrón común en las diversas especies de aves de interés productivo.⁽¹⁶⁾ Dicho patrón sigue una trayectoria curvilínea,⁽¹⁷⁾ de aproximación monótona a un valor final, que puede ser modelizado con una función exponencial asintótica.⁽¹⁴⁾ La importancia de la caracterización de este patrón, en la avicultura comercial, radica en que, por lo general,

los primeros huevos son de escaso valor comercial dado su bajo peso y los últimos del ciclo tienden a ser demasiado grandes y presentar problemas de rotura asociados al deterioro de la calidad de la cáscara e inconvenientes en su envasado ^(18,19). Con respecto a esta última cuestión, además del peso en sí mismo, cobra también importancia la uniformidad en el tamaño de los huevos ⁽²⁰⁾. La producción de huevos de tamaño apropiado y uniforme a lo largo del ciclo es también clave en el caso de las reproductoras dado su efecto sobre la incubabilidad y sobre el peso al nacimiento y posterior desempeño productivo de los pollitos ⁽²¹⁾. La alta correlación en el peso del huevo registrado en distintas edades del ciclo permite predecir que la aplicación de presión de selección para aumentar el peso inicial se traducirá en una modificación concomitante en el mismo sentido en el peso final. ⁽²²⁾ Evidencia en este sentido surge al comparar el comportamiento de las curvas de aumento de peso del huevo en las gallinas categorizadas por el peso promedio de sus 10 primeros huevos. A medida que se progresa del primer cuartil al último se observó un aumento tanto del peso teórico del primer huevo como del peso en la asíntota. Esas diferencias ocurrieron sin modificación significativa ni de la tasa de maduración ni del valor del incremento de peso entre el inicio y la finalización del ciclo, por lo que las diferencias observadas entre las cuatro categorías a las 50 semanas de postura reflejan diferencias ya presentes a la madurez sexual. En coincidencia con lo informado por Yi *et al.* (2014) ⁽²²⁾, el signo y el significado estadístico de las asociaciones entre el peso del huevo, la edad de la gallina y su peso corporal al inicio de la etapa reproductiva, indica que las aves menos precoces, presentan mayor peso corporal y comienzan el ciclo poniendo huevos de mayor tamaño. El análisis del efecto de las categorías extremas de precocidad -aves ubicadas en el primero y en el cuarto cuartil- sobre el peso inicial teórico del huevo y sobre el peso asintótico confirmó estas relaciones. Lo mismo ocurrió al considerar las categorías extremas de aves discriminadas por el peso corporal a la madurez sexual. La evaluación conjunta de los efectos del peso corporal y la edad a la puesta del primer huevo permitió identificar cuatro grupos de aves. Si bien las categorías más numerosas correspondieron a aquellos grupos ubicados en los cuadrantes I y III que asocian ambas variables en el sentido de la correlación fenotípica entre ellas, también se observaron individuos presentes en los cuadrantes II (aves precoces y de alto peso) y IV (aves de madurez tardía y de bajo peso), particularmente en el primero de ellos. Las trayectorias de las curvas de modificación del peso del huevo mostraron paralelismo para los grupos presentes en los cuadrantes I y III, no así para aquellas de los cuadrantes II y IV cuyas trayectorias

se cruzan. Esta diferencia puso en evidencia cierta independencia en el comportamiento de los parámetros A y r que determinan la forma de la curva. Las aves del cuadrante IV presentaron un peso asintótico del huevo similar a las del cuadrante III, ambas de bajo peso corporal inicial. La edad a la madurez sexual fue el único carácter que mostró asociación con los indicadores de regularidad y uniformidad en el inicio del ciclo. El signo de las correlaciones corrobora que, en este tipo de aves pesadas con restricción cuantitativa en el aporte de nutrientes, las gallinas que antes rompen postura lo hacen de manera irregular por lo que requieren un mayor número de días para poner los 10 primeros huevos y, además, el peso de esos huevos presenta un mayor coeficiente de variación. Estos dos indicadores no se asociaron entre sí ni con el peso corporal a la madurez sexual por lo que este comportamiento podría relacionarse con aspectos vinculados a la maduración del aparato reproductivo en este tipo particular de aves. Las gallinas con mayor regularidad inicial pusieron un primer huevo más pesado y la trayectoria posterior del patrón de modificación del peso de esos huevos mostró una menor velocidad de aproximación (mayor valor de r) a un peso asintótico mayor en comparación con aquellas con un comienzo irregular de la oviposición. Las diferencias en uniformidad del peso de los primeros huevos no tuvieron correlato con diferencias significativas en los estimadores de los parámetros que definen el patrón de aumento de dichos pesos pese a lo cual las aves que comenzaron su postura con huevos de pesos más uniformes mantuvieron una diferencia a su favor en todo el recorrido de la curva. Estos comportamientos particulares determinan que, al considerar los efectos conjuntos de regularidad y uniformidad, las aves que ocupan los cuadrantes III y IV, con semejante regularidad, coincidan en los valores de los estimadores de los parámetros de la función de W&F pese a su diferencia en uniformidad. Lo mismo puede afirmarse en el caso de las gallinas que ocupan los cuadrantes I y II. Además, las trayectorias de las curvas de las primeras de ellas se encuentran por encima de las correspondientes a las segundas, a lo largo de todo el ciclo. Si bien las diferencias en uniformidad no afectaron significativamente el patrón dinámico del peso de los huevos, su importancia radica en que la selección de aquellas aves que ponen huevos uniformes en tamaño ha sido propuesta como estrategia para aumentar la uniformidad de los huevos a lo largo del ciclo. ⁽²²⁾

Conclusiones

Las relaciones entre los caracteres a la madurez sexual y el comportamiento dinámico posterior del peso del huevo, relevadas en este trabajo, complementan la caracterización del grupo de aves identificado previamente mediante la técnica de componentes principales por su comportamiento al inicio del ciclo. Dichas gallinas, que inician su postura a mayor edad y con mayor peso corporal, con un comienzo de la etapa productiva más regular y con huevos de mayor peso y uniformes en tamaño presentan también un patrón dinámico deseable del peso del huevo. La trascendencia de este hallazgo se vincula con la posibilidad de utilizar el análisis de componentes principales como estrategia para generar índices biológicos de selección. Una selección temprana llevada a cabo en el momento que las aves alcanzan la madurez sexual permitiría disponer de individuos con valores no sólo deseables para esos caracteres productivos sino también con un adecuado patrón dinámico del peso de sus huevos a lo largo del ciclo. Esta evidencia resulta de utilidad en relación con la potencial utilización de Campero Casilda como población base para la producción de una raza sintética doble propósito.

Bibliografía

1. Yu MW, Robinson FE, Charles RG, Weingardt R. Effect of feed allowance during rearing and breeding on female broiler breeders. 2. Ovarian morphology and production. *Poult. Sci.* 1992a; 71 (10): 1750-1761.
2. Yu MW, Robinson FE, Etches RJ. Effect of feed allowance during rearing and breeding on female broiler breeders. 3. Ovarian steroidogenesis. *Poult. Sci.* 1992b; 71 (10): 1762-1767.
3. Lewis PD, Morris TR, Perry GC. A model for predicting the age at sexual maturity for growing pullets of layer strains given a single change in photoperiod. *J. Agric. Sci.* 2002; 138 (4): 441-458.
4. Bornstein S, Plavnik I, Lev Y. Body weight and/or fatness as potential determinants of the onset of egg production in broiler breeder hen. *Br. Poult. Sci.* 1984; 25 (3): 323-341.
5. Brody TB, Siegel PB, Cherry JA. Age, body weight and body composition requirements for the onset of sexual maturity of dwarf and normal chickens. *Br. Poult. Sci.* 1984; 25(2): 245-52.
6. Katanbaf MN, Dunnington EA, Siegel PB. Restricted feeding in early and late-feathering chickens. 2. Reproductive responses. *Poult. Sci.* 1989; 68 (3): 352-358.
7. Soller M, Eitan Y, Brody T. 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.* 1984; 63 (6): 1255-1261.
8. Xu H, Zeng H, Luo C, Zhang D, Wang Q, Sun L, et al. Genetic effects of polymorphisms in candidate genes and the QTL region on chicken age at first egg. 2011. *BMC genetics*, 12: 33.
9. Johnson PA. Follicle selection in the avian ovary. *Reprod. Domest. Anim.* 2012; 47 (Suppl 4): 283-287.
10. Canet ZE, Romera BM, Fain Binda V, Terzaghi A, Dottavio AM, Di Masso RJ. Indicadores productivos a la madurez sexual en poblaciones experimentales de ponedoras camperas. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 2012; 32 (1): 37-46.
11. Romera BM, Canet ZE, Ledesma M, Librera JE, Advínculo SA, Martines A. et al. Variancia intrapoblacional para caracteres a la madurez sexual en gallinas del cruzamiento Campero Casilda. *Revista FAVE – Sección Ciencias Veterinarias* 2019; 18(1): 30-35.
12. Canet ZE, Advínculo SA, Fernández R, Martines A, Librera JE, Dottavio AM et al. Caracteres productivos a la madurez sexual y peso del huevo en función de la edad de postura en tres grupos genéticos de gallinas camperas. *Compendio de Ciencias Veterinarias* 2014; 4 (1): 7-12.
13. Bonino M. Pollo Campero. Protocolo para la certificación. INTA Pergamino. 1997.
14. Weatherup STC, Foster WH. A description of the curve relating egg weight and age of hen. *Br. Poult. Sci.* 1980; 21 (6): 511-519.
15. Sheskin DJ. Handbook of parametric and nonparametric statistical procedures. 5th Ed Chapman & Hall, Boca Raton, FL, USA. 2011.

-
16. Shale BA, Pasternak H. Increment of egg weight with hen age in various commercial avian species. *Br. Poult. Sci.* 1993; 34(5): 915-924.
 17. Cowen NS, Bohren BB, McKean HE. Increase in pullet egg size with age. *Poult. Sci.* 1964; 43 (2): 482-486.
 18. Roland DA. Factors influencing shell quality of aging hens. *Poult. Sci.* 1979; 58 (4): 774-777.
 19. Yoo BH, Sheldon BL, Podger RN. Genetic parameters for egg weight v. age curve, and other egg production and egg weight traits, in synthetic lines of chickens. *Aust. J. Agric. Res.* 1983; 34 (1): 85-97.
 20. Wolc A, Arango J, Settar P, Fulton JE, O'Sullivan NP, Preisinger R, et al. Genome-wide association analysis and genetic architecture of egg weight and egg uniformity in layer chickens. *Anim. Genet.* 2012;43(Suppl. 1):87-96.
 21. Nangsuay A, Ruangpanit Y, Meijerhof R, Attamangkune S. Yolk absorption and embryo development of small and large eggs originating from young and old breeder hens. *Poult. Sci.* 2011;90 (11): 2648-2655.
 22. Yi G, Liu W, Li J, Zheng J, Qu L, Xu G, et al. Genetic analysis for dynamic changes of egg weight in 2 chicken lines. *Poult. Sci.* 2014;93 (12):2963-2969.

